



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la  
Producción**

“Diseño de un Prototipo de Robot Recogedor de Basura que  
Funciona con Energía Solar”

**TESIS DE GRADO**

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentada por:

Carlos Roberto Párraga Lema

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2008**

## **AGRADECIMIENTO**

A DIOS por permitirme culminar la tesis de una forma satisfactoria.

A mis padres por su inigualable paciencia, amor, y apoyo incondicional, cualidades que permitieron culminar mis estudios.

Al Ing. Marco Pazmiño B. por brindarme confianza y ayuda técnica durante la realización de este proyecto.

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en el desarrollo de la tesis.

## **DEDICATORIA**

A mis padres y familia en general por estar a mi lado en todo momento, a Karen por sus valiosos consejos espirituales y en especial a mis sobrinos Camila y Luis.

A todas las personas que creen que las ideas irreales, con perseverancia, pueden ser reales.

## **TRIBUNAL DE GRADUACIÓN**

---

Ing. Omar Serrano V.  
DELEGADO DEL DECANO  
DE LA FIMCP  
PRESIDENTE

---

Ing. Marco Pazmiño B.  
DIRECTOR DE TESIS

---

Ing. Federico Camacho B.  
VOCAL

## **DECLARACIÓN EXPRESA**

“La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).

---

Carlos Roberto Párraga Lema

## RESUMEN

La robótica en la industria es de vital importancia, ya que son máquinas programadas para realizar una función específica que ayuda de una manera rápida y precisa a desarrollar los distintos procesos industriales. Los diferentes tipos de robot existentes elaboran tareas que al hombre le pueden parecer difíciles y/o peligrosas.

La aplicación de la robótica en otras áreas está en constante desarrollo proyectándose hacia el futuro, por ejemplo, el área de la medicina con el diseño de órganos y extremidades robotizadas. También es importante el diseño de robots que presten servicios a la comunidad en general, para que de una u otra manera podamos tener un estilo de vida mejor.

El propósito de esta Tesis de Grado, es de solucionar de alguna manera un problema que tienen casi todas las ciudades del mundo, como es el problema de la basura que se encuentra en distintos lugares de la ciudad que ocasiona molestias a las personas y atenta contra el medio ambiente en general; para ello se diseñará un prototipo de robot recogedor de basura, el mismo que tendrá un sistema de absorción implantado que cumplirá con el propósito antes mencionado.

Este robot tendrá la forma de un vehículo de 4 ruedas que funcionará con energía solar generada por un Panel Solar, cuya energía se almacenará en una batería. El motivo de la utilización de energía solar, es porque esta es energía renovable y no contamina el ambiente representando de esta manera un ahorro económico en el uso de energía.

En el primer capítulo se realizará una descripción de conceptos importantes sobre robótica y energía solar. En el segundo capítulo se seleccionará el tipo de robot a diseñar y se mencionarán las características que tendrá; además se presentará un esquema preliminar del robot. En el tercer capítulo se desarrollará la parte mecánica, donde se diseñará la estructura general del robot y el sistema de recolección de basura; así como un sistema de enfriamiento de los dispositivos eléctricos y electrónicos. En el cuarto capítulo se hará la selección total de los equipos eléctricos, la selección se realizará basándose en equipos existentes en el mercado. En el quinto capítulo se realizará el diseño del sistema de control, el mismo que estará acompañado de una correcta selección de dispositivos electrónicos para luego proceder a la programación del robot. En el sexto capítulo se hará una descripción del mantenimiento general que deberá tener el robot. Finalmente, en el séptimo capítulo, se hará un análisis de costos.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	II
INDICE GENERAL.....	III
ABREVIATURAS.....	IV
SIMBOLOGIA.....	V
INDICE DE FIGURAS.....	VI
INDICE DE TABLAS.....	VII
INDICE DE PLANOS.....	VIII
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPITULO 1	
1. ROBOTICA.....	2
1.1. Antecedentes Históricos.....	3
1.1.1. Era Agrícola e Industrial.....	4
1.1.2. Era de la información.....	4
1.2. Tipos y Aplicaciones de Robots.....	5
1.2.1. Androides.....	6
1.2.2. Móviles.....	6
1.2.3. Industriales.....	7
1.2.4. Médicos.....	8



1.2.5. Teleoperadores.....	9
1.2.6. Poliarticulados.....	9
1.2.7. Zoomórficos.....	10
1.2.8. Híbridos.....	11
1.3. Energía Solar.....	12
1.3.1. Aplicaciones de la Energía Solar.....	13
1.3.1.1. Sistemas de Aprovechamiento Térmico.....	14
1.3.1.2. Módulos Fotovoltaicos.....	15
CAPITULO 2	
2. SELECCIÓN Y MORFOLOGIA DEL ROBOT.....	18
2.1 Selección del Robot.....	18
2.2. Esquema Preliminar del Robot.....	19
2.3. Características Iniciales del Robot.....	20
2.3.1. Características Mecánicas.....	20
2.3.2. Características Eléctricas.....	21
2.3.3. Características Electrónicas.....	22
2.4. Funcionamiento del Robot.....	23
2.4.1. Restricciones.....	24
CAPITULO 3	
3. DISEÑO MECANICO.....	25
3.1. Análisis Cinemático.....	26

3.1.1. Velocidad Lineal y Angular del Robot.....	26
3.1.1.1. Velocidad Direccional Lineal de las Ruedas Directrices.....	27
3.2. Análisis Dinámico.....	28
3.2.1. Diagrama de Cuerpo Libre.....	29
3.2.2. Potencia Motriz.....	30
3.2.3. Potencia Directriz.....	33
3.3. Diseño Estructural del Robot.....	35
3.3.1. Diseño del Chasis.....	35
3.3.2. Diseño del Sistema de Dirección.....	40
3.3.3. La Carrocería.....	43
3.4. Diseño de Transmisión de Movimiento.....	43
3.4.1. Cálculo de Cadena y Rueda Dentada.....	45
3.4.2. Cálculo del Eje de Transmisión.....	48
3.4.2.1. Eje de las Ruedas Direccionales.....	60
3.5. Diseño del Sistema de Recolección de Basura.....	61
3.5.1. Descripción del Sistema de Recolección de Basura.....	61
3.5.2. Ventiladores.....	64
3.5.2.1. Ventiladores Centrífugos.....	64
3.5.3. Velocidad de Suspensión.....	66
3.5.4. Caudal de Aire.....	69
3.5.5. Capacidad de Transporte.....	70

3.5.6. Caída de Presión.....	71
3.5.6.1. Aceleración de las Partículas de Basura.....	71
3.5.6.2. Rozamiento de Tuberías.....	73
3.5.6.3. Cambio de Dirección.....	74
3.5.6.4. Fuerzas Gravitacionales.....	75
3.5.6.5. Caída de Presión Total.....	76
3.5.7. Potencia del Ventilador Centrífugo.....	77
3.6. Diseño del Sistema de Enfriamiento del Equipo	
Eléctrico y Electrónico.....	78
3.6.1. Ventiladores Helicoidales.....	79
3.6.2. Transferencia de Calor.....	79
3.6.2.1. Transferencia de Calor por Convección Libre.....	80
3.6.2.2. Transferencia de Calor por Convección Forzada....	84
3.6.3. Potencia del Ventilador Helicoidal.....	86
 CAPITULO 4	
4. SISTEMA ELECTRICO.....	88
4.1. Selección del Panel Solar.....	88
4.1.1. Estudio de la Carga Para Ventiladores y Aparatos	
Electrónicos.....	91
4.1.2. Estudio de la Carga Para los Motores DC.....	98
4.1.3. Cableado.....	101
4.1.4. Análisis del Tiempo de Funcionamiento del Robot.....	103

4.2. Selección de la Batería.....	105
4.3. Selección de los Motores Eléctricos.....	106
4.3.1. Selección del Motor DC.....	108
4.4. Diagrama del Sistema Eléctrico.....	109
 CAPITULO 5	
5. SISTEMA DE CONTROL.....	112
5.1. Selección de Dispositivos Electrónicos.....	114
5.1.1. Regulación, Aislamiento y Medición de Carga de Baterías.....	115
5.1.2. Electrónica de Control Para los Motores DC.....	119
5.1.2.1. Control de la Velocidad Mediante PWM.....	123
5.1.2.2. Control de Giro.....	124
5.1.3. Canal de Comunicaciones.....	125
5.1.3.1. El Circuito Integrado MAX232.....	126
5.1.4. El Microcontrolador.....	127
5.1.4.1. Programación del Microcontrolador.....	132
5.2. Diagrama del Sistema de Control.....	135
5.3. Programación del Robot.....	136
5.3.1. Control del Sentido de Giro, de la Velocidad y de la Parada.....	137
5.3.2. Odometría del Robot.....	138
5.3.3. Funciones del C++.....	146

5.3.4. Sistema de Navegación.....	151
5.3.4.1. Sensor de Medida de Distancia.....	151
5.3.4.2. Estructura del Sistema de Navegación.....	155

## CAPITULO 6

6. CONSIDERACIONES DE MANTENIMIENTO.....	157
6.1. Mantenimiento del Sistema Mecánico.....	157
6.1.1. Cadena, Rueda Dentada y Chumaceras.....	158
6.2. Mantenimiento del Sistema Eléctrico y de Control.....	159
6.2.1. Paneles Solares.....	159
6.2.2. Baterías.....	162
6.2.3. Motores DC.....	163
6.2.4. Ventiladores.....	167
6.2.5. Los Componentes Electrónicos.....	169

## CAPITULO 7

7. ANÁLISIS DE COSTOS.....	170
7.1. Costo de Fabricación.....	170
7.2. Costo de Compra de Equipos.....	171

## CAPITULO 8

8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	174
--	-----

## APENDICES

## BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS

## ABREVIATURAS

A	Amperios
AC	Corriente Alterna
Ah	Amperios Hora
$A_{max}$	Corriente de Máxima Potencia
API	Interfaz para la Programación de Aplicaciones
As	Area de la superficie
$A_{sc}$	Corriente de Cortocircuito
Cap	Capacidad de Transporte
cm	Centímetro
$cm^3$	Centímetro Cubico
$C_s$	Factor de Tamaño
$C_R$	Factor de Confiabilidad
CV	Caballo de Vapor
DC	Corriente Continua
DoD	Profundidad de Descarga de la Batería
Fd	Factor de Diseño
Fs	Fuerza de Suspensión
g	Gravedad
h	Horas
hp	Caballos de Fuerza
HZ	Hertz
$\bar{h}$	Coefficiente de Convección Promedio
IDE	Entorno Integrado de Desarrollo
I(max)	Corriente Máxima
in	Pulgadas
$in^3$	Pulgada Cubica
K	Grados Kelvin
k	Conductividad Térmica
Kg	Kilogramos
$K_t$	Valor de Discontinuidad Geométrica.
L	Longitud Característica de la Geometría
lb	Libras
m	Metro
M	Momento de Flexión.
mA	Miliamperios
Mmax	Momento Máximo
mm	Milímetros
$m^2$	Metro Cuadrado
$m^3$	Metro Cubico

N	La normal
n	Factor de Seguridad
$\overline{Nu}_L$	Número de Nusselt para Flujo Laminar
$\overline{Nu}$	Número de Nusselt
P	El perímetro
Pr	Número de Prandtl
PWM	Modulación de Anchura de Pulso
Q	Caudal
$q_{conv L}$	Transferencia de Calor por Convección Libre
$Ra_L$	Número de Rayleigh
Re	Número de Reynolds
rpm	Revoluciones por Minuto
RPM (Max.)	Revoluciones por Minuto Máxima
s	Segundo
$S_y$	Resistencia al Punto Cedente.
$S'_n$	Resistencia Máxima del Material Bajo Condiciones Reales
$S_n$	Resistencia por Durabilidad
t	Tiempo
T	Torque
$T_s$	Temperatura Superficial
$T_\infty$	Temperatura del Fluido
$u_\infty$	La velocidad del aire
$\nu$	Viscosidad Cinemática
V	Voltios
$V_{max}$	Tensión de Máxima Potencia
$V_{oc}$	Tensión de Circuito Abierto
$V_s$	Velocidad de Suspensión
$\omega$	Carga
W	Watt
Z	Coefficiente de Sección
$\rho$	Densidad del Fluido
$\alpha$	Difusividad Térmica
$\beta$	Coefficiente de Expansión Térmica Volumétrica
$\mu F$	Microfaradio
$\mu_k$	Coefficiente de Fricción Cinético.

## SIMBOLOGIA

$A_p$	Área Proyectada de la Partícula de Basura
$C$	Distancia Central Nominal entre Ruedas Dentadas
$C_1$	Constante de Pérdidas en la Zona de Aceleración Debidas a Turbulencias, Reaceleraciones de la Basura, etc
$C_2$	Coefficiente de Rozamiento para Tubos Rectos
$C_3$	Coefficiente de Rozamiento para Codos.
$C_4$	Factor de Resbalamiento.
$C_{Iz}$	Perímetro de la Circunferencia Trazada por la Rueda Izquierda
$C_d$	Perímetro de la Circunferencia Trazada por la Rueda Derecha
$D$	Diámetro del Eje
$D_1$	Diámetro de Rueda Dentada 1
$D_2$	Diámetro de la Rueda Dentada 2
$D_t$	Diámetro de la Tubería
$D_{Iz}$	Desplazamiento de la Llanta Izquierda.
$D_d$	Desplazamiento de la Llanta Derecha.
$d1$	Distancia Medida por el Sensor Frontal
$d2$	Distancia Medida por el Sensor de la Derecha
$d3$	Distancia Medida por el Sensor de la Izquierda
$F_i$	Fuerza de Inercia
$F_r$	Fuerza Fricción Entre las Ruedas y el Suelo.
$H$	Altura a ser Elevadas las Partículas de Basura
$L_c$	Longitud de la Cadena
$L_r$	Longitud del Robot
$L_t$	Longitud Total de la Tubería
$N_1$	Número de Dientes de La Rueda Dentada 1
$N_2$	Número de Dientes de la Rueda Dentada 2
$n_1$	Velocidad Angular de Rueda Dentada 1
$n_2$	Velocidad Angular de la Rueda Dentada 2
$N_c$	Número de Codos.
$n_v$	Eficiencia del Ventilador
$p$	Paso de la Cadena
$P_c$	Potencia del Ventilador Centrífugo
$P_d$	Potencia Directriz
$P_e$	Precisión de los Encoders



$P_h$	Potencia del Ventilador Helicoidal
$P_m$	Potencia Motriz
$\Delta P_a$	Diferencia de Presión Debida a la Aceleración
$\Delta P_d$	Diferencia de Presión Debida a Rozamientos en los Codos
$\Delta P_g$	Diferencia de Presión Debida a la Gravedad
$\Delta P_r$	Diferencia de Presión Debido al Rozamiento de las Partículas
de	
	Basura con las Paredes de la Tubería
$\Delta P_t$	Caída de Presión Total
$Q_v$	Caudal del Ventilador
$R$	Radio de las Ruedas
$T_{e1}$	Tics Acumulados por el Encoder Izquierdo
$T_{e2}$	Tics Acumulados por el Encoder Derecho
$V_d$	Velocidad Direccional Lineal de las Ruedas
$V_r$	Velocidad Lineal del Robot
$W$	El Peso del Robot.
$W_b$	Peso de la Partícula de Basura
$\omega_r$	Velocidad Angular de las Ruedas del Robot
$x_{t+1}$	Variación de la Posición en x del Robot
$y_{t+1}$	Variación de la Posición en y del Robot
$\theta$	Angulo de la Pendiente
$\gamma$	Peso Específico de la Basura
$\varphi$	Angulo de Giro del Robot
$\Phi_{t+1}$	Variación del Angulo de Giro del Robot

## ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Robot Androide.....	6
Figura 1.2	Robot Móvil.....	7
Figura 1.3	Brazo Robot.....	8
Figura 1.4	Silla de Ruedas Robotizada.....	8
Figura 1.5	Robot con Patas.....	11
Figura 1.6	El Sol.....	12
Figura 1.7	Energía Solar en el Hogar.....	14
Figura 1.8	Invernaderos Solares.....	15
Figura 1.9	Paneles Solares.....	17
Figura 1.10	Robot Mars Pathfinder.....	17
Figura 2.1	Esquema General del Robot.....	19
Figura 3.1	Giro de Ruedas Directrices.....	28
Figura 3.2.a	Diagrama de Cuerpo Libre.....	29
Figura 3.2.b	Grafico de Fuerzas en el Plano.....	29
Figura 3.3.a	Diagrama de Cuerpo Libre de las Ruedas Directrices.....	33
Figura 3.3.b	Gráfico de las Fuerzas en el Plano (x,y).....	33
Figura 3.4	Geometría Básica del Chasis.....	35
Figura 3.5	Gráficas de Carga, Corte y Momento.....	37
Figura 3.6	Dimensiones Nominales del Perfil.....	39
Figura 3.7.a	Modelo General del Sistema de Dirección.....	40
Figura 3.7.b	Esquema de Giro de las Ruedas.....	41
Figura 3.8	Esquema General del Sistema de Transmisión por Cadena.....	44
Figura 3.9	Conjunto Rueda Dentada-Cadena.....	45
Figura 3.10.a	Aspecto General del Eje.....	49
Figura 3.10.b	Diagrama de Cuerpo Libre del Eje.....	49
Figura 3.11	Fuerzas Actuantes en la Rueda Dentada.....	51
Figura 3.12	Gráficas de Carga, Corte y Momento.....	54
Figura 3.13	Tensión por Durabilidad Contra Resistencia al Esfuerzo por Tracción para Acero Forjado para Varias Condiciones Superficiales.....	56
Figura 3.14	Factor de Tamaño para Diseño de Ejes.....	57
Figura 3.15	Dimensiones Nominales de la Chumacera.....	59
Figura 3.16	Dimensiones del Eje Directriz.....	60
Figura 3.17	Flujo de Basura Hacia el Recipiente Auxiliar.....	62
Figura 3.18.a	Flujo de Basura Hacia el Recipiente de Descarga.....	63
Figura 3.18.b	Diagrama General del Sistema de Succión.....	63

Figura 3.19	Disposición General de un Ventilador Centrífugo.....	65
Figura 3.20	Diagrama de Cuerpo Libre de la Partícula de Basura.....	66
Figura 3.21	Distribución de Temperaturas al Interior del Robot....	81
Figura 3.22	Distribución de Temperaturas al Interior del Robot para Convección Forzada.....	84
Figura 4.1	Construcción Básica de un Motor de Corriente Continúa.....	108
Figura 4.2	Diagrama de Suministro Eléctrico hacia los Ventiladores y la Cauceitería de Control.....	110
Figura 4.3	Diagrama de Suministro Eléctrico hacia los Motores DC.....	111
Figura 5.1	Regulador Lineal Estándar MC7805CT.....	116
Figura 5.2	Condensador de 0.1 $\mu$ F.....	117
Figura 5.3	Un Optoacoplador Permite un Aislamiento Eléctrico Total Entre Diferentes Partes de un Circuito.....	119
Figura 5.4	Esquema Básico de un Puente-H.....	120
Figura 5.5	Motor Driver L298.....	122
Figura 5.6	Dos Ordenadores Intercambian Datos Usando el Estándar de Comunicaciones RS-232.....	126
Figura 5.7	Circuito Integrado MAX232.....	127
Figura 5.8	Microcontroladores Fabricados por Microchip.....	131
Figura 5.9	Fotografía del Programador PRGPIC.....	135
Figura 5.10	Diagrama del Sistema de Control.....	136
Figura 5.11	Esquema de Conexión Entre los Motores DC y el Microcontrolador.....	138
Figura 5.12	Trayectoria de un Robot Móvil Descrita por una Serie de Puntos.....	139
Figura 5.13	Segmento de Arco $D_1$ y $D_2$ Descritos por el Movimiento de las Llantas.....	141
Figura 5.14	Grafica del Desplazamiento del Robot.....	144
Figura 5.15	Situación de la API en la Arquitectura del Robot.....	148
Figura 5.16	Sensor de Medida de Distancia GP2D12.....	152
Figura 5.17	Conexión de los GP2D12.....	154
Figura 5.18	Geometría de Desplazamiento del Robot Sensor Frontal ( $d_1$ ), Derecho ( $d_2$ ) e Izquierdo ( $d_3$ )....	156

## ÍNDICE DE TABLAS

		Pág
Tabla 1	Coeficiente de Fricción Estática y Cinética para Varios Materiales.....	31
Tabla 2	Factores de Ajuste para Alto Grado de Confiabilidad.....	57
Tabla 3	Valores del Coeficiente de Rozamiento para Codos.....	75
Tabla 4	Características Técnicas del Ventilador Centrífugo.....	78
Tabla 5	Características Técnicas del Ventilador Helicoidal.....	87
Tabla 6	El DoD de las Baterías.....	90
Tabla 7	Demanda AC y DC.....	92
Tabla 8	Demanda Combinada AC y DC.....	93
Tabla 9	Número de Baterías a Utilizar.....	94
Tabla 10	Número de Paneles Solares.....	95
Tabla 11	Característica de los Paneles Solares.....	95
Tabla 12	Controlador de Carga.....	96
Tabla 13	Características del Controlador de Carga.....	96
Tabla 14	Inversor de Carga.....	97
Tabla 15	Características del Inversor de Carga.....	98
Tabla 16	Demanda de Corriente de los Motores DC.....	99
Tabla 17	Total de Carga.....	99
Tabla 18	Número de Baterías.....	100
Tabla 19	Número de Paneles Solares.....	100
Tabla 20	Controlador de Carga.....	101
Tabla 21	Capacidad de Conducción del Cobre y Aluminio.....	102
Tabla 22	Distancias Máximas de Conductores de Cobre.....	102
Tabla 23	Características Técnicas de los Motores DC.....	109
Tabla 24	Recursos Utilizados en el PIC18F252.....	131
Tabla 25	Tabla de Verdad del Puente-H.....	137
Tabla 26	Funciones del API.....	150
Tabla 27	Características Técnicas del Sensor GP2D12.....	154
Tabla 28	Costo de Fabricación de las Partes Mecánicas.....	171
Tabla 29	Costo de Equipos Mecánicos.....	171
Tabla 30	Costo de Equipos Eléctricos.....	172
Tabla 31	Costo de Equipos Electrónicos.....	172
Tabla 32	Costo Empleado en la Programación.....	173

## ÍNDICE DE PLANOS

Plano 1	Diseño Final
Plano 2	Diagrama de Ensamble
Plano 3	Barra de Dirección Elemento 1
Plano 4	Barra de Dirección Elemento 3
Plano 5	Barra de Dirección Elemento 2
Plano 6	Complemento del Sistema de Dirección (elemento a)
Plano 7	Eje de Dirección
Plano 8	Complemento del Sistema de Dirección (elemento b)
Plano 9	Eje de Transmisión
Plano 10	Perfil Para Chasis
Plano 11	Carrocería

# INTRODUCCIÓN

El presente trabajo trata del “Diseño de un Prototipo de Robot Recogedor de Basura que Funciona con Energía Solar”, cuya finalidad es de solucionar de alguna manera el problema de la basura acumulada en las grandes ciudades, conservando así el medio ambiente, dicho propósito se realizará con el diseño de un sistema de succión adaptado al robot. Debido a que nos encontramos en la era de inicio de la robótica en general, y teniendo claro que se trata de un diseño experimental, las limitaciones en cuanto a su autonomía son justificadas.

En el Ecuador por su posición geográfica, se debe aprovechar al máximo la energía solar, teniendo una radiación solar promedio diaria de  $5\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ , es por eso que al robot se le proveerá de dicha energía. Entonces, se hará una adaptación de paneles solares existentes en el mercado, transformando de esta manera la energía solar en energía eléctrica.

Se realizará una selección de aparatos eléctricos y electrónicos, que conectados entre sí, y con una correcta programación, garantizarán el funcionamiento del sistema de navegación previamente diseñado.

# CAPÍTULO 1

## 1. ROBOTICA.

Recientemente se ha producido una explosión en el desarrollo y uso industrial de los robots hasta se ha llegado al punto de hablar de la revolución de los robots y la era de los robots. El término robótica puede ser definido desde diversos puntos de vista.

Con independencia respecto a la definición de robot, la robótica es la conexión inteligente de la percepción a la acción.

En base a su objetivo, la robótica consiste en el diseño de sistemas, actuadores de locomoción, manipuladores, sistemas de control, sensores, fuentes de energía, software de calidad. Todos estos subsistemas tienen que ser diseñados para trabajar conjuntamente en la consecución de la tarea del robot.

Supeditada a la propia definición del término robot, la robótica describe todas las tecnologías asociadas con los robots.

Según la definición del diccionario de lengua española, de la Real Academia de la Lengua, un robot es una máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas. Desde este punto de vista es difícil distinguir entre la maquinaria automatizada habitual (lavadoras, lavavajillas, etc.) de lo que intuitivamente entendemos como robot.

Una definición más amplia y menos ambigua del término robot, dice que un robot es un manipulador reprogramable, multifuncional, controlado automáticamente, que puede estar fijo en un sitio o moverse, y que está diseñado para mover materiales, piezas, herramientas o dispositivos especiales, por medio de movimientos variables programados para la realización de diversas tareas o trabajos. Esta definición determina ciertas restricciones al término robot. En concreto, ha de ser un manipulador y debe estar diseñado para realizar tareas concretas.

### **1.1. Antecedentes Históricos.**

La historia de la tecnología está formada por tres períodos principales: era agrícola, era industrial y era de la información. El desarrollo de los robots se puede ver como lógica e importante parte de la historia.



### **1.1.1. Era Agrícola e Industrial.**

A través de la historia la tecnología de cada época ha sido poderosamente influyente en la vida cotidiana de sus sociedades. Los productos y la ocupación han sido dictados por la tecnología disponible; por ejemplo, en la era agrícola cuya tecnología era muy primitiva, ésta estaba formada por herramientas muy simples que, sin embargo eran lo último en tecnología, como consecuencia de ello la mayoría de la gente eran agricultores y todo el trabajo se hacía mediante la fuerza de los hombres y de los animales.

A mediados del siglo XVIII, los molinos de agua, la máquina de vapor y otros transformadores de energía reemplazaron la fuerza humana y animal como fuente principal de energía. Las nuevas máquinas de fabricación impulsaron el crecimiento de la industria y mucha gente pasó a estar empleada en las nuevas fábricas como trabajadores. Los bienes se producían más rápidamente y mejor que antes y la calidad de vida aumentó.

### **1.1.2. Era de la Información.**

A continuación, en la mitad del siglo XX surgen las industrias basadas en la ciencia, las mejoras tecnológicas en la electrónica hicieron posible el ordenador.

Este constituye el desarrollo más importante, el ordenador revolucionó el modo de procesar y comunicar la información. Como resultado la información se ha convertido en un bien más del mercado y esta nueva era se conoce como la era de la información o post-industrial.

La tecnología de la información tiene un gran impacto en la sociedad; ordenadores, fibra óptica, radio, televisión y satélites de comunicación son sólo ejemplos de dispositivos que tienen un enorme efecto sobre nuestra vida y economía.

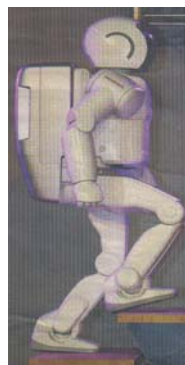
Un gran porcentaje de empleos requieren trabajadores informáticos y cada vez menos se necesitan trabajadores de producción. La tecnología de la información ha sido responsable del espectacular crecimiento de la robótica, y a medida que la era industrial declina se espera que cada vez más trabajo físico sea realizado por robots.

## **1.2. Tipos y Aplicaciones de Robots.**

Desde un punto de vista muy general los robots pueden ser de los siguientes tipos:

### 1.2.1. Androides.

Una visión ampliamente compartida es que todos los robots son androides, siendo artilugios que se parecen y actúan como seres humanos. El robot Asimo, figura 1.1, creado por Honda es el representativo robot androide en estos momentos, midiendo 1.30 metros, tiene la apariencia de un astronauta.



**FIGURA 1.1. ROBOT ANDROIDE**

### 1.2.2. Móviles.

Los robots móviles están provistos de patas, ruedas u orugas que los capacitan para desplazarse de acuerdo a su programación. Elaboran la información que reciben a través de sus propios sistemas de sensores y se emplean en determinado tipo de instalaciones industriales, sobre todo para el transporte de mercancías en cadenas de producción y almacenes. También se utilizan robots de este tipo

para la investigación en lugares de difícil acceso o muy distantes, como es el caso de la exploración espacial y de las investigaciones o rescates submarinos; en la figura 1.2 se puede ver un robot móvil con tracción suficiente para sobrepasar rocas.



**FIGURA 1.2. ROBOT MÓVIL.**

### **1.2.3. Industriales.**

Los robots industriales son artilugios mecánicos y electrónicos destinados a realizar de forma automática determinados procesos de fabricación o manipulación, un ejemplo son los brazos robots, figura 1.3.

También reciben el nombre de robots algunos electrodomésticos capaces de realizar varias operaciones distintas de forma simultánea o consecutiva, sin necesidad de intervención humana, como los también llamados procesadores, que trocean los alimentos y los someten a las

oportunas operaciones de cocción hasta elaborar un plato completo a partir de la simple introducción de los productos básicos.



**FIGURA 1.3. BRAZO ROBOT**

#### **1.2.4. Médicos.**

Los robots médicos son, fundamentalmente, prótesis para disminuidos físicos que se adaptan al cuerpo y están dotados de potentes sistemas de mando, con ellos se logra igualar con precisión los movimientos y funciones de los órganos o extremidades que suplen. Un ejemplo son sillas de ruedas robotizadas.



**FIGURA 1.4. SILLA DE RUEDAS ROBOTIZADA**

### **1.2.5. Teleoperadores.**

Los teleoperadores se controlan remotamente por un operador humano, son generalmente muy sofisticados y extremadamente útiles en entornos peligrosos tales como residuos químicos y desactivación de bombas.

### **1.2.6. Poliarticulados.**

Bajo este grupo están los robots de muy diversa forma y configuración cuya característica común es la de ser básicamente sedentarios (aunque excepcionalmente pueden ser guiados para efectuar desplazamientos limitados) y estar estructurados para mover sus elementos terminales en un determinado espacio de trabajo según uno o más sistemas de coordenadas y con un número limitado de grados de libertad.

En este grupo se encuentran los manipuladores y algunos robots industriales, y se emplean cuando es preciso abarcar una zona de trabajo relativamente amplia o alargada, actuar sobre objetos con un plano de simetría vertical o reducir el espacio ocupado en la base.

### **1.2.7. Zoomórficos.**

Los robots zoomórficos, que considerados en sentido no restrictivo podrían incluir también a los andróides, constituyen una clase caracterizada principalmente por sus sistemas de locomoción que imitan a los diversos seres vivos.

A pesar de la disparidad morfológica de sus posibles sistemas de locomoción es conveniente agrupar a los robots zoomórficos en dos categorías principales: caminadores y no caminadores.

El grupo de los robots zoomórficos no caminadores está muy poco evolucionado. Cabe destacar, entre otros, los experimentados efectuados en Japón basados en segmentos cilíndricos biselados acoplados axialmente entre sí y dotados de un movimiento relativo de rotación.

En cambio, los robots zoomórficos caminadores múltipedos, figura 1.5, son muy numerosos y están siendo experimentados en diversos laboratorios con vistas al desarrollo posterior de verdaderos vehículos terrenos, pilotados o autónomos, capaces de evolucionar en superficies muy accidentadas. Las aplicaciones de estos robots serán interesantes en el campo de la exploración espacial y en el estudio de los volcanes.



**FIGURA 1.5. ROBOT CON PATAS**

### **1.2.8. Híbridos.**

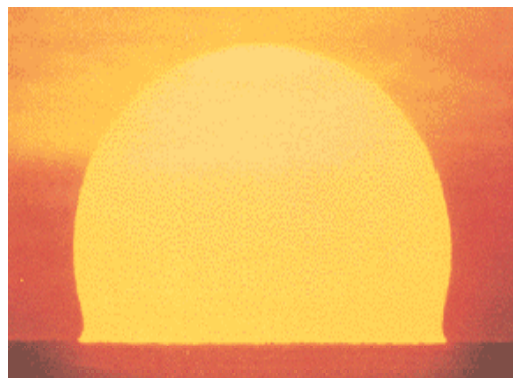
Estos robots corresponden a aquellos de difícil clasificación cuya estructura se sitúa en combinación con alguna de las anteriores ya expuestas, bien sea por conjunción o por yuxtaposición. Por ejemplo, un dispositivo segmentado, articulado y con ruedas, tiene al mismo tiempo uno de los atributos de los robots móviles y de los robots zoomórficos.

De igual forma pueden considerarse híbridos algunos robots formados por la yuxtaposición de un cuerpo formado por un carro móvil y de un brazo semejante al de los robots industriales. En parecida situación se encuentran algunos robots antropomorfos y que no pueden clasificarse ni como móviles ni como androides, tal es el caso de los robots personales.



### 1.3. Energía Solar.

El Sol, fuente de vida y origen de las demás formas de energía que el hombre ha utilizado desde los albores de la historia, puede satisfacer todas nuestras necesidades si aprendemos cómo aprovechar de forma racional la luz que continuamente derrama sobre el planeta. Ha brillado en el cielo desde hace unos cinco mil millones de años, y se calcula que todavía no ha llegado ni a la mitad de su existencia, teniendo una energía garantizada para los próximos 6.000 millones de años.



**FIGURA1.6. EL SOL**

La energía radiante producida en el Sol es resultado de reacciones nucleares de fusión, llegando a la Tierra a través del espacio en cuantos de energía llamados fotones, que interactúan con la atmósfera y la superficie terrestre.

La intensidad de la radiación solar en el borde exterior de la atmósfera, si se considera que la Tierra está a su distancia promedio del Sol, se llama constante solar, y su valor medio es 2 cal/min./cm<sup>2</sup>. Sin embargo, esta cantidad no es constante, ya que parece ser que varía un 0,2% en un período de 30 años.

La intensidad de energía real disponible en la superficie terrestre es menor que la constante solar debido a la absorción y a la dispersión de la radiación que origina la interacción de los fotones con la atmósfera.

La intensidad de energía solar disponible en un punto determinado de la Tierra depende, de forma complicada pero predecible, del día del año, de la hora y de la latitud. Además, la cantidad de energía solar que puede recogerse depende de la orientación del dispositivo receptor.

### **1.3.1. Aplicaciones de la Energía Solar.**

Básicamente, recogiendo de forma adecuada la radiación solar, podemos obtener calor y electricidad. El calor se logra mediante los captadores o colectores térmicos, y la electricidad, a través de los llamados módulos fotovoltaicos, ambos procesos nada tienen que ver entre sí, ni en cuanto a su tecnología ni en su aplicación.

### 1.3.1.1. Sistemas de Aprovechamiento Térmico.

El calor recogido en los colectores puede destinarse a satisfacer algunas necesidades. Por ejemplo, se puede obtener agua caliente para consumo doméstico o industrial, o bien para dar calefacción a hogares, hoteles, colegios, fábricas, etc. Incluso podemos climatizar las piscinas y permitir el baño durante gran parte del año.

También, y aunque pueda parecer extraño, otra de las más prometedoras aplicaciones del calor solar será la refrigeración durante las épocas cálidas precisamente cuando más soleamiento hay. En efecto, para obtener frío hace falta disponer de una fuente cálida, la cual puede perfectamente tener su origen en unos colectores solares instalados en el tejado o azotea, figura 1.7. En los países árabes ya funcionan acondicionadores de aire que utilizan eficazmente la energía solar.



**FIGURA1.7. ENERGÍA SOLAR EN EL HOGAR**

Las aplicaciones agrícolas son muy amplias. Con invernaderos solares, figura 1.8, pueden obtenerse mayores y más tempranas cosechas; los secaderos agrícolas consumen mucha menos energía si se combinan con un sistema solar, y, por citar otro ejemplo, pueden funcionar plantas de purificación o desalinización de aguas sin consumir ningún tipo de combustible.



**FIGURA 1.8. INVERNADEROS SOLARES.**

### **1.3.1.2. Módulos Fotovoltaicos.**

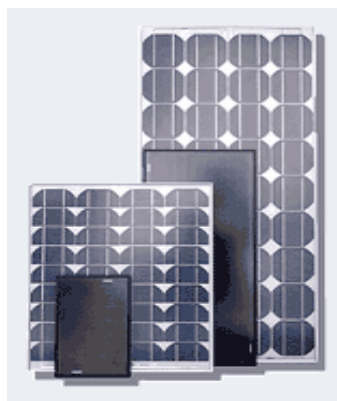
La conversión fotovoltaica se basa en el efecto fotoeléctrico, es decir, en la conversión de la energía lumínica proveniente del sol en energía eléctrica.

Para llevar a cabo esta conversión se utilizan unos dispositivos denominados células solares, constituidos por materiales semiconductores en los que artificialmente se ha creado un campo eléctrico constante.

El material más utilizado es el Silicio, estas células conectadas en serie o paralelo forman un panel solar encargado de suministrar la tensión y la corriente que se ajuste a la demanda.

Cuando sobre un semiconductor incide una radiación luminosa con energía suficiente para romper los enlaces de los electrones de valencia y generar pares electrón-hueco, la existencia de una unión p-n separa dichos pares, afluyendo electrones a la zona n y huecos a la zona p, creando en resumen una corriente eléctrica que atraviesa la unión desde la zona n a la p, y que puede ser entregada a un circuito exterior (saliendo por la zona p y entrando por la n). De esta manera, cuando se expone una célula 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. Las células solares, dispuestas en paneles solares, figura 1.9, ya producían electricidad en los primeros satélites espaciales. Actualmente se perfilan como la solución definitiva al problema de la electrificación rural, con clara ventaja sobre otras alternativas, pues, al carecer los paneles de partes móviles, resultan totalmente inalterables al paso del tiempo, no contaminan ni producen ningún ruido en absoluto, no consumen combustible y no necesitan mantenimiento. Además, y aunque con menos rendimiento, funcionan también en días nublados, puesto que captan la luz que se filtra a través de las nubes.

La electricidad que así se obtiene puede usarse de manera directa (por ejemplo para sacar agua de un pozo o para regar, mediante un motor eléctrico), o bien ser almacenada en acumuladores para usarse en las horas nocturnas. También su uso es importante en viviendas alejadas de la red eléctrica convencional, básicamente electrificación rural.



**FIGURA 1. 9. PANELES SOLAREAS.**

Una de las aplicaciones de gran importancia de la energía solar, es la utilización de paneles solares en robots móviles utilizados en la exploración espacial, en la figura 1.10 se muestra al explorador Mars Pathfinder.



**FIGURA 1.10. ROBOT MARS PATHFINDER**

# **CAPÍTULO 2**

## **2. SELECCIÓN Y MORFOLOGIA DEL ROBOT.**

En este capítulo se describe la forma del robot, así como las características más relevantes. También se seleccionará el tipo de robot a diseñar.

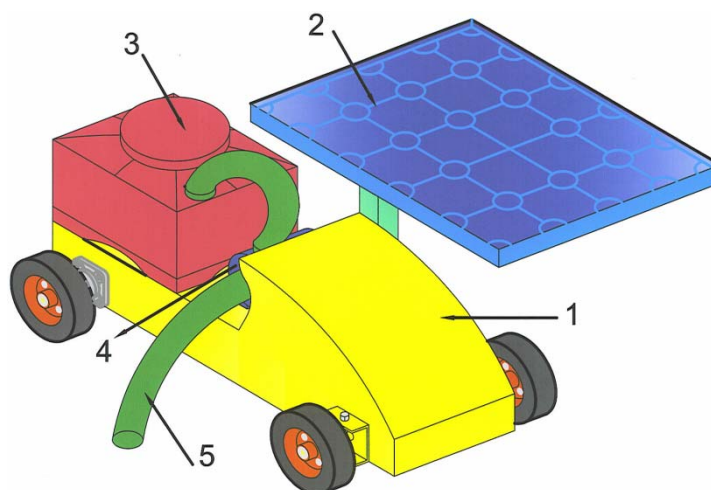
### **2.1. Selección del Robot.**

Debido a que el robot debe recoger basura, este tiene que desplazarse sin que se produzca caídas y tropiezos con algún obstáculo que encuentre a su paso. También, para la selección del robot, se toma en cuenta los distintos elementos mecánicos que tendrá, como son el sistema de recolección de basura, el panel solar; ya que estos elementos deben estar colocados de una manera tal que no altere el centro de gravedad del robot, ya que podría afectar directamente el equilibrio al momento de desplazarse.

Por lo tanto, se selecciona un robot tipo móvil provisto de 4 ruedas para su desplazamiento. Básicamente el diseño tratará de un carrito de tamaño pequeño, provista de una geometría adaptable a los distintos sistemas mecánicos, eléctricos y electrónicos.

## 2.2. Esquema Preliminar del Robot.

A continuación se muestra un diseño de forma del robot de manera general y adimensional, figura 2.1. Este esquema preliminar ayuda a visualizar las partes principales del robot, para tener una idea clara por dónde empezar a diseñar, esto es importante porque los elementos mecánicos deben ser diseñados en un orden lógico, para luego tomar dediciones con respecto a los métodos de cálculo a utilizar.



**FIGURA 2.1. ESQUEMA GENERAL DEL ROBOT.**



Donde la parte 1 es el modelo del carrito en sí, la parte 2 es el panel solar que proveerá energía eléctrica al robot, cabe mencionar que puede haber más de 1 panel solar dependiendo del análisis de carga de energía aplicada al robot (sección 4.1), la parte 3 es el tanque de almacenamiento de basura, la parte 4 es el ventilador centrífugo que succiona la basura, y la parte 5 es la manguera utilizada para la succión de basura.

### **2.3. Características Iniciales del Robot.**

Los grados de libertad del robot, son 4, debido a que tiene movimientos básicos de giro y desplazamiento. Los de giro son cuando el robot se dirige hacia la derecha o izquierda, y los de desplazamiento son cuando avanza hacia delante o atrás.

Las características iniciales del robot la podemos dividir en mecánica, eléctrica y electrónica.

#### **2.3.1. Características Mecánicas.**

La estructura, es la geometría del robot de 110cm. de longitud, 70cm. de ancho, 45cm. de alto sin incluir el panel solar y 75cm. de alto incluido el panel solar. Esta estructura está constituida por el chasis, el sistema de dirección y la carrocería, todos construidos

de aluminio. También, las ruedas de caucho a utilizar son de 8in de diámetro.

La transmisión está constituida por el sistema de cadena, que junto a ruedas dentadas transmite movimiento al eje motriz, este eje será de acero.

La recolección de basura, se basa en el principio de funcionamiento de los succionadores de granos. Se adapta al robot un ventilador centrífugo, conectado por medio de un ducto al tanque de almacenamiento de basura, posteriormente desde el ventilador centrífugo se conecta un ducto por donde succionará la basura. La basura a recoger será la común encontrada en parques o veredas de la ciudad, y son: hojas de árboles, vasos de plástico, papeles de cuaderno, envolturas de dulces en general, envolturas de comida rápida (papitas, cachitos, etc.), polvo, y desperdicios varios de bajo peso y tamaño. El enfriamiento del equipo, consiste en un ventilador helicoidal que mantendrá a una temperatura adecuada los distintos dispositivos eléctricos y electrónicos.

### **2.3.2. Características Eléctricas.**

El suministro de energía la provee uno o varios paneles solares que estarán en permanente conexión con el robot. Un canal de aluminio

empernado al robot, será el que sostenga los paneles solares, ubicado siempre en un lugar estratégico para recibir los rayos solares, generando así, energía eléctrica que será almacenada en baterías recargables.

La fuerza motriz y directriz, proviene de 2 motores eléctricos de corriente continua, uno para cada caso.

### **2.3.3. Características Electrónicas.**

La parte electrónica es de suma importancia, pues representa el sistema de control del robot. Se seleccionará dispositivos electrónicos adecuados para que controlen la energía de las baterías, los motores y la comunicación entre circuitos.

Básicamente, el control de energía, motores DC y comunicación, hace que el robot pueda ser independiente, es decir, que sería capaz de controlar sus movimientos.

Para que el robot pueda guiarse de una manera autónoma se utilizará dispositivos electrónicos, como son los sensores de medida de distancia, estos controlarán el ambiente por donde el robot se desplazará, esquivando obstáculos para su correcto funcionamiento.

Los sensores, así como toda la circuitería, van conectados a un microcontrolador donde se almacenará información, la misma que será procesada matemáticamente por medio de un programa de computación. De un buen diseño del sistema de navegación que se le aplique al robot, dependerá de cuan autónomo sea.

#### **2.4. Funcionamiento del Robot.**

Una vez que se haya diseñado la parte mecánica y seleccionado los elementos eléctricos y electrónicos del robot, se procederá al diseño del sistema de navegación. El presente proyecto está basado en un robot que navegará en un ambiente específico, en este caso, lo hará por las pistas de atletismo de los distintos parques existentes en la ciudad. Y es allí donde cumplirá con la tarea de absorber la basura.

Los ventiladores, los motores y la circuitería en general tendrán un encendido manual. Una vez que los circuitos tomen el control, el programa grabado en el microcontrolador se ejecutará. La tarea básica del sistema de control es de guiar al robot durante su recorrido, este tendrán que tomar decisiones para girar a la derecha o a la izquierda, dependiendo de la información de los sensores de distancia.

### 2.4.1. Restricciones.

Una restricción importante es el tiempo de autonomía, que dependerá de la energía almacenada en las baterías, sabiendo que, a mayor potencia energética las dimensiones de los equipos eléctricos aumentan, y si eso ocurre, no habría concordancia con las dimensiones físicas del robot, por lo tanto el tiempo de funcionamiento se lo estima en la sección 4.1.1. También hay que hacer las siguientes asunciones:

- 1) La altura máxima de cualquier basura no debe pasar de 10cm, para que no interfiera con los sensores.
- 2) Se supone que el recorrido del robot, solo existe basura de peso y tamaño pequeño, y dependiendo de la basura, no debe tener un diámetro mayor de 10cm.
- 3) No debe haber partículas grandes y sólidas como por ejemplo, piedras, cajas de madera o cartón, botellas, etc., que sobrepasen los 12cm., pues estos obstaculizan la lectura de los sensores.
- 4) El robot trabajará en un ambiente sin lluvia.
- 5) Durante su recorrido, ninguna persona o animal deberá ir a menos de 1m al frente del robot, porque podría tomarse lecturas erróneas del sensor frontal.

# CAPÍTULO 3

## 3. DISEÑO MECÁNICO.

El diseño mecánico es el diseño de objetos y sistemas de naturaleza mecánica: máquinas, aparatos, estructuras, dispositivos e instrumentos, en su mayor parte. El diseño mecánico hace uso de las matemáticas, la ciencia de los materiales y la ciencia mecánica aplicada.

El diseño en ingeniería mecánica incluye el diseño mecánico, pero es un estudio de mayor amplitud que abarca todas las disciplinas de la ingeniería mecánica, incluso las ciencias térmicas y de los fluidos. Aparte de las ciencias fundamentales que se requieren, las bases del diseño en ingeniería son las mismas que las del diseño mecánico.

En este capítulo se dimensionará los elementos mecánicos que constituyen el robot en base a las propiedades mecánicas en general que podrían tener dichos elementos.

Para lograr este fin se realizará esquemas generales de las distintas piezas y sistemas mecánicos, y así poder tener una idea de cómo va a funcionar el robot.

También se seleccionará el material a utilizar en las distintas piezas del robot de acuerdo a los resultados obtenidos en cuanto a propiedades mecánicas se refiere. Una vez dimensionado las partes del robot, se procederá a la realización de planos, donde se mostrará detalladamente la geometría y dimensiones del robot.

### **3.1. Análisis Cinemático.**

Cuando describimos el movimiento de los objetos, estamos tratando la parte de la mecánica llamada cinemática.

#### **3.1.1. Velocidad Lineal y Angular del Robot.**

El robot tiene un movimiento rectilíneo, o sea su velocidad es constante. Para el propósito de este proyecto es suficiente que el robot tenga una velocidad constante y de baja magnitud, ya que la recolección de basura se la debe realizar a velocidades pequeñas.

Entonces, se estima la velocidad lineal del robot,  $V_r=0.15$  m/s., sabiendo que la velocidad lineal del robot es la misma que tiene las ruedas, así de esta manera podemos calcular la velocidad angular  $\omega_r$ , de dichas ruedas.

$$\omega_r = \frac{V_r}{R} \text{ (Ecuación 3.1)}$$

Donde, R es el radio de las ruedas, y es, 0.1016m. Entonces la velocidad angular es:

$$\omega_r = \left( \frac{0.15}{0.1016} \right) \left( \frac{60}{2\pi} \right)$$

$$\omega_r = 14.10 \text{ rpm}$$

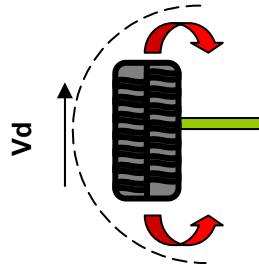
La velocidad angular se trasmite al eje que va acoplado a las ruedas motrices, por lo tanto, los elementos mecánicos que sirven para la transmisión de movimiento deberán tener una velocidad angular de 14.10rpm. Cabe mencionar que si la velocidad angular de salida de motor no es 14.10rpm, se deberá regular su velocidad.

### **3.1.1.1. Velocidad Direccional Lineal de las Ruedas Directrices.**

Cuando las ruedas directrices giran a la derecha e izquierda para cambiar la dirección del robot, describen una trayectoria circular,



como se aprecia en la figura 3.1, entonces aquí se produce una velocidad direccional lineal de las ruedas  $V_d$ .



**FIGURA 3.1. GIRO DE RUEDAS DIRECTRICES.**

El valor de  $V_d$  se estima tomando en cuenta que el robot tiene una velocidad lineal baja, por lo tanto, esto hace que el giro de las ruedas directrices tenga una velocidad pequeña. Entonces el valor estimado es de 0.5 m/s., sabiendo que el motor que va a realizar el giro de las ruedas directrices, debe ser calibrado para obtener dicha velocidad.

### **3.2. Análisis Dinámico.**

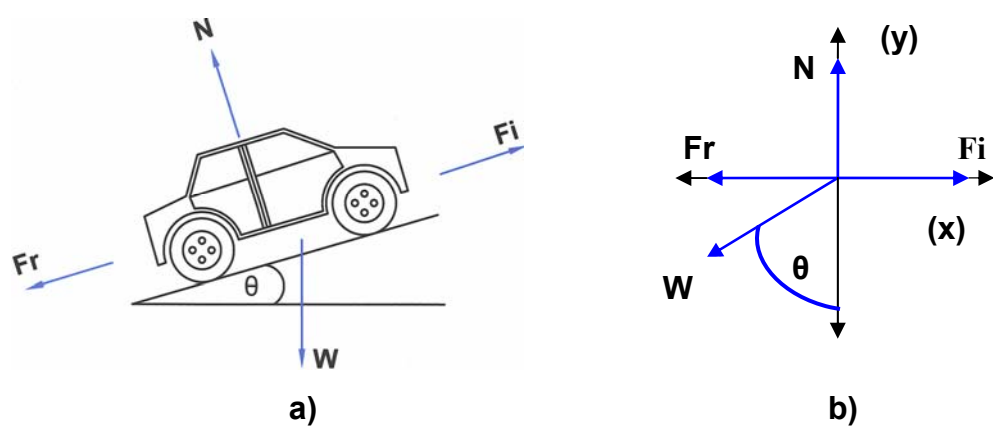
Cuando analizamos las causas del movimiento entramos en el terreno de la dinámica. El análisis dinámico es muy importante en el diseño de sistemas mecánicos, pues es aquí donde se analiza las fuerzas que actúan en el robot para que éste se pueda mover.

### 3.2.1. Diagrama de Cuerpo Libre.

En diagrama de cuerpo libre del robot muestra gráficamente las fuerzas que actúan sobre él, tanto las que producen el movimiento, como las que se oponen.

Como el robot es de tipo móvil, las fuerzas que actúan sobre éste son las mismas que existen en un automóvil. Realizando el análisis dinámico al robot, se podrá calcular su fuerza motriz.

En la figura 3.2.a., se muestra las fuerzas actuantes en el robot, y en la figura 3.2.b., están graficadas dichas fuerzas en el plano (x, y).



**FIGURA 3.2. a) DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE. b) GRAFICO DE FUERZAS EN EL PLANO (x, y).**

Donde:

**Fi:** Es la fuerza de inercia.

**Fr:** Es la fuerza de fricción entre las ruedas y el suelo.

**N:** La normal.

**W:** El peso del robot.

**$\theta$ :** Pendiente.

### 3.2.2. Potencia Motriz.

El motor eléctrico que va mover las ruedas motrices del robot tiene que tener una potencia suficiente para romper la fuerza de inercia.

Dicha potencia es la potencia motriz  $P_m$ , y es:

$$P_m = F_i V_r \text{ (Ecuación 3.2)}$$

La fuerza de inercia se calcula realizando una sumatoria de fuerzas que se muestran en la figura 3.2.b., y como el robot se mueve en el eje de las  $x$ , solo se realiza la suma vectorial en este eje. Esta sumatoria vectorial es igual a cero ya que no existe aceleración por parte del robot.

$$\sum F_x = 0 \text{ (Ecuación 3.3)}$$

$$F_i - F_r - W \sin \theta = 0$$

La fuerza de fricción se calcula a partir de:

$$Fr = \mu_k N \text{ (Ecuación 3.4)}$$

donde:

$\mu_k$ : Es el coeficiente de fricción cinético.

El coeficiente de fricción cinético tiene distintos valores dependiendo del tipo de superficie; algunos valores de  $\mu_k$  se muestran en la tabla 1.

**TABLA 1**

**COEFICIENTES DE FRICCIÓN ESTÁTICA Y CINÉTICA PARA VARIOS MATERIALES**

<b>Materiales en contacto</b>	<b>Fricción estática</b>	<b>Fricción cinética</b>
Hielo // Hielo	0,1	0,03
Vidrio // Vidrio	0,9	0,4
Madera // Cuero	0,4	0,3
Madera // Piedra	0,7	0,3
Madera // Madera	0,4	0,3
Acero // Acero	0,74	0,57
Acero // Hielo	0,03	0,02
Acero // Latón	0,5	0,4
Acero // Teflón	0,04	0,04
Teflón // Teflón	0,04	0,04
Caucho // Cemento seco	1,0	0,8
Caucho // Cemento húmedo	0,3	0,25
Cobre // Hierro	1,1	0,3

Según la tabla 1, utilizamos un valor de 0.8 para el coeficiente de fricción cinética, donde se multiplica la fuerza de fricción por 4, debido a que hay 4 ruedas, y  $N=W$ . El peso es un valor estimado de 50kg para el robot; también se debe tomar en cuenta que el robot podría encontrarse con alguna pendiente en el camino, entonces se estima una pendiente máxima de  $35^\circ$ . Reemplazando valores en la ecuación 3.3, se tiene:

$$F_i - 50 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \cos 35^\circ * 0.8 * 4 - 50 \text{ kg} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * \sin 35^\circ = 0$$

$$\mathbf{F_i = 1565.5 \text{ N}}$$

Utilizando la ecuación 3.2, la potencia motriz es:

$$P_m = \frac{1565.5 * 0.15}{746}$$

$$\mathbf{P_m = 0.315 \text{ hp}}$$

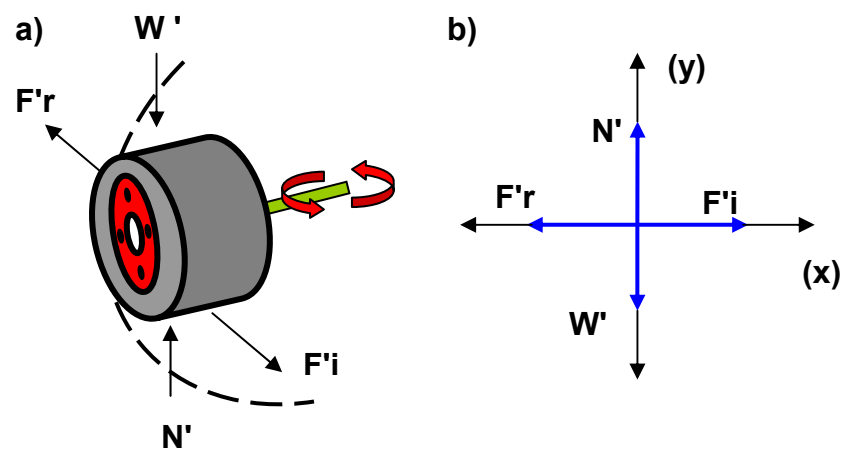
La potencia que el motor eléctrico haya de desarrollar, será algo mayor que esta, puesto que según sabemos existe una pérdida por rozamientos en todo el sistema de transmisión, esta pérdida viene a ser de un 20 % de la potencia motriz ya calculada, o lo que es lo mismo, se aprovecha en las ruedas propulsoras del robot un 80 % de potencia motriz.

$$P_m = 0.315 * \frac{100}{80}$$

$$P_m = 0.4 \text{ hp}$$

### 3.2.3. Potencia Directriz.

Para que las ruedas directrices hagan un giro derecha-izquierda, se necesita que sean movidas por un motor eléctrico diferente al de las ruedas motrices. Este motor deberá tener una potencia baja, por la poca inercia que actúa en las ruedas directrices al soportar la mitad del peso del robot.



**FIGURA 3.3. a) DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LAS RUEDAS DIRECTRICES. b) GRAFICO DE LAS FUERZAS EN EL PLANO (x, y).**

En la figura 3.3., se muestra el diagrama de cuerpo libre de las ruedas directrices. El cálculo de Pd, se lo hace de igual forma como se lo hizo para calcular Pm.

Teniendo en cuenta que  $W' = W/2$ ,  $\mu_k = 0.8$  y la fricción sólo actúa en las dos ruedas directrices, se realiza la sumatoria de fuerzas:

$$\sum F'_{rx} = 0$$

$$F'i - F'r = 0$$

$$F'i - W' \mu_k = 0$$

$$F'i - 25 * 2 * 0.8 * 9.8 = 0$$

$$\mathbf{F'i = 392 N}$$

Para calcular Pd, se sabe que  $V_d = 0.5 \text{ m/s}$ .

$$P_d = F'i V_d$$

$$P_d = \frac{392 * 0.5}{746}$$

$$\mathbf{P_d = 0.263 hp}$$

Esta potencia baja un 20 % por existir pérdidas por rozamientos en todo el sistema de dirección.

$$Pd = 0.263 * \frac{100}{80}$$

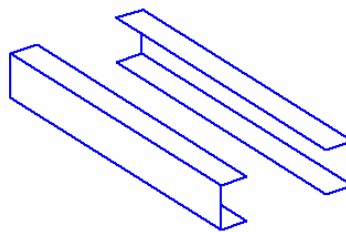
### 3.3. Diseño Estructural del Robot.

La estructura básica del robot está compuesta por: chasis, sistema de dirección, carrocería, sistema de recolección de basura y las distintas piezas donde van colocados los dispositivos eléctricos y electrónicos que posee el robot.

#### 3.3.1. Diseño del Chasis.

$$Pd = 0.33hp$$

Se elige primero la geometría del chasis, y ésta la conforman, dos perfiles C de aluminio. La figura 3.4, muestra una idea básica de los perfiles C para usarlos como chasis.



**FIGURA 3.4. GEOMETRÍA BÁSICA DEL CHASIS.**



La longitud, de cada perfil es igual a la longitud del robot ( $L_r$ ), y es de 43.3in.

La carga  $\omega$ , que soportará cada perfil es uniformemente distribuida a lo largo del perfil.

$$\omega = \frac{W}{L_r} \text{ (Ecuación 3.5)}$$

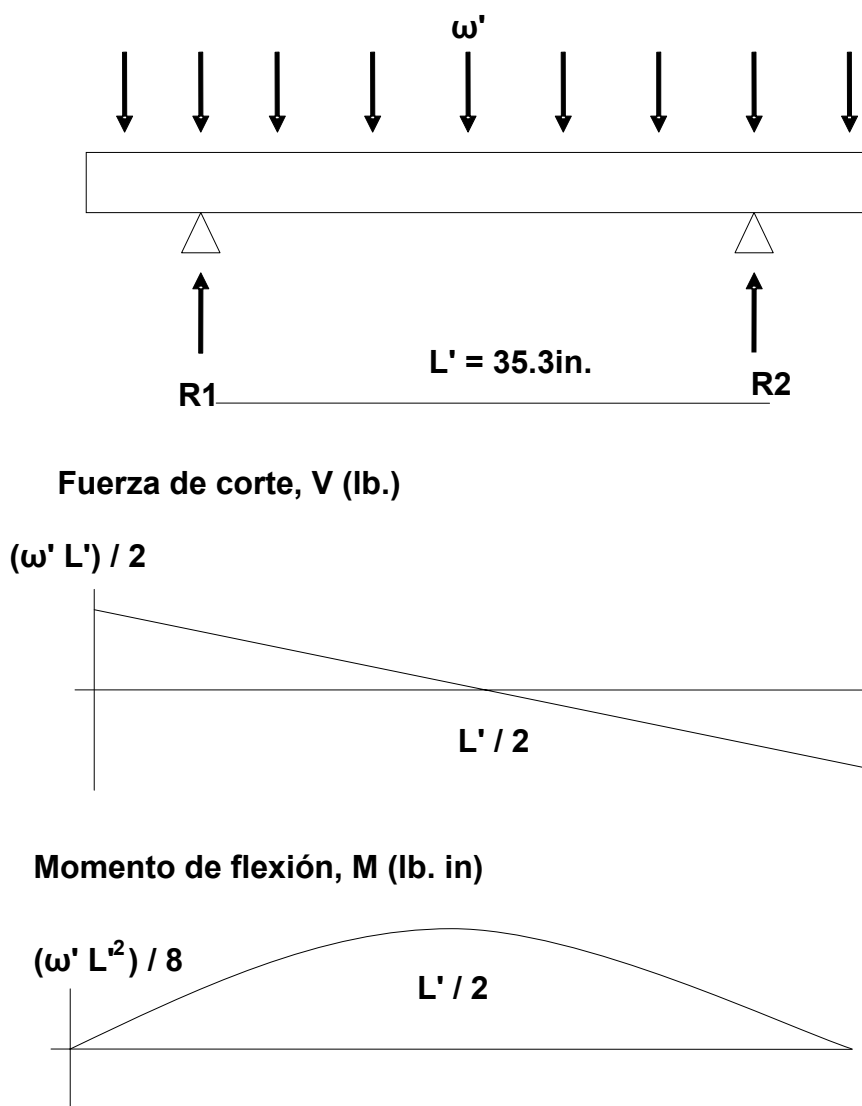
$$\omega = \frac{110}{43.3}$$

$$\omega = 2.54 \text{ lb/in}$$

Para cada perfil la carga es:

$$\omega' = 1.27 \text{ lb/in}$$

En la figura 3.5, se aprecia las gráficas de carga, corte y momento, donde  $R_1$  y  $R_2$  son las reacciones de los apoyos hacia el perfil. De esta figura se obtendrá el momento máximo del perfil.



**FIGURA 3.5. GRÁFICAS DE CARGA, CORTE Y MOMENTO.**

De la figura 3.5, se conoce que el momento máximo  $M_{\max}$  es:

$$M_{\max} = \frac{\omega' L'^2}{8} \text{ (Ecuación 3.6)}$$

$$M_{\max} = \frac{1.27 * 35.3^2}{8}$$

$$M_{\max} = 202.5 \text{ lb.in}$$

El factor de seguridad n es:

$$n = \frac{S_y Z}{M_{\max}} \text{ (Ecuación 3.7)}$$

Donde Z es el coeficiente de sección. A partir del apéndice A se escoge la aleación de aluminio 6063-T5, cuyos componentes son magnesio y silicio, con un tratamiento térmico que implica una serie de procesos de calentamiento y enfriado.

Del apéndice A se tiene que,  $S_y = 21000 \text{ psi.}$ , y asumiendo un factor de seguridad  $n = 1.2$ , se tiene:

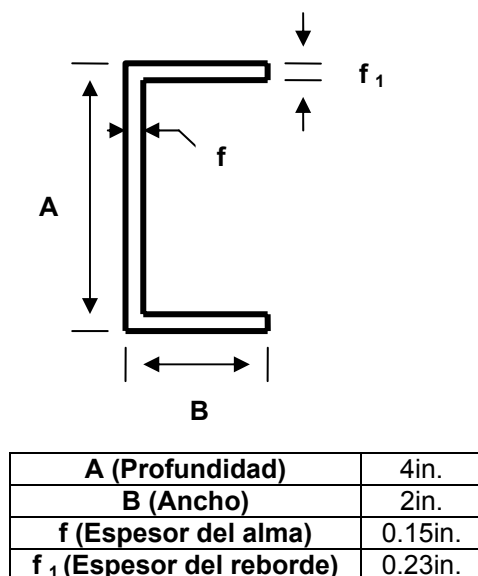
$$1.2 = \frac{21000 * Z}{202.5}$$

$$Z = 0.0116 \text{ in}^3$$

Debido a que el  $S_y$  de la aleación de aluminio seleccionado es muy alto, a su vez, la carga que soportan las vigas es muy baja, esto hace que el coeficiente de sección Z sea demasiado bajo.

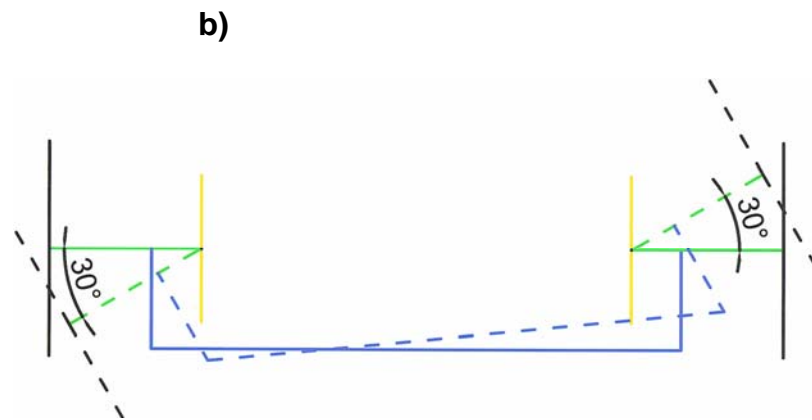
Se observa que en el apéndice B, no existe  $Z = 0.0116 \text{ in}^3$ , entonces lo que se hace es seleccionar un valor de  $Z$  que satisfaga las condiciones mecánicas del robot.

Se selecciona un valor de  $Z = 1.95 \text{ in}^3$ , esto es correcto, porque los perfiles con valores altos de  $Z$ , soportarán mayor carga. Las dimensiones nominales del perfil seleccionado se muestran en la figura 3.6. Y el dibujo del chasis se detalla en los planos al final de la tesis.



**FIGURA 3.6. DIMENSIONES NOMINALES DEL PERFIL.**





**FIGURA 3.7. a) MODELO GENERAL DEL SISTEMA DE DIRECCION. b) ESQUEMA DE GIRO DE LAS RUEDAS.**

El radio de giro de las ruedas directrices es de  $30^\circ$ , como se aprecia en la figura 3.7.b. Donde también se muestra la posición de las barras al momento de girar las ruedas.

A continuación se describe las partes de la figura 3.7a, así como sus medidas nominales.

Elemento 1, es una barra de 53x2cm. que se mueve linealmente (derecha-izquierda), para así mover el elemento 2.

Elemento 2, es una barra de una geometría cónica de medidas  $x = 9.5\text{cm.}$ ,  $y = 3.5\text{cm.}$ ,  $z = 2.5\text{cm.}$  Del extremo más grande va empernada al eje de la rueda directriz, en cambio del extremo más corto va pivotado al elemento 1 para evitar el atascamiento al momento de girar las ruedas motrices.

Elemento 3, es una barra pequeña de 7x2cm., con un agujero rectangular de 4x1cm., de un extremo va empernada en el medio del elemento 1 para que pueda transmitirse el movimiento lineal. El agujero rectangular es para que el eje del motor se acople y, con movimientos giratorios, pueda transmitir el movimiento lineal que necesita el elemento 1.

Elemento 4, se muestra como va acoplado el eje del motor al elemento 3 para convertir el movimiento circular del eje, a movimiento lineal del elemento 1. En 4a se aprecia el motor eléctrico, el eje en 4b tiene la forma de una L, de 5cm. para ambos lados y de diámetro 0.8cm.

Elemento 5, es el eje de las ruedas directrices, cuyo diseño se trata en la sección 3.4.2.1. Este eje esta pivotado en el chasis del robot para que las ruedas puedan girar.

Elementos 6 y 7, el 6 es el chasis que ya fue dimensionado en la sección 3.3.1. El 7 son las ruedas a utilizar cuyo diámetro es 8in.

Elementos a y b, son complementos del sistema de dirección, donde el elemento en forma de c mide 10.6x5.08cm., y el otro tiene una longitud de 6.041cm. El material a utilizar para los elementos 1, 2, 3, a y b es aluminio 6063-T5, que es el mismo que se utilizará para el diseño de las vigas del chasis; se hará uso de este material porque presenta propiedades mecánicas que también satisfacen las necesidades de diseño del sistema de dirección.

El espesor a utilizar para los mencionados elementos, es 3.81mm. En los planos se detallada las dimensiones y geometría de todos los elementos mencionados.

### **3.3.3. La Carrocería.**

La geometría general de la carrocería del robot, figura 2.1, muestra una forma irregular, con un perfil curvo, para darle de alguna manera estética al robot. Tiene 50cm. de largo, 40cm. de ancho y 35cm. de alto.

Para la carrocería se utilizará planchas de aluminio 6063-T5, cuyo espesor es de 1mm. Esta estructura no es compacta, se constituye de varias partes remachadas entre sí para formar la geometría deseada, una vez armada, la carrocería es empernada al chasis del robot. En los planos se detalla su geometría, así como sus medidas.

### **3.4. Diseño de Transmisión de Movimiento.**

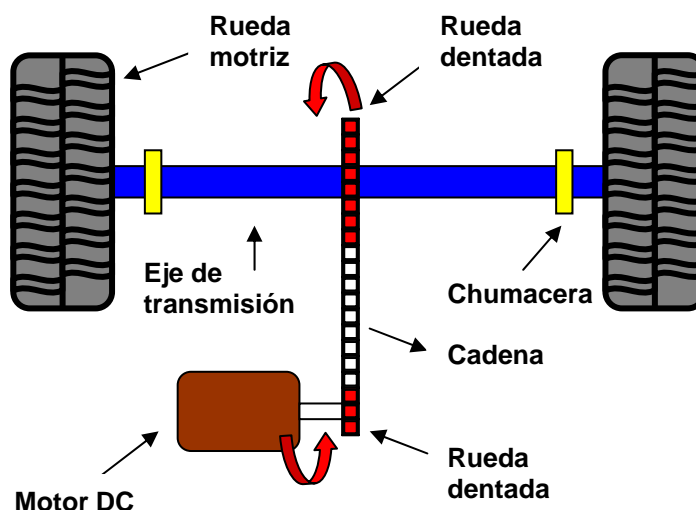
El sistema de transmisión a utilizar es el de transmisión por cadena; este sistema es utilizado en bicicletas, motos, vehículos karting y en distintas máquinas existentes en las industrias.



Una cadena es un elemento de transmisión de potencia que se fabrica como una serie de eslabones que se unen mediante pernos, el diseño proporciona flexibilidad, mientras permite que la cadena transmita fuerzas de tracción, cuya magnitud es considerable.

Cuando transmite potencia entre flechas o ejes que giran, la cadena activa ruedas dentadas que se enlazan. El tipo más común de cadena es la cadena de rodamientos, en la que el rodamiento de cada perno proporciona una fricción excepcionalmente baja entre la cadena y las ruedas dentadas.

En la figura 3.8, se muestra un esquema general del sistema de transmisión por cadena. Las chumaceras que se aprecia en esta figura van empernadas en el chasis, una en cada perfil.



**FIGURA 3.8. ESQUEMA GENERAL DEL SISTEMA DE TRANSMISION POR CADENA.**

### 3.4.1. Cálculo de Cadena y Ruedas Dentadas.

Todo el equipo que corresponde el motor eléctrico, ruedas dentadas y cadena se lo compra en el mercado. Teniendo como ventaja las especificaciones técnicas del equipo.

En la figura 3.9, se aprecia el conjunto rueda dentada-cadena, donde la rueda dentada 1 es la impulsora por estar acoplada al motor, y la 2 es la impulsada por la cadena. También se aprecia la dirección de la velocidad angular de salida del motor y de las ruedas motrices.

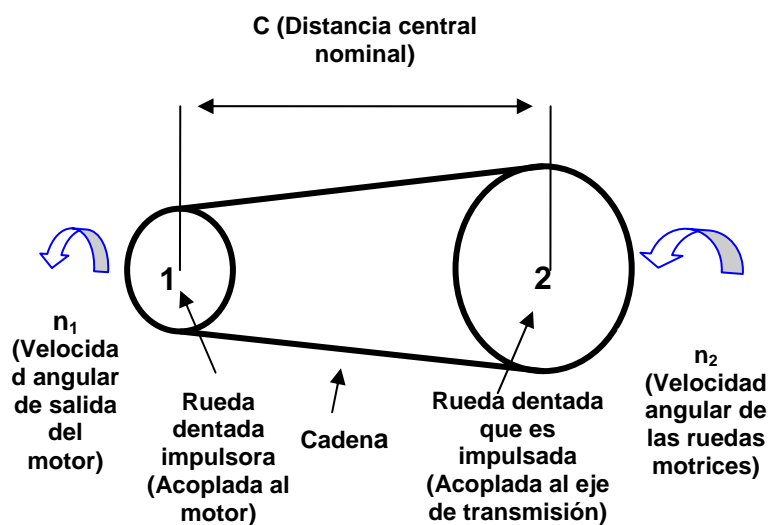


FIGURA 3.9. CONJUNTO RUEDA DENTADA-CADENA.

En la rueda dentada impulsora, tenemos que el número de dientes es  $N_1 = 11$ , el diámetro es  $D_1 = 0.9$  in, y el valor de la velocidad angular  $n_1$ , que es igual a la velocidad angular de salida del motor, se lo tiene que calcular.

Para la rueda dentada que es impulsada, tenemos que el número de dientes es  $N_2 = 60$ , el diámetro es  $D_2 = 4.77$  in., y el valor de la velocidad angular es  $n_2 = 14.10$  rpm, que es igual a la velocidad angular de las ruedas. La cadena es de rodamientos, con un paso de  $p = 1/4$  in, y de un solo tramo. Entonces la velocidad angular  $n_1$  resulta ser:

$$n_2 = n_1 * \left( \frac{N_1}{N_2} \right) \text{ (Ecuación 3.8)}$$

$$14.10 = n_1 * \left( \frac{11}{60} \right)$$

$$\mathbf{n_1 = 76.9 \text{ rpm}}$$

Esta es la velocidad angular que deberá tener el motor de tracción para que el robot cumpla con los requerimientos de tracción. La relación de velocidades entre la rueda dentada impulsora y la impulsada es:

$$\text{Relación} = \frac{n_1}{n_2} \text{ (Ecuación 3.9)}$$

$$\text{Relación} = \frac{76.9}{14.10} = 5.45$$

Esta relación es aceptable ya que no debe de pasar de 7. La longitud de la cadena viene dado por:

$$L_c = 2C + \frac{N_2 + N_1}{2} + \frac{(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2 C} \quad (\text{Ecuación 3.10})$$

donde:

**C:** Distancia central nominal.

La distancia central nominal entre los ejes de la rueda dentada debe ser de entre 30 y 50 pasos aproximadamente (30 a 50 veces el paso de la cadena), entonces se utiliza la media que es de 40 pasos.

$$L_c = 2 * 40 + \frac{60 + 11}{2} + \frac{(60 - 11)^2}{4 * \pi^2 * 40}$$

$$\mathbf{L_c = 117 \text{ pasos}}$$

Para obtener la longitud de la cadena multiplicamos por el paso de la cadena.

$$L_c = 117 * \left(\frac{1}{4} \text{ in}\right)$$

$$\mathbf{L_c = 29.25 \text{ in}}$$

Luego la distancia central real es:

$$C = \frac{1}{4} \left[ Lc - \frac{N_2 + N_1}{2} + \sqrt{\left( Lc - \frac{N_2 + N_1}{2} \right)^2 - \frac{8(N_2 - N_1)^2}{4\pi^2}} \right] \quad (\text{Ecuación 3.11})$$

$$C = \frac{1}{4} \left[ 117 - \frac{60 + 11}{2} + \sqrt{\left( 117 - \frac{60 + 11}{2} \right)^2 - \frac{8(60 - 11)^2}{4\pi^2}} \right]$$

$$\mathbf{C = 40 \text{ pasos}}$$

Para obtener distancia central real multiplicamos por el paso de la cadena.

$$C = 40 * \left( \frac{1}{4} \text{ in} \right)$$

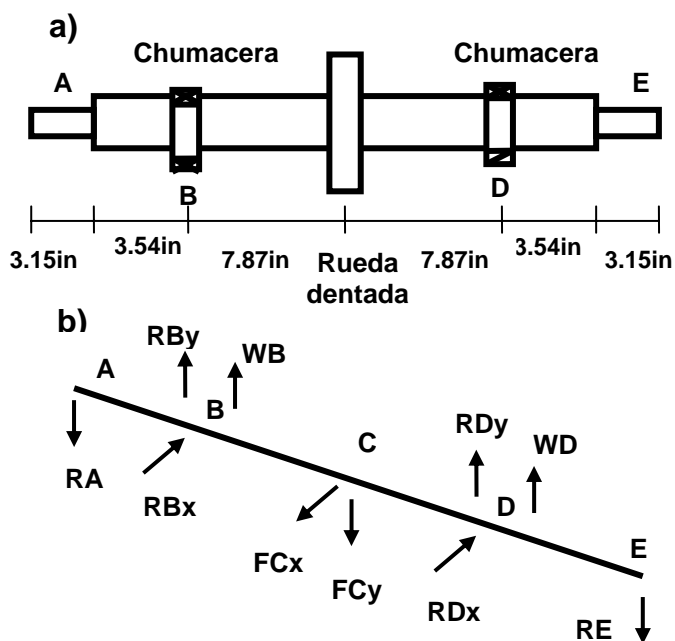
$$\mathbf{C = 10 \text{ in}}$$

### 3.4.2. Cálculo del Eje de Transmisión.

Una flecha o eje es el componente de los dispositivos mecánicos que transmite energía rotacional y potencial. Debido a la aparición simultánea de tensiones por esfuerzo de corte por torsión y tensiones normales que se deben a la flexión, el análisis de una flecha o eje virtualmente implica siempre el uso de un enfoque combinado para el aspecto de las tensiones, entonces el método utilizar para calcular el eje, es de la teoría de la falla por distorsión de la energía.

El eje a diseñar es donde van acopladas las ruedas traseras, teniendo como componente de transmisión una rueda dentada y dos chumaceras que le sirven de apoyo. Lo que se pretende calcular, son los diámetros que posee el eje, en este caso sería dos diámetros, ya que son necesarios debido a los elementos mecánicos que tiene el eje. Para ello, primero se realiza un análisis de fuerzas y reacciones actuantes sobre el eje.

En la figura 3.10.a, se aprecia la geometría general para el eje, considerando de qué manera se mantendrá en posición axialmente y cómo se llevará a cabo la transmisión de potencia a partir de cada elemento hacia el eje. En la figura 3.10.b, se muestra el diagrama de cuerpo libre del eje, donde se grafica todas las fuerzas y reacciones que posee dicho eje.



**FIGURA 3.10. a) ASPECTO GENERAL DEL EJE. b) DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DEL EJE.**

Donde:

**RA, RE:** Reacciones de las ruedas.

**RBx, RBy:** Reacciones en las coordenadas (x, y), de la chumacera B.

**RDx, RDy:** Reacciones en las coordenadas (x, y), de la chumacera D.

**WB, WD:** Reacciones transmitidas a las chumaceras debido al peso del robot.

**FCx, FCy:** Fuerza en las coordenadas (x, y) producidas por la cadena que actúa en la rueda.

En las ruedas dentadas, la parte superior de la cadena se somete a una tensión y genera torque en cualquiera de las ruedas. A la parte inferior de la cadena se le da el nombre de lado flojo, y no ejerce fuerza alguna en ninguna de las ruedas, por lo tanto, la fuerza total de flexión en el eje que soporta a la rueda es igual a la tensión en el lado tenso de la cadena.

Sí se conoce el torque T, en alguna rueda dentada,

$$T = \frac{63000 * P}{n} \text{ (Ecuación 3.12)}$$

donde P, es la potencia que se trasmite, en nuestro caso es la potencia motriz  $P_m = 0.4$  hp. Y la velocidad de giro de la rueda dentada impulsada, es  $n = 14.10$  rpm.

$$T = \frac{63000 * 0.4}{14.10}$$

$$T = 1787.23 \text{ lb.in}$$

La fuerza FC es:

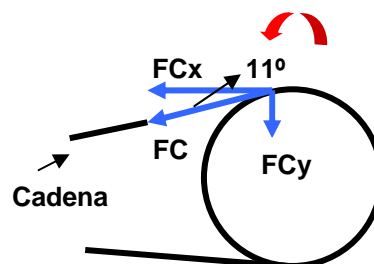
$$FC = \frac{T}{D/2} \text{ (Ecuación 3.13)}$$

El diámetro de la holgura de la rueda dentada impulsada, es:  $D=4.77\text{in}$ .

$$FC = \frac{1787.23}{4.77/2}$$

$$FC = 749.36 \text{ lb}$$

Debido a la diferencia de diámetro entre las dos ruedas, el sentido de FC, se encuentra a un ángulo de  $11^\circ$  respecto a la línea del centro del eje, figura 3.11.





### FIGURA 3.11. FUERZAS ACTUANTES EN LA RUEDA DENTADA.

Entonces FCx y FCy son:

$$FC_x = 749.36 * \cos 11^\circ$$

$$FC_x = 735.6 \text{ lb}$$

$$FC_y = 749.36 * \sin 11^\circ$$

$$FC_y = 143 \text{ lb}$$

Las reacciones de las chumaceras son producidas por la fuerza FC. Debido a la simetría en cuanto a ubicación de los elementos existentes en el eje, se considera las siguientes relaciones:

$$RB_x = RD_x = \frac{FC_x}{2}$$

$$RB_x = RD_x = 367.8 \text{ lb}$$

$$RB_y = RD_y = \frac{FC_y}{2}$$

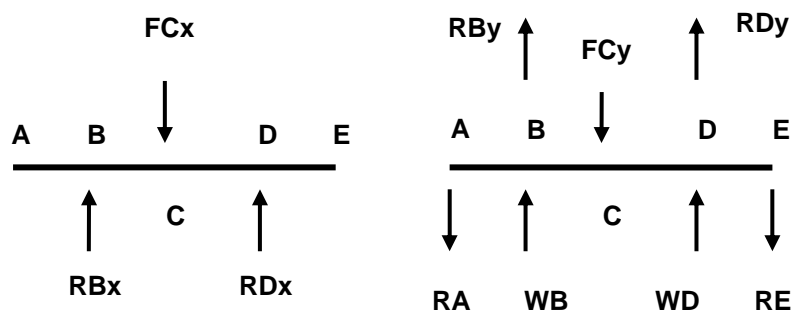
$$RB_y = RD_y = 71.5 \text{ lb}$$

Esta misma simetría afecta a las reacciones producidas en las ruedas y en las chumaceras debido al peso del robot, teniendo las siguientes relaciones:

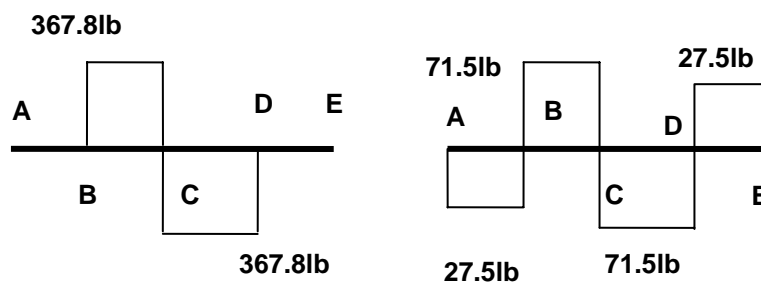
$$RA = RE = WB = WD = \frac{W}{4}$$

$$\mathbf{RA = RE = WB = WD = 27.5 \text{ lb}}$$

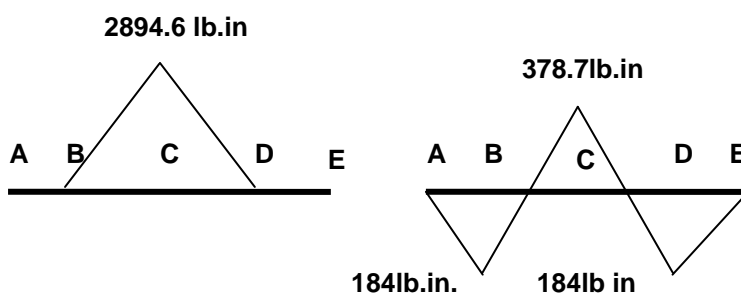
En la figura 3.12, se aprecia las gráficas de carga, corte y momento en el plano horizontal y el momento en el plano vertical. De esta figura se obtendrá el momento máximo en el punto B, para calcular el diámetro que deberá tener el eje en dicho punto.



Fuerza de corte, V (lb)



Momento de flexión, M (lb. in)



a) Plano horizontal.

b) Plano vertical

FIGURA 3.12. GRÁFICAS DE CARGA, CORTE Y MOMENTO.

El diámetro en el tramo A, donde va la rueda, y en el tramo B, donde va la chumacera, es:

$$D = \left[ \frac{32Fd}{\pi} \sqrt{\left( \frac{K_t M}{S'_n} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{T}{S_y} \right)^2} \right]^{1/3} \quad (\text{Ecuación 3.14})$$

donde:

**Fd:** Factor de diseño.

**M:** Momento de flexión.

**$K_t$ :** Valor de discontinuidad geométrica.

**$S'_n$ :** Resistencia máxima del material bajo condiciones reales.

**$S_y$ :** Resistencia al punto cedente.

Se selecciona como material a usar, el acero 1040 estirado en frío, donde según el apéndice C,  $S_y = 71000$  psi. La resistencia máxima del material bajo condiciones reales es:

$$S'_n = S_n C_S C_R \quad (\text{Ecuación 3.15})$$

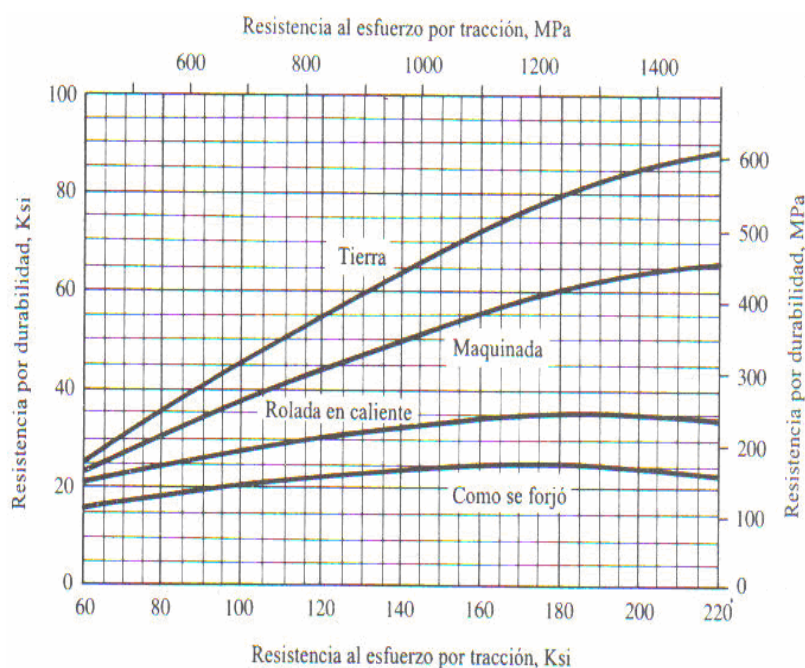
donde:

**$S_n$ :** Resistencia por durabilidad

$C_S$  : Factor de tamaño

$C_R$  : Factor de confiabilidad

Utilizando la figura 3.13, podemos estimar  $S_n = 28000$  psi.



**FIGURA 3.13. TENSION POR DURABILIDAD CONTRA RESISTENCIA AL ESFUERZO POR TRACCION PARA ACERO FORJADO PARA VARIAS CONDICIONES SUPERFICIALES.**

Debido a que existen efectos adversos a la resistencia por durabilidad del material con que se fabrica el eje, en la tabla 2 se muestra varios factores de ajuste para un alto grado de confiabilidad, donde se utiliza para el diseño del eje una confiabilidad del 0.999. Entonces se tiene un factor de confiabilidad,  $C_R = 0.75$ .

TABLA 2

## FACTORES DE AJUSTE PARA UN ALTO GRADO DE CONFIABILIDAD

Confiabilidad que se desea	Factor de confiabilidad, $C_R$
0.50	1.00
0.90	0.90
0.99	0.81
0.999	0.75

Se aplica un factor de tamaño  $C_S$  para considerar el gradiente de tensión dentro del material y la probabilidad de que una sección particular presente una oclusión específica que puede ser el lugar en que se inicie una fractura por fatiga. De la figura 3.14, se estima un factor de tamaño promedio en función del diámetro del eje,  $C_S = 0.85$ .

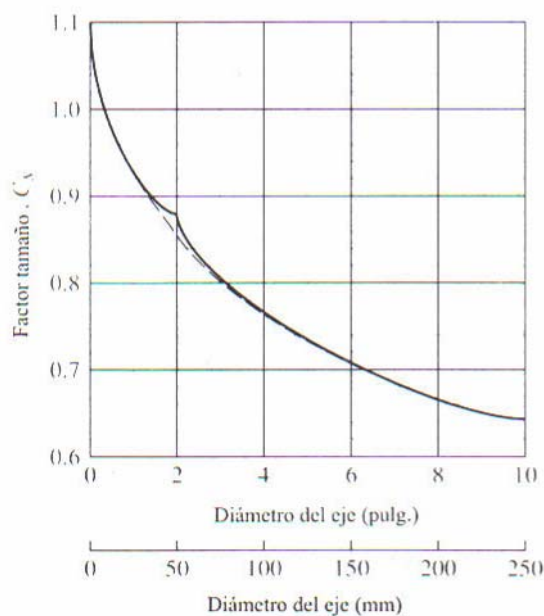


FIGURA 3.14. FACTOR DE TAMAÑO PARA DISEÑO DE EJES

Luego calculamos  $S'_n$

$$S'_n = 28000 * 0.85 * 0.75$$

$$S'_n = 17850 \text{ psi}$$

Se sugiere un factor de diseño de  $F_d = 2$ , para aplicaciones en extremo suave, cuyo valor es ideal ya que el robot se lo aplica en un ambiente normal. Para calcular el diámetro en el punto A del eje, el momento según la figura 3.12, es  $M_A = 0$ .

$$DA = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} \sqrt{\frac{3}{4} \left( \frac{1787.23}{71000} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$DA = 0.763 \text{ in}$$

$$DA = 1.94 \text{ cm.}$$

Las ruedas a utilizar son para ejes de 2cm., entonces podemos utilizar un  $DA = 2\text{cm.}$ , sin que se altere las condiciones mecánicas del eje, ya que este valor es el inmediato superior de 1.94cm.

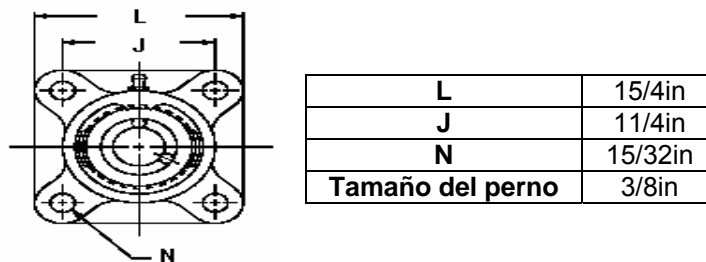
Para el diámetro en el punto B, el momento máximo según la figura 3.12, es  $M_B = 184\text{lb.in.}$  El eje tiene dos diámetros, por lo tanto tiene que haber chaflanes de hombros, en este caso se utilizará chaflanes de bordes cortantes, teniendo un valor de  $K_t = 2.5$ .

$$DB = \left[ \frac{32 * 2}{\pi} \sqrt{\left( \frac{2.5 * 184}{17850} \right)^2 + \frac{3}{4} \left( \frac{1787.23}{71000} \right)^2} \right]^{1/3}$$

$$DB = 0.882 \text{ in}$$

$$DB = 2.24 \text{ cm.}$$

Es en esta parte donde van colocadas las chumaceras, y son de tipo cuadradas de pared, con alojamiento de acero fundido y con tornillo de fijación (prisionero). No existen chumaceras para ejes de diámetro 0.882in.; lo que se debe hacer es seleccionar una chumacera para ejes cuyo diámetro sea el inmediato superior, entonces se selecciona una chumacera número UCF205-15D1 para un eje de 15/16 in de diámetro. El diámetro DB cambia para que se adapte a la chumacera escogida, siendo ahora DB = 15/16in. Su dibujo se muestra en los planos. Las medidas principales de la chumacera seleccionada se muestran en la figura 3.15.

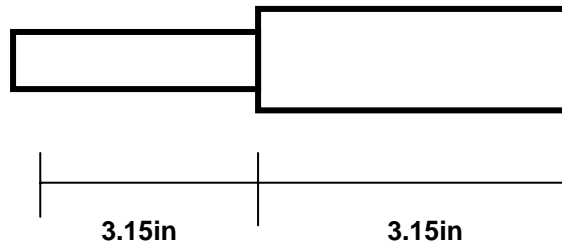


**FIGURA 3.15. DIMENSIONES NOMINALES DE LA CHUMACERA.**



### 3.4.2.1. Eje de las Ruedas Direccionales.

Las características mecánicas del eje de las ruedas direccionales son iguales a las del eje de tracción, lo que cambia es su dimensión para poder cumplir con el diseño direccional planteado en la sección 3.3.2., las medidas se muestran en la figura 3.16.



**FIGURA 3.16. DIMENSIONES DEL EJE DIRECTRIZ.**

Para este caso serian dos ejes, uno para cada rueda directriz. Sabiendo que, en el extremo del diámetro más grande, los ejes van pivotados en el chasis del robot.

En los planos se muestra el dibujo del eje de las ruedas direccionales.

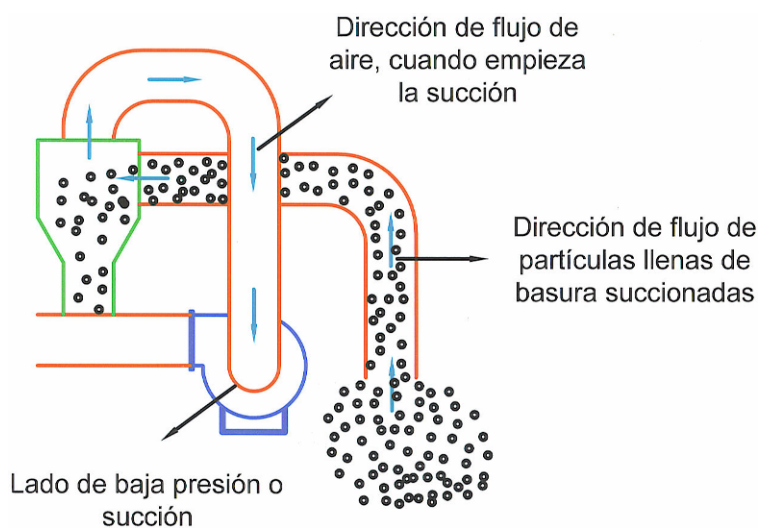
### **3.5. Diseño del Sistema de Recolección de Basura.**

El sistema de recolección de basura, que se diseñará para el robot, se basa en el principio de funcionamiento básico de los extractores de partículas sólidas, como por ejemplo, polvos, granos, viruta de madera, harina, etc. Estos extractores son utilizados con frecuencia en las industrias, donde se necesite transportar de manera rápida, material sólido, de tamaño pequeño y liviano, todo esto para optimizar la producción y reducir costos de operación; por ejemplo, en la industria agropecuaria el uso de los extractores de granos ayuda significativamente el traslado y selección de un grano apto para el consumo. Entonces, la idea básica es hacer una adaptación de estos extractores para que absorba basura, ya que esta, entra en la clasificación de partículas sólidas ya mencionadas. El tipo de basura a absorber es de tamaño y peso pequeño. Los criterios de diseño utilizados para los extractores de granos, serán los mismos para el extractor de basura.

#### **3.5.1. Descripción del Sistema de Recolección de Basura.**

El objetivo de este sistema, es transportar la basura de un lugar a otro, lo cual se consigue por la diferencia de presión producida por un ventilador de flujo centrífugo. Para ello se debe seguir los siguientes dos pasos:

1) Se succiona la basura por el lado de baja presión y se la deposita en un recipiente auxiliar de plástico, de aproximadamente  $8000 \text{ cm}^3$ , figura 3.17. El fluido cargado con partículas de basura, se desplaza por una manguera de aluminio de 12cm. de diámetro y 50cm. de largo, dirigiéndose tangencialmente hacia el recipiente auxiliar.



**FIGURA 3.17 FLUJO DE BASURA HACIA EL RECIPIENTE AUXILIAR.**

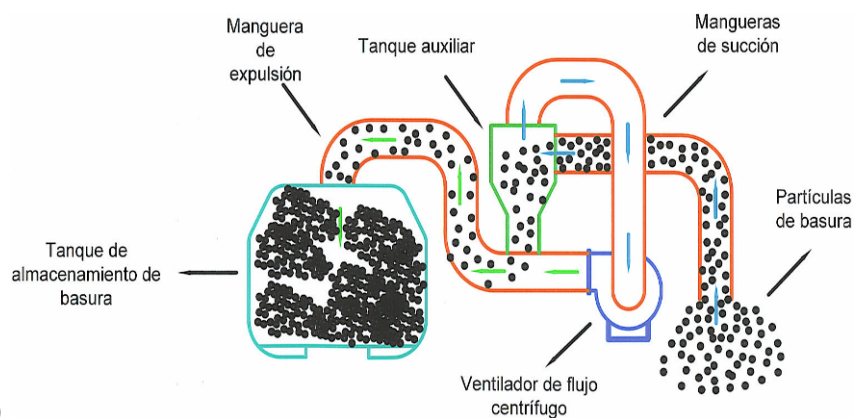
2) Luego, por el lado de alta presión del ventilador centrífugo, se expulsa aire que va arrastrando las partículas de basura acumuladas en el recipiente auxiliar, hasta un recipiente de descarga de plástico, de aproximadamente  $23200 \text{ cm}^3$ , figura 3.18. El desplazamiento también se lo hace por medio de una manguera de aluminio, de iguales dimensiones, que va conectada

desde el lado de alta presión, pasando por el recipiente auxiliar, hasta el recipiente de descarga.

a)



b)



**FIGURA 3.18 a) FLUJO DE BASURA HACIA EL RECIPIENTE AL RECIPIENTE DE DESCARGA. b) DIAGRAMA GENERAL DEL SISTEMA DE SUCCIÓN.**

### **3.5.2. Ventiladores.**

Un ventilador se define como una máquina propulsora de aire en forma continua por acción aerodinámica. Existen tres tipos básicos de ventiladores, estos son: centrífugos, helicoidales y axiales. Los dos últimos se clasifican a veces en un mismo grupo, pero las diferencias en su construcción y características son tales que justifican una clasificación separada.

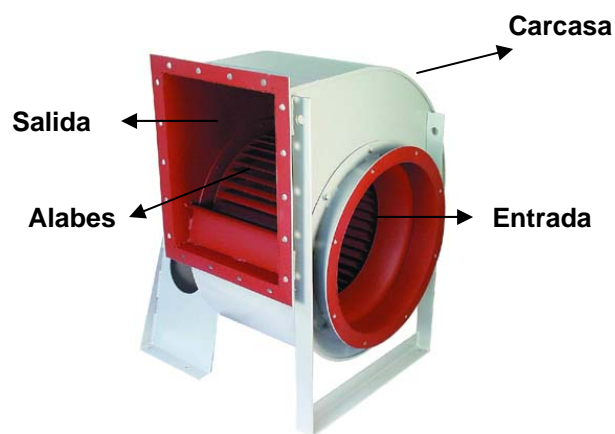
#### **3.5.2.1. Ventiladores Centrífugos.**

El ventilador centrífugo está formado por un impulsor el cual gira dentro de una carcasa en forma de voluta, figura 3.19. El impulsor tiene un número determinado de hojas o placas alrededor de su periferia, similar a una rueda hidráulica a ruedas de paletas de un barco de río. La carcasa tiene una entrada en el eje de la rueda y una salida perpendicular a éste.

Cuando el impulsor gira, las hélices en su periferia despiden el aire por centrifugación en la dirección de rotación. El aire así despedido entra en la voluta y es forzado hacia la salida tan pronto como abandona la hélice.

Al mismo tiempo el aire es aspirado a la entrada para reemplazar al que ya ha sido despedido.

El aire entra en forma axial, gira en ángulo recto a través de las aletas y es despedido en forma radial. La finalidad de la carcasa es convertir la presión estática en presión dinámica desarrollada en la extremidad de las paletas.



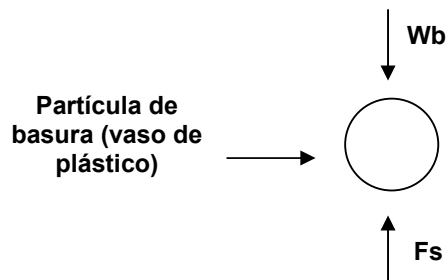
**FIGURA 3.19. DISPOSICIÓN GENERAL DE UN VENTILADOR CENTRÍFUGO.**

Existen variantes de esta forma fundamental. Tres tipos diferentes de hélices son utilizados, hélices radiales rectas, hélices curvadas hacia delante y hélices curvadas hacia atrás. La forma de las hélices influye en la fuerza ejercida sobre el aire y sobre la proporción de energía convertida en la velocidad.

### 3.5.3. Velocidad de Suspensión.

Para determinar la velocidad de suspensión de la basura que será absorbida por el ventilador centrífugo, se debe considerar su peso y tamaño. Pero para fines de cálculo se escoge entre todas las partículas de basura posibles que el robot pueda encontrar, la que tenga mayor tamaño y peso.

Entonces, un vaso plástico de medida estándar, sería posible que el robot encuentre tirada en cualquier lugar, siendo esta la de mayor dimensión. Y como el objetivo es mantener las partículas de basura en suspensión, es necesario hacer un breve análisis de las fuerzas existentes en cada partícula, como se lo demuestra en la figura 3.20.



**FIGURA 3.20. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE DE LA PARTICULA DE BASURA.**

Realizando la sumatoria de fuerzas respectivas, se tiene:

$$F_s - W_b = 0$$

$$F_s = W_b$$

donde:

**F<sub>s</sub>**: Fuerza de suspensión.

**W<sub>b</sub>**: Peso de la partícula de basura (vaso de plástico).

Utilizando la presión de velocidad de la ecuación de Bernulli se tiene que:

$$p = \frac{v^2 \rho}{2} \text{ (Ecuación 3.16)}$$

También se sabe que la presión que ejerce una fuerza sobre determinada área es:

$$p = \frac{F}{A_p} \text{ (Ecuación 3.17)}$$

Luego se iguala las ecuaciones 3.16 y 3.17, para obtener lo siguiente:

$$F = \frac{v^2 \rho A_p}{2}$$



Se reemplaza  $W_b$  por  $F$  y  $v$  por  $V_s$ , para obtener la ecuación de la velocidad de suspensión.

$$V_s = \sqrt{\frac{2W_b}{\rho A_p}} \quad (\text{Ecuación 3.18})$$

Donde:

**$V_s$** : Velocidad de suspensión (m/seg.)

**$\rho$**  : Densidad del fluido ( $\text{Kg/m}^3$ )

**$A_p$** : Area proyectada de la partícula de basura ( $\text{m}^2$ )

Aproximadamente,  $W_b = 0.09 \text{ N}$  y  $A_p = 0.004 \text{m}^2$ , y cuando el aire esta a 1atm y a  $20^\circ \text{C}$ , tenemos que  $\rho = 1.21 \text{ kg/m}^3$ .

$$V_s = \sqrt{\frac{2 \cdot 0.09}{1.21 \cdot 0.004}}$$

$$V_s = 6.09 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

Para tener mayor seguridad de la velocidad de suspensión, es conveniente usar una velocidad por lo menos 50% mayor que el valor conocido, entonces se tiene lo siguiente:

$$V_s = 6.09 + (6.09 \cdot 0.5)$$

$$V_s = 9.13 \frac{\text{m}}{\text{seg}}$$

### 3.5.4. Caudal de Aire.

Caudal es el volumen de fluido por unidad de tiempo que pasa través de una sección transversal a la corriente. El caudal requerido por el ventilador centrífugo se lo calcula con la siguiente ecuación:

$$Q = \frac{V_s \pi D_t^2}{4} \text{ (Ecuación 3.19)}$$

donde:

**Q:** Caudal (m<sup>3</sup>/seg.)

**D<sub>t</sub>:** Diámetro de la tubería (m)

Reemplazando valores en la ecuación 3.19, se tiene:

$$Q = \frac{9.13 \cdot \pi \cdot 0.12^2}{4}$$

$$Q = 0.1 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

Debido que existen pérdidas, el caudal se lo multiplica por un factor de seguridad de, 1.3 (Ref. 1).

$$Q = 0.13 \frac{\text{m}^3}{\text{seg}}$$

### 3.5.5. Capacidad de Transporte.

La capacidad de transporte está dada por la cantidad de partículas de basura que se esté manipulando y por el caudal de aire que se genera en el sistema por medio del ventilador, y viene dada por:

$$\text{Cap} = \gamma \cdot Q \text{ (Ecuación 3.20)}$$

donde:

**Cap:** Capacidad de transporte (kg/seg).

$\gamma$ : Peso específico de la basura (kg/m<sup>3</sup>).

Los fabricantes de succionadores se basan en la cantidad de material que hay que transportar para realizar los cálculos respectivos, cuyo valor es seleccionado por el cliente, entonces, debido a que las dimensiones físicas del robot son pequeñas, el succionador de basura debe ser de poca capacidad de transporte, garantizando de esta forma

la selección de un ventilador centrífugo pequeño y de poco peso, adaptable a la geometría del robot. También se debe tomar en cuenta el tipo de basura que será succionada, por eso, se escoge que,  $Cap = 0.11$  kg/seg. Luego se calcula el peso específico de la basura, este es:

$$0.11 = \gamma \cdot 0.13$$

$$\gamma = 0.846 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$

### **3.5.6. Caída de Presión.**

Existen diversas resistencias que se oponen al flujo de partículas de basura a través de la tubería de transporte, que podrían alterar el cálculo de la potencia del ventilador. Para considerar dichas resistencias, se debe calcular la diferencia de presión a lo largo del sistema, y la sumatoria de estas, es la caída de presión total. A continuación se detalla cada una de estas caídas de presión.

#### **3.5.6.1. Aceleración de las Partículas de Basura.**

Las partículas de basura al entrar en la tubería tienen una velocidad de entrada de casi cero, para luego alcanzar la velocidad de suspensión.

Entonces es necesaria una energía para que exista aceleración y se pueda alcanzar una velocidad de transporte segura, esta es:

$$\Delta P_a = \frac{C_1 V_s^2 \gamma}{2g} \text{ (Ecuación 3.21)}$$

donde:

**$\Delta P_a$** : Diferencia de presión debida a la aceleración ( $\text{kg/m}^2$ ).

**$C_1$** : Constante de pérdidas en la zona de aceleración debidas a turbulencias, reaceleraciones de la basura, etc.

**$g$** : Aceleración de la gravedad ( $\text{m/seg}^2$ ).

Siendo  $C_1=2.5$ , que es determinado experimentalmente (Ref. 1), se tiene:

$$\Delta P_a = \frac{2.5 \cdot 9.13^2 \cdot 0.846}{2 \cdot 9.8}$$

$$\Delta P_a = 9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

### 3.5.6.2. Rozamiento de Tuberías.

Debido a los diferentes dispositivos que se encuentran en el sistema de absorción de basura, existe rozamiento en las tuberías, lo que conlleva a una caída de presión, esta es:

$$\Delta P_r = \frac{C_2 V_s^2 \gamma L_t}{2 D_t g} \quad (\text{Ecuación 3.22})$$

donde:

$\Delta P_r$ : Diferencia de presión debido al rozamiento de las partículas de basura con las paredes de la tubería ( $\text{kg/m}^2$ ).

$C_2$ : Coeficiente de rozamiento para tubos rectos.

$D_t$ : Diámetro de la tubería (m).

$L_t$ : Longitud total de la tubería (m).

Siendo  $C_2 = 0.0228$  (Ref. 1), y con un valor aproximado de  $L_t = 0.5\text{m}$ ,

se tiene:

$$\Delta P_r = \frac{0.0228 \cdot 9.13^2 \cdot 0.846 \cdot 0.5}{2 \cdot 0.12 \cdot 9.8}$$

$$\Delta P_r = 0.34 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

### 3.5.6.3. Cambio de Dirección.

Los distintos codos existentes en la tubería del sistema produce una resistencia al flujo, esta pérdida se la expresa como una caída de presión, y esta es:

$$\Delta P_d = \frac{C_3 V_s^2 \gamma N_c}{2g} \text{ (Ecuación 3.23)}$$

donde:

$\Delta P_d$ : Diferencia de presión debida a rozamientos en los codos (kg/m<sup>2</sup>).

$C_3$  : Coeficiente de rozamiento para codos.

$N_c$  : Número de codos.

El coeficiente de rozamiento para los codos varía con la razón entre el radio de curvatura y el diámetro de la tubería. En la tabla 3 se muestra distintos valores de  $C_3$  .

**TABLA 3**  
**VALORES DEL COEFICIENTE DE ROZAMIENTO PARA CODOS.**

Radio de curvatura / $D_t$	$C_3$
2	1.5
4	0.75
6 o más	0.5

De ser posible se debe usar codos de gran radio de curvatura a fin de reducir pérdidas y evitar atascamientos. Entonces se tiene que,

$$C_3 = 0.5 \text{ y } N_c = 5$$

$$\Delta P_d = \frac{0.5 \cdot 9.13^2 \cdot 0.846 \cdot 5}{2 \cdot 9.8}$$

$$\Delta P_d = 9 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

#### 3.5.6.4. Fuerzas Gravitacionales.

Las partículas de basura son elevadas hasta un recipiente de recolección, entonces existen fuerzas gravitacionales que hay que vencer, para lograr esto, se necesita una energía que se puede expresar en función de la diferencia de presión, esta es:

$$\Delta P_g = C_4 \gamma H \text{ (Ecuación 3.24)}$$



donde:

$\Delta P_g$ : Diferencia de presión debida a la gravedad ( $\text{kg/m}^2$ ).

**H**: Altura a ser elevadas las partículas de basura (m).

$C_4$ : Factor de resbalamiento.

El valor de  $C_4$ , es un factor correctivo, debido a los efectos de resbalamiento de las partículas de basura, cuyo valor fluctúa entre 1.1 y 1.5 (Ref. 1).

$$\Delta P_g = 1.5 \cdot 0.846 \cdot 0.45$$

$$\Delta P_g = 0.57 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

### 3.5.6.5. Caída de Presión Total.

La caída de presión total  $\Delta P_t$ , está dada por la suma de las distintas caídas de presión en todo el sistema.

$$\Delta P_t = 18.91 \frac{\text{kg}}{\text{m}^2}$$

### 3.5.7. Potencia del Ventilador Centrifugo.

La potencia que el ventilador centrífugo necesita para vencer las resistencias que se oponen al flujo de partículas de basura a lo largo de la tubería, viene dada por:

$$P_C = \frac{\Delta P_t Q}{75 n_v} \quad (\text{Ecuación 3.25})$$

donde:

**$P_C$** : Potencia del ventilador centrífugo (CV).

**$n_v$** : Eficiencia del ventilador (0.6 a 0.7).

Considerando una eficiencia de 0.6, se tiene que:

$$P_C = \frac{18.91 \cdot 0.13}{75 \cdot 0.6}$$

$$P_C = 0.0546 \text{ CV} = 0.0535 \text{ hp}$$


$$\mathbf{P_C = 40 \text{ W}}$$

Entonces, se escoge un ventilador centrífugo existente en el mercado.

Como no hay de 23.8 W, se escoge el ventilador cuya potencia es la

inmediata superior, esta es de 30 W, en la tabla 4 se muestra las características técnicas del ventilador seleccionado.

**TABLA 4**  
**CARACTERISTICAS TECNICAS DEL VENTILADOR CENTRÍFUGO.**

			
<b>Ventilador Centrifugo</b>		<b>Manguera de Aluminio</b>	
<b>Modelo</b>	CY 100	<b>Ciclos</b>	60/50 HZ
<b>Fase</b>	1 Ø	<b>RPM</b>	3350/2850
<b>Potencia</b>	45 W	<b>Flujo de Aire</b>	2.7/2.2 (m <sup>3</sup> /min)
<b>Voltios</b>	115/230	<b>Presión Máx.</b>	26/18 (mm Aq)
<b>Amperios</b>	0.55/0.3		

### 3.6. Diseño del Sistema de Enfriamiento del Equipo Eléctrico y Electrónico.

Debido al calentamiento de los equipos eléctricos y electrónicos, surge la necesidad de diseñar un sistema de enfriamiento, basado en los principios básicos de Transferencia de Calor. Para lograr esto, se seleccionará un ventilador helicoidal, el cual va acoplado en la carrocería del robot.

### **3.6.1. Ventiladores Helicoidales.**

Estos ventiladores tienen un ancho campo de aplicaciones, en donde la resistencia al flujo de aire es baja. Por lo general se usan en lugares donde no hay sistema de conducción o en el caso de que la longitud del conducto sea corta. En la mayoría de los casos mueve el aire a través de un orificio practicado en la pared. Su interés reside sobre todo en que ellos proporcionan grandes volúmenes de aire económicamente y no exigen importantes inversiones de capital. Son usados mundialmente para ventilación en general.

### **3.6.2. Transferencia de Calor.**

Para realizar los cálculos respectivos lo primero que se hace es, un análisis de transferencia de calor para cuantificar la energía en tránsito debido a una diferencia de temperaturas entre el robot y el medio ambiente. El sol calentará la superficie del robot, produciendo calor que será transferido por conducción a través su carrocería de aluminio, para luego ser transferido por convección libre a todo su equipo eléctrico y electrónico. Entonces lo que interesa es la temperatura que pueda obtener el aire al interior de la carrocería al estar expuesta al sol, para ello, se trabaja con la temperatura media máxima de Guayaquil, estas es 31° C.

### 3.6.2.1. Transferencia de Calor por Convección Libre.

Se puede suponer que la temperatura del aire al interior del robot es 31° C. La temperatura de ambiente máxima que normalmente se prevé para motores eléctricos es de 40°C. Entonces por equilibrio térmico, los motores estarán en algún momento a 40°C, y asumiendo que los dispositivos electrónicos también estarán a dicha temperatura, se trabaja con el intervalo de temperatura entre 31°C y 40°C. Luego el flujo de transferencia de calor por convección libre es:

$$q_{\text{conv L}} = \bar{h} A_s (T_s - T_\infty) \text{ (Ecuación 3.26)}$$

donde:

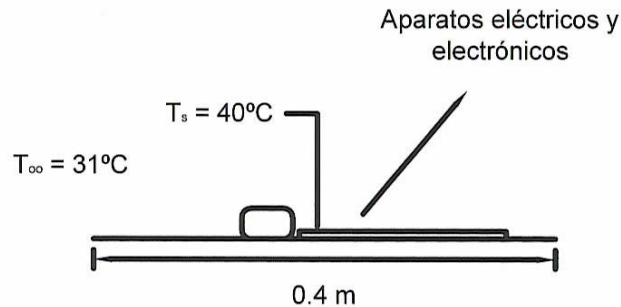
$q_{\text{conv L}}$  : Transferencia de calor por convección libre (W).

$\bar{h}$  : Coeficiente de convección promedio (W/m<sup>2</sup> K).

$T_s$  : Temperatura superficial (K).

$T_\infty$  : Temperatura del fluido (aire) (K).

Los distintos aparatos eléctricos y electrónicos ocuparán un área de 0.40m de largo y 0.22m de ancho. El esquema de distribución de temperaturas se muestra en la figura 3.21.



**FIGURA 3.21. DISTRIBUCION DE TEMPERATURAS AL INTERIOR DEL ROBOT.**

Suponiendo que el aire en el interior del robot está en reposo, y que los efectos de radiación superficial son insignificantes, del apéndice D, se obtiene las propiedades termofísicas del aire basadas en la temperatura promedio entre  $T_s$  y  $T_{\infty}$ , siendo esta  $T_f = 308.5$  K. Entonces se tiene que:  $\nu = 16.74 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\alpha = 23.76 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ,  $\beta = 0.00324 \text{ K}^{-1}$ ,  $\text{Pr} = 0.7058$ ,  $k = 0.0269 \text{ W/m K}$ , donde  $\nu$  es la viscosidad cinemática,  $\alpha$  es la difusividad térmica,  $\beta$  es coeficiente de expansión térmica volumétrica,  $\text{Pr}$  es el número de Prandtl, y  $k$  es la conductividad térmica.

Hay que determinar si la capa límite de convección es laminar o turbulento, y se lo hace con la siguiente ecuación:

$$\text{Ra}_L = \frac{g\beta(T_s - T_{\infty})L^3}{\nu\alpha} \quad (\text{Ecuación 3.27})$$

donde:

**Ra<sub>L</sub>** : Número de Rayleigh

**g**: Gravedad m/s<sup>2</sup>

**L**: Longitud característica de la geometría (m).

En particular la longitud característica se define como:

$$L \equiv \frac{A_s}{P} \text{ (Ecuación 3.28)}$$

donde:

**A<sub>s</sub>**: Area de la superficie

**P**: El perímetro

La transferencia de calor se calcula aplicando criterios de placas horizontales e inclinadas. Y aplicando la ecuación 3.28 se tiene.

$$L = \frac{0.40 \cdot 0.22}{0.40 + 0.22}$$

$$\mathbf{L = 0.142 \text{ m}}$$

Luego utilizando la ecuación 3.27, se obtiene:

$$Ra_L = \frac{9.8 \cdot 0.00324 \cdot (40 - 31) \cdot 0.142^3}{16.74 \times 10^{-6} \cdot 23.76 \times 10^{-6}}$$

$$Ra_L = 2.056 \times 10^6$$

Como  $2.056 \times 10^6 < 10^9$ , se concluye que la capa límite de convección libre es laminar. El número de Nusselt ( $\overline{Nu}_L$ ) para flujo laminar, es de la forma:

$$\overline{Nu}_L = 0.54 Ra_L^{1/4} \text{ (Ecuación 3.29)}$$

$$\overline{Nu}_L = 0.54 \cdot (2.056 \times 10^6)^{1/4}$$

$$\overline{Nu}_L = 20.448$$

El coeficiente de convección asociado es:

$$\bar{h} = \frac{k}{L} \overline{Nu}_L \text{ (Ecuación 3.30)}$$

$$\bar{h} = \frac{0.0269}{0.142} \cdot 20.448$$

$$\bar{h} = 3.87 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

Sabiendo que el área superficial es  $0.088 \text{ m}^2$ , se hace uso de la ecuación 3.26.

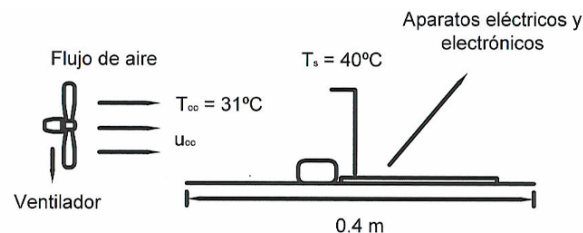


$$q_{\text{conv L}} = 3.87 \cdot 0.088 \cdot (40 - 31)$$

$$q_{\text{conv L}} = 3.065 \text{ W}$$

### 3.6.2.2. Transferencia de Calor por Convección Forzada.

El calor  $q_{\text{conv L}}$  debe ser disipado por convección forzada, teniendo en cuenta que se mantiene el mismo intervalo de temperatura ( $40^{\circ}\text{C} - 31^{\circ}\text{C}$ ). En la figura 3.22 se aprecia la distribución de temperatura al interior del robot, donde el ventilador debe impulsar aire para lograr el propósito de mantener fresco los distintos aparatos eléctricos y electrónicos.



**FIGURA 3.22. DISTRIBUCCION DE TEMPERATURAS AL INTERIOR DEL ROBOT PARA CONVECCION FORZADA.**

Suponiendo que los efectos de radiación superficial son despreciables y que el flujo es laminar. También el valor de  $\bar{h}$  para convección forzada es igual al de convección libre, ósea,

$$\bar{h} = 3.87 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot \text{K}}$$

Se mantiene las mismas propiedades termofísicas del aire, entonces se reemplaza  $\overline{Nu}$  por  $\overline{Nu}_L$  de la ecuación 3.30, y sabiendo que  $L = 0.40\text{m}$ , se tiene:

$$3.87 = \frac{0.0269}{0.40} \overline{Nu}$$

$$\overline{Nu} = 57.54$$

Número de Reynolds (Re) se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\overline{Nu} = 0.664 Re^{1/2} Pr^{1/3} \quad (\text{Ecuación 3.31})$$

$$57.54 = 0.664 Re^{1/2} (0.7058)^{1/3}$$

$$Re = 9.47 \times 10^3$$

La velocidad del aire ( $u_\infty$ ) se calcula con la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{u_\infty L}{\nu} \quad (\text{Ecuación 3.32})$$

$$9.47 \times 10^3 = \frac{u_\infty 0.4}{16.74 \times 10^{-6}}$$

$$u_\infty = 0.4 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

### 3.6.3. Potencia del Ventilador Helicoidal.

Los ventiladores helicoidales no son apropiados para trabajar en contra de una resistencia apreciable. Su particular campo de aplicación es desplazar el aire bajo condiciones de libre aspiración y descarga, o en presiones estáticas no excediendo a los  $15 \text{ kg/m}^2$  (Ref. 5), valor que la podemos asumir para fines de cálculo.

Se sabe que el área de la sección transversal de la carrocería del robot es aproximadamente  $0.245 \text{ m}^2$ , de ahí que multiplicado por la velocidad del viento, se tiene el caudal del ventilador ( $Q_v$ ) que enfriará los equipos, esto es:

$$Q_v = 0.098 \frac{\text{m}^3}{\text{s}}$$

Considerando una eficiencia de 0.6, y reemplazando  $P_h$  por  $P_c$  en la ecuación 3.25, se tiene que la potencia del ventilador helicoidal ( $P_h$ ), es:

$$P_h = \frac{15 \cdot 0.098}{75 \cdot 0.6}$$

$$P_h = 0.0326 \text{ CV} = 0.032 \text{ hp}$$

$$P_h = 23.8 \text{ W}$$

Entonces, se escoge un ventilador centrífugo existente en el mercado. Como no hay de 40 W, se escoge el ventilador cuya potencia es la inmediata superior, esta es de 45 W, en la tabla 5 se muestra las características técnicas del ventilador seleccionado.

**TABLA 5**  
**CARATERISTICAS TECNICAS DEL VENTILADOR**  
**HELICOIDAL.**

			
<b>Ventilador Helicoidal</b>			
<b>Modelo</b>	HJEPA-20-M4	<b>RPM (Max.)</b>	1300
<b>Potencia</b>	30W	<b>Flujo de Aire</b>	500 (m <sup>3</sup> /h)
<b>Voltios</b>	115/230V		
<b>I (Max)</b>	0.20A		

# **CAPÍTULO 4**

## **4. SISTEMA ELECTRICO.**

En este capítulo se hará la selección de los dispositivos eléctricos necesarios para que el robot funcione correctamente, como son: los paneles solares, baterías, motores DC. También se describe de forma detallada la conexión de dichos aparatos entre sí, para que el robot tenga autonomía al realizar su trabajo. Al final se muestra el diagrama del sistema eléctrico.

### **4.1. Selección del Panel Solar.**

Para que se provea de una correcta energía solar al robot, se debe hacer uso de componentes que conectados entre sí, garantizarán un correcto funcionamiento eléctrico del robot. Entonces se hace la elección de los siguientes elementos:

**a) Generador fotovoltaico.** Se conocen popularmente como paneles solares o placas solares. Son los encargados de transformar la energía del sol en energía eléctrica. Su orientación ideal es hacia el Norte geográfico y con una inclinación equivalente a la latitud del lugar donde se vaya a realizar la instalación.

**b) Controlador de carga.** El sistema de control de carga tiene básicamente dos funciones:

1. Evitar sobrecargas y descargas profundas de la batería, ya que esto puede provocar daños irreversibles en la misma. Si, una vez que se ha alcanzado la carga máxima, se intenta seguir introduciendo energía en la batería, se iniciarían procesos de calentamiento que acortarían sensiblemente la duración de la misma.
2. Impedir la descarga de la batería a través de los paneles en los periodos sin luz.

**c) Baterías.** Las baterías acumulan la energía producida por el sistema de generación para que el robot disponga de suministro en los momentos en que ninguno de los generadores de la instalación está produciendo energía por falta de sol. Y también en los momentos en que la demanda energética de la misma es superior a la generada en esos instantes por los paneles.

La profundidad de descarga de la batería (DoD), en porcentaje, es lo contrario al estado de carga de las baterías. Por ejemplo si la batería tiene un 70 % de carga, la profundidad de descarga es el 30% siendo que el total debe ser igual a 100%, tabla 6. La forma más eficiente para determinar el estado de carga de una batería en baterías con tapas removibles es usando un hidrómetro. En baterías libres de mantenimiento, el mejor método es usando un buen voltímetro.

**TABLA 6**  
**EL DoD DE LAS BATERÍAS**

<b>Voltaje</b>	<b>Gravedad Especifica</b>	<b>Estado de carga</b>	<b>DoD</b>
12.66	1.265	100%	0%
12.45	1.225	75%	25%
12.25	1.190	50%	50%
12.05	1.145	25%	75%

**d) Inversor.** Como el robot posee dos ventiladores que funcionan con corriente alterna a 120V. Puesto que los paneles como las baterías trabajan siempre en corriente continua, es necesaria la presencia de un inversor que transforme la corriente continua en alterna.

Las principales características vienen determinadas por la tensión de entrada del inversor, que se debe adaptar a la del generador, la potencia máxima que

puede proporcionar la forma de onda en la salida, la frecuencia de trabajo y la eficiencia, próximas al 85%.

#### **4.1.1. Estudio de la Carga Para Ventiladores y Aparatos Electrónicos.**

Se sabe que, el ventilador centrífugo tiene una potencia de 45W y el ventilador helicoidal de 30W, ambos son de AC y de 120V, y que los distintos aparatos electrónicos tienen una potencia de 5W de 5V.

Los ventiladores y los distintos aparatos electrónicos, estarán conectados a la misma batería y panel solar, para ello se realiza el cálculo de baterías y paneles necesarios para un correcto suministro de energía, en la sección 4.4 se muestra su diagrama eléctrico. En la tabla 7 se aprecia la demanda AC y DC que deberá ser proveído.



**TABLA 7**  
**DEMANDA AC Y DC**

<b>Demanda en AC</b>					
	<b>Potencia (W)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total vatios</b>	<b>Horas uso en el día</b>	<b>Vatios por día</b>
<b>V. Centrifugo</b>	45	1	45	0.25	11.25
<b>V. Helicoidal</b>	30	1	30	0.25	7.5
<b>Carga instalada AC</b>			75		
<b>Promedio consumo energía AC</b>					18.75
<b>Demanda en DC</b>					
	<b>Potencia (W)</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Total vatios</b>	<b>Horas uso en el día</b>	<b>Vatios por día</b>
<b>Circuitos</b>	5	1	5	0.25	1.25
<b>Carga instalada DC</b>			5		
<b>Promedio consumo energía DC</b>					1.25

Luego, se calcula la demanda eléctrica combinada DC+AC en amperios hora por día, tabla 8. Donde se toma en cuenta la eficiencia del inversor DC a AC del 85%.

Se incluye en este caso una reserva para cargas especiales o un incremento futuro de carga del 20%.

**TABLA 8**  
**DEMANDA COMBINADA AC Y DC**

<b>Demanda eléctrica en Ah</b>			
<b>a</b>	Demanda DC	W/día	1.25
<b>b</b>	Voltaje DC	V	5
<b>c</b>	Amperios hora DC (a/b)	Ah	0.25
<b>d</b>	Demanda AC	W/día	18.7
<b>e</b>	Voltaje AC	V	120
<b>f</b>	Amperios hora AC nominales (d/e)	Ah	0.15
<b>g</b>	Eficiencia inversor DC-AC		0.85
<b>h</b>	Amperio hora AC efectivos (f/g)	Ah	0.18
<b>i</b>	Total Amperios hora DC+AC (c+h)	Ah	0.43
<b>j</b>	Reserva futura		0.2
<b>k</b>	Total Ah carga (1/(1-j))	Ah/día	0.52

Para saber el número de baterías a utilizar, se considera que son de 7A, tabla 9. El número de días de autonomía puede variar de acuerdo al sitio en que se encuentra el robot, y con sitios con mucha variación de radiación estos días pueden ser 5.

Para fines de este proyecto se considera 1 día de autonomía, ya que el uso de horas al día es de 0.25, evidenciando un tiempo de funcionamiento corto debido a las condiciones del robot.

**TABLA 9**  
**NUMERO DE BATERIAS A UTILIZAR**

<b>Baterías</b>		
<b>a</b>	Total Ah carga	0.520
<b>b</b>	Días de autonomía	1
<b>c</b>	Total Ah requeridos (a*b)	0.520
<b>d</b>	Profundidad de descarga (0.2 a 0.8) (DoD)	0.5
<b>e</b>	Ah/DoD (c/d)	1.04
<b>f</b>	Ah nominal de la batería seleccionada	7
<b>g</b>	Número de baterías (redondear e/f al siguiente entero)	0.148
<b>h</b>	Total número de baterías.	1

Como se puede ver solo es necesaria una batería. La selección y características de la batería se muestran en la sección 4.2.

Para calcular el número de paneles solares, se considera que se utilizará un panel solar de 20W a 12V, tabla 10. También se toma en cuenta el dato de radiación solar promedio diaria de la zona en que estamos, un valor aceptable para el Ecuador es de  $5\text{kWh}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{día}^{-1}$ .

**TABLA 10**  
**NUMERO DE PANELES SOLARES**

<b>Paneles Fotovoltaicos</b>		
<b>a</b>	Total Ah carga	0.520
<b>b</b>	Eficiencia de las baterías	0.85
<b>c</b>	Amperios efectivos de baterías(a/b)	0.615
<b>d</b>	Promedio irradiación solar kWh.m <sup>-2</sup> .día <sup>-1</sup>	5
<b>e</b>	Horas de sol	5
<b>f</b>	Total amperios del panel (c/e)	0.122
<b>g</b>	Amperios pico del panel. (Panel de 20 W a 12V)	1.21
<b>h</b>	Número de paneles(redondear f/g al siguiente entero)	0.101
<b>i</b>	Voltaje de la batería (V)	12
<b>j</b>	Total número de paneles	1

Para que haya suministro de energía hacia los ventiladores y los aparatos electrónicos, se debe utilizar 1 panel solar de 20W y 12V, sus características técnicas se ven en la tabla 11.

**TABLA 11**  
**CARACTERISTICA DE LOS PANELES SOLARES**

<b>Potencia Wp</b>	<b>5</b>	<b>20</b>	<b>50</b>	<b>100</b>
Altura (mm)	270	524	1310	1310
Anchura (mm)	270	325	340	654
Espesor (mm)	20	34	39.5	39.5
Peso (kg)	0.8	2.35	5.5	11.5
Corriente de cortocircuito (A <sub>sc</sub> )	0.41	1.36	3.27	6.54
Tensión de circuito abierto (V <sub>oc</sub> )	19.2	20.5	21.6	21.6
Corriente de MAX. Potencia(A <sub>max</sub> )	0.32	1.21	2.87	5.74
Tensión de máxima potencia (V <sub>max</sub> )	15.5	16.5	17.4	17.4

Del panel solar seleccionado se sabe que la corriente en corto circuito es 0.41A.


Luego se calcula la capacidad en amperios del controlador de carga, tabla 12.

**TABLA 12**  
**CONTROLADOR DE CARGA**

<b>Controlador de carga</b>		
a	Corriente en corto circuito del panel en Amperios I <sub>sc</sub>	1.36
b	Total Número de paneles	1
c	Amperios total (a*b)	1.36
d	Capacidad nominal del controlador (A)	8

Luego se selecciona un controlador de carga comercial tipo serie, modelo Base-Pv, cuyas características se muestran en la tabla 13.

**TABLA 13**  
**CARACTERÍSTICAS DEL CONTROLADOR DE CARGA**

	<p>La caja dispone de una base metálica de aluminio con una cubierta de ABS inyectado. Dimensiones: Ancho 130mm, Alto 108mm, Fondo 32mm Peso aproximado: 170gramos</p>
Tensión nominal	12 V
Intensidad máxima de la línea de carga	8 A
Intensidad máxima de la línea de consumo	8 A
Consumo típico circuito de control	6 mA

Para determinar la potencia del inversor se toma el valor de la carga instalada en AC afectada por un factor de demanda de 0.7, que indica la parte de la potencia total que está encendida al mismo tiempo, tabla 14. Hemos tomado una eficiencia del inversor de 85%.

**TABLA 14**  
**INVERSOR DE CARGA**

<b>Inversor</b>		
a	Carga instalada AC (W)	75
b	Factor de demanda	0.7
c	Demanda (a*b) (W)	52.5
d	Eficiencia del inversor	0.85
e	Demanda de diseño (c/d) (W)	61.76
f	Capacidad nominal del inversor (W)	175

Se selecciona un inversor fabricado por Samlex América, cuyas características se muestra en la tabla 15.

**TABLA 15**  
**CARACTERISTICAS DEL INVERSOR DE CARGA**

<b>Características Eléctricas</b>	
	Dimensiones: Ancho 170mm, Alto 200mm, Fondo 72mm Peso aproximado: 1000gramos
Tensión de entrada	12 V
Tensión de salida	120 V
Capacidad nominal del inversor	175 W
Consumo típico circuito de control	6 mA

#### **4.1.2. Estudio de la Carga Para los Motores DC.**

Se sabe que el robot posee dos motores DC, uno de 250W y otro de 300W, ambos de 24V. Ahora bien, el cálculo de los paneles solares y baterías para el suministro de energía hacia los motores se lo realiza de la misma forma, pero tomando en cuenta que ya no existe la demanda de corriente alterna. Su diagrama eléctrico se muestra en la sección 4.4.

También, se hace uso de tabla 11 para seleccionar el panel solar, y además todos los datos técnicos del cálculo anterior son iguales. Luego en la tabla 16 se muestra la demanda de corriente de los motores DC.

**TABLA 16**  
**DEMANDA DE CORRIENTE DE LOS MOTORES DC**

Demanda en DC					
	Potencia (W)	Cantidad	Total vatios	Horas uso en el día	Vatios por día
<b>Motor 1</b>	300	1	300	0.25	75
<b>Motor 2</b>	250	1	250	0.25	62.5
<b>Carga instalada DC</b>			550		
<b>Promedio consumo energía DC</b>					137.5

Con el valor del promedio de consumo de energía DC, se calcula el total de carga en Ah, tabla 17.

**TABLA 17**  
**TOTAL DE CARGA**

Demanda eléctrica en Ah			
<b>a</b>	Demanda DC	W/día	137.5
<b>b</b>	Voltaje DC	V	24
<b>c</b>	Amperios hora DC (a/b)	Ah	5.792
<b>d</b>	Eficiencia inversor DC-AC		0.85
<b>e</b>	Total Amperios hora DC	Ah	5.72
<b>f</b>	Reserva futura		0.2
<b>g</b>	Total Ah carga (1/(1-j))	Ah/día	6.87

Teniendo el total de carga en Ah, se calcula el total de baterías a utilizar, tabla 18. La selección de baterías se muestra en la sección 4.2.



**TABLA 18**  
**NUMERO DE BATERIAS**

<b>Baterías</b>		
<b>a</b>	Total Ah carga	6.87
<b>b</b>	Días de autonomía	1
<b>c</b>	Total Ah requeridos (a*b)	6.87
<b>d</b>	Profundidad de descarga (0.2 a 0.8) (DoD)	0.5
<b>e</b>	Ah/DoD (c/d)	13.75
<b>f</b>	Ah nominal de la batería seleccionada	7
<b>g</b>	Número de baterías (redondear e/f al siguiente entero)	1.964
<b>h</b>	Total número de baterías.	2

El cálculo del número de paneles solares a utilizar se aprecia en la tabla 19. La selección de los paneles se la hace utilizando la tabla 11, donde se escoge 2 paneles de 20W a 12V.

**TABLA 19**  
**NUMERO DE PANELES SOLARES**

<b>Paneles Fotovoltaicos</b>		
<b>a</b>	Total Ah carga	6.87
<b>b</b>	Eficiencia de las baterías	0.85
<b>c</b>	Amperios efectivos de baterías(a/b)	8.08
<b>d</b>	Promedio irradiación solar kWh.m <sup>-2</sup> .día <sup>-1</sup>	5
<b>e</b>	Horas de sol a 1000Wm <sup>-2</sup> .día <sup>-1</sup> (d*1000Wh.m <sup>-2</sup> .día <sup>-1</sup> /1000 Wm <sup>-2</sup> .día <sup>-1</sup> )	5
<b>f</b>	Total amperios del panel (c/e)	1.617
<b>g</b>	Amperios pico del panel. (Panel de 20 W a 12V)	1.21
<b>h</b>	Número de paneles(redondear f/g al siguiente entero)	1.336
<b>i</b>	Voltaje de la batería (V)	12
<b>j</b>	Total número de paneles	2

El cálculo del controlador de carga se muestra en la tabla 20, donde se selecciona un controlador igual al de la tabla 13.

**TABLA 20**  
**CONTROLADOR DE CARGA**

<b>Controlador de carga</b>		
a	Corriente en corto circuito del panel en Amperios I <sub>sc</sub>	1.36
b	Total Número de paneles	2
c	Amperios total (a*b)	2.72
d	Capacidad nominal del controlador (A)	8

#### **4.1.3. Cableado.**

Para aprovechar la máxima energía generada por el panel fotovoltaico, la resistencia de los conductores debe ser la mínima posible y esto se consigue utilizando un conductor de calibre apropiado que permita una caída de tensión o voltaje no mayor del 2% desde el panel hasta los reguladores de carga, baterías e inversores. La capacidad de conducción en amperios de los conductores de cobre y aluminio, para los diferentes calibres se muestra en la tabla 21.

**TABLA 21**  
**CAPACIDAD DE CONDUCCION DEL COBRE Y ALUMINIO**

<b>Capacidad máxima de conductores en Amperios</b>		
<b>Calibre</b>	<b>Cobre</b>	<b>Aluminio</b>
14	25	
12	30	25
10	40	35
8	55	45
6	75	60
4	95	75
2	130	100
1	150	115

La tabla 22 de capacidad de conducción de amperios, nos indica la longitud máxima que pueden tener los cables entre dos puntos del circuito para caídas de tensión del 2%.

**TABLA 22**  
**DISTANCIAS MAXIMAS DE CONDUCTORES DE COBRE**

<b>Calibre de conductores de cobre sistema 12V(AWG)</b> <b>Distancia máxima en metros en un sentido para una caída de tensión de 2% entre el panel fotovoltaico, reguladores de carga, inversores y baterías.</b>							
<b>(AMP)</b>	14	12	10	8	6	4	2
<b>1</b>	13.7	21.3	35.1	54.9	88.4	139.0	219.5
<b>2</b>	6.9	10.7	17.5	27.4	44.2	69.5	109.7
<b>4</b>	3.0	5.3	8.4	13.7	22.1	34.7	54.9
<b>6</b>	2.3	3.7	5.3	9.1	14.5	22.9	36.6
<b>8</b>	1.7	2.6	3.5	6.9	10.8	17.4	27.4
<b>10</b>	1.4	2.1	3.5	5.5	8.7	13.9	22.1
<b>15</b>	0.9	1.4	2.1	3.7	5.8	9.1	14.6
<b>20</b>	0.6	1.1	1.7	2.7	4.4	6.9	11.0
<b>25</b>	0.5	0.9	1.4	2.1	3.5	5.5	8.8

Para el suministro de energía hacia los ventiladores, circuitos electrónicos y motores DC, la capacidad nominal del controlador de carga es la misma, es decir 8A y vemos en la columna de Amp hasta encontrar el 8, luego vamos por la fila hasta encontrar la distancia entre el panel FV y el banco de baterías. Supongamos que es 1m, entonces usamos el conductor de cobre número 14 (que nos da hasta 1.7m), que según la tabla 21 tiene una capacidad de 25A. Este conductor es tanto para la fase como para la tierra, es decir dos conductores No. 14AWG total de 2m.

#### **4.1.4. Análisis del Tiempo de Funcionamiento del Robot.**

Cabe mencionar que las baterías seleccionadas en la sección 4.2 se recargan entre 4-6 horas, para que tengan un uso continuo de 50 min.

Ahora bien, si la idea es de que, el robot funcione 50min, tendríamos que utilizar para los motores 2 paneles de 50W de 1310mm x 340mm, donde también se incrementa las baterías a 7. Como se puede ver, se tendría que hacer uso de paneles solares de mayor tamaño con un total de 8 baterías, lo cual por motivos de tamaño del robot, los paneles solares ocuparían toda su geometría, haciendo incomodo y grotesco su desplazamiento, a su vez, utilizar 8 baterías implica más peso.

Como ya es conocido, el robot funcionará con energía solar, pero también puede funcionar con la energía convencional, ya que las baterías lo permiten debido a que son de uso comercial, y estas vienen con cargador que se conecta fácilmente a cualquier toma corriente. Lo único que varía en el diseño, el uso de energía convencional, es que, se tendría que hacer una variación en el tiempo de autonomía en el programa que controla al robot.

La idea de la presente tesis, es diseñar un prototipo de robot, por eso queda claro, de que se hace uso de la energía solar a manera experimental. Donde las dimensiones físicas del robot restringen o condicionan los cálculos para seleccionar los paneles y baterías. Podría ser que, una alternativa para aumentar las horas de trabajo del robot, es diseñar paneles y baterías de gran potencia, pequeños y livianos, para que no altere su geometría, pero esto no está al alcance de esta tesis.

Es importante mencionar que el tiempo para que las baterías se recarguen por medio de los paneles solares es de, 1.8 horas. Aclarando lo anterior, se puede decir que la autonomía de 15min del robot es correcta, porque de alguna manera se evidencia el uso de la energía solar.

## 4.2. Selección de la Batería.

Las baterías debe almacenar eficientemente la mayor cantidad de energía posible para que el robot pueda realizar sus tareas durante períodos de tiempo medianamente prolongados. Además, las baterías debe ser capaz de ofrecer la tensión de alimentación a un voltaje constante al tiempo que garantiza o minimiza el efecto que un componente produce sobre los demás cuando produce ruido o picos de tensión y/o corriente.

La batería ideal es aquella que disponga de mucha densidad de energía, que mantenga constante el voltaje a medida que se descarga, que disponga de una resistencia interna muy pequeña y que sea capaz de descargar muy rápidamente cuando sea necesario. Por supuesto, debería ser recargable, barata y que no se descargue cuando no estuviese en uso. Como esto no es posible, hay que tener en cuenta el rendimiento que queremos de la batería, las necesidades energéticas del proyecto y el precio. Finalmente, se elige aquella que responda mejor a las necesidades del robot.

En las secciones 4.1.1 y 4.1.2, se analizó las necesidades energéticas de los aparatos eléctricos y electrónicos, entonces para este proyecto se escoge unas baterías bastantes buenas, las RAZOR, de 12.0V y 7.0A.

Adquirimos tres unidades de forma que dos de ellas se destinan a la alimentación de los motores y la tercera a la alimentación de la electrónica de control y los ventiladores. Estas baterías miden 6.1X9.5X15cm, son livianas y para su óptimo funcionamiento no deben bajar de 10.6 V.

### **4.3. Selección de los Motores Eléctricos.**

Un motor de corriente continua es un dispositivo capaz de convertir energía eléctrica en energía mecánica. Se pueden encontrar motores de diversos tamaños y configuraciones. Como cualquier otro dispositivo, los motores DC no son eficientes al 100%, parte de la energía eléctrica con la que se alimentan se pierde debido a ciertas limitaciones del dispositivo como, por ejemplo, el rozamiento mecánico. Los motores de bajo coste que se pueden encontrar en los juguetes tiene una eficiencia en torno al 50%, pero los motores de gama alta alcanzan rendimientos del 90%.

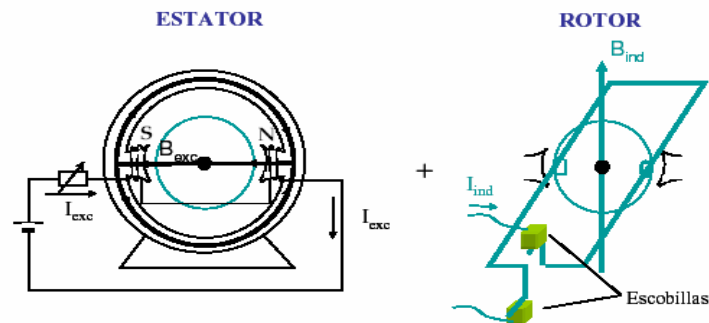
Como todo motor, el motor de corriente continua tiene un estator y un rotor. Habitualmente, el estator genera un campo, denominado de excitación, que bien se produce mediante la circulación de corriente continua por un electroimán, o bien se produce directamente por un imán en el caso de baja potencia. Dicho campo es constante y fijo en el espacio.

Por otro lado, el rotor suele estar bobinado y el acceso a él (la inyección de corriente) se realiza mediante unas escobillas que tocan en los terminales de la bobina, denominados delgas. La alimentación del bobinado del rotor se realiza así mismo en corriente continua.

Cuando el rotor se alimenta, se produce un campo magnético que interacciona con el estator por el efecto que denominaremos aquí como efecto brújula. Este efecto consiste en que dos campos magnéticos no alineados tienen a alinearse ejerciendo un par de rotación proporcional a la amplitud de dichos campos y función del ángulo que los separa. Lo idóneo es que dicho ángulo sea  $90^\circ$ .

Si no se hace nada, el rotor giraría hasta que ambos campos se alineasen. Para evitarlo, lo que se hace es volver a situar el B del rotor a  $90^\circ$  según el rotor gira. Para ello, se disponen varias bobinas alrededor del rotor y se deja sin alimentar la bobina en la dirección del eje magnético del campo. Según el rotor gira las escobillas dejan de alimentar la bobina a  $90^\circ$  del campo del estator, figura 4.1.





**FIGURA 4.1. CONSTRUCCIÓN BÁSICA DE UN MOTOR DE CORRIENTE CONTINUA.**

#### 4.3.1. Selección del Motor DC.

De la sección 3.2.2, se sabe que potencia motriz del robot es 0.4hp, y que de la sección 3.2.3 la potencia directriz es 0.33hp. Una vez obtenido estos valores se consulta las hojas de características de los diferentes motores y se eligen unos capaces de desarrollar estas potencias. La potencias en W son: 298.4W y 246.18W, para 0.4hp y 0.33hp respectivamente, pero como en el mercado no existen dichas potencias se escogen la inmediata superior, estas son: 300W y 250W.

Para este proyecto se selecciona un par de motores DC marca Razor, modelo MY 1016. En la tabla 23, se muestra las características para estos motores.

**TABLA 23**  
**CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE LOS MOTORES DC**

		Type (Model 1016)	
		250W 24V	300W 24V
<b>No Load</b>	<b>Current (A)</b>	0.6-1.4	1.0-2.0
	<b>Speed (rpm)</b>	3250±5%	3400±5%
<b>With Load</b>	<b>Torque (N.m)</b>	0.84-0.92	0.99-1.08
	<b>Speed (rpm)</b>	2600-2850	2650-2900
	<b>Power (W)</b>	250	300
	<b>Current (A)</b>	≤13.5	≤16.0
	<b>η (%)</b>	≥78	≥78

#### 4.4. Diagrama del Sistema Eléctrico.

En esta sección se muestra el diagrama general del suministro de energía hacia el robot, basado en los cálculos de selección de los elementos eléctricos mostrado a lo largo de este capítulo.

En la figura 4.2, se puede apreciar el esquema de alimentación de energía solar desde el panel hasta los ventiladores y la circuitería de control, y en la figura 4.3, donde se utiliza otros paneles (son 2), se ve como los motores DC son proveídos de energía.

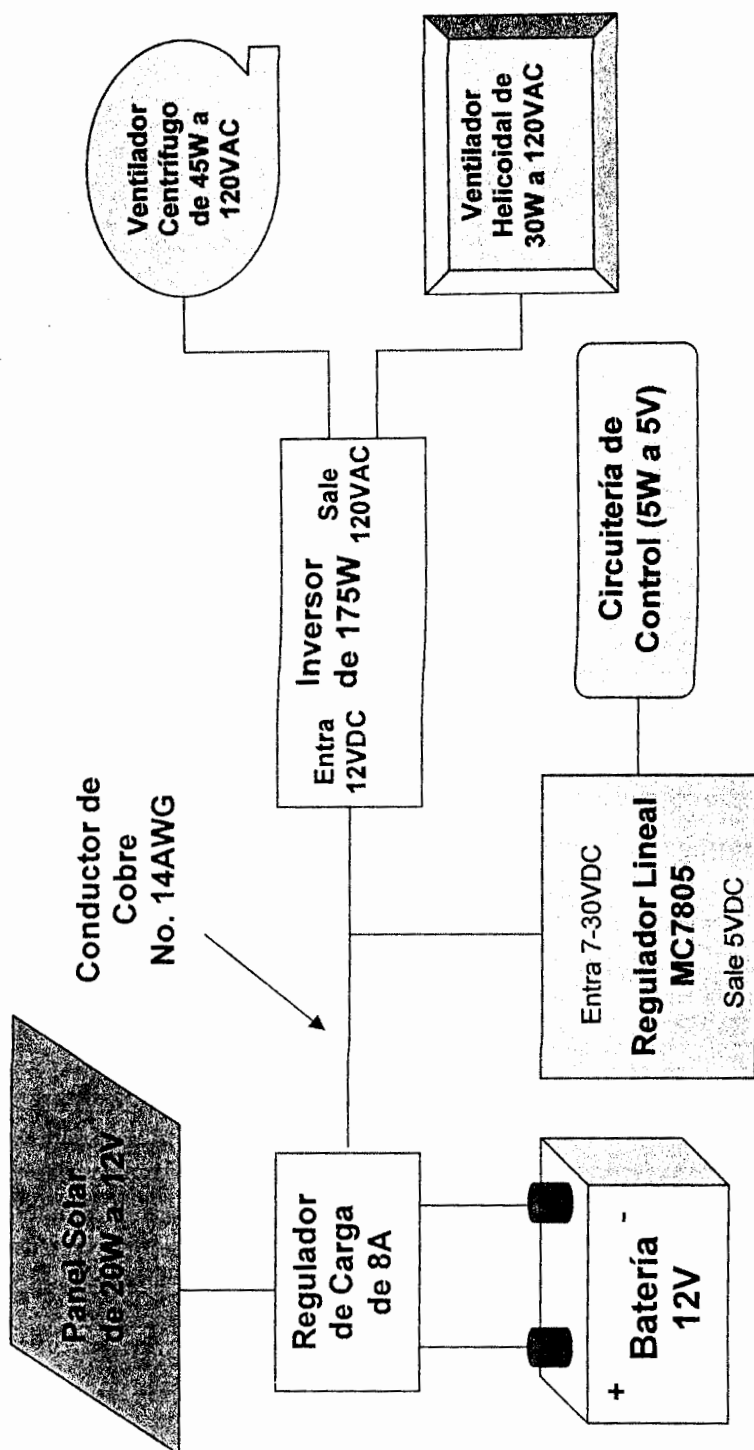


FIGURA 4.2. DIAGRAMA DE SUMINISTRO ELECTRICO HACIA LOS VENTILADORES Y LA CIRCUITERÍA DE CONTROL.

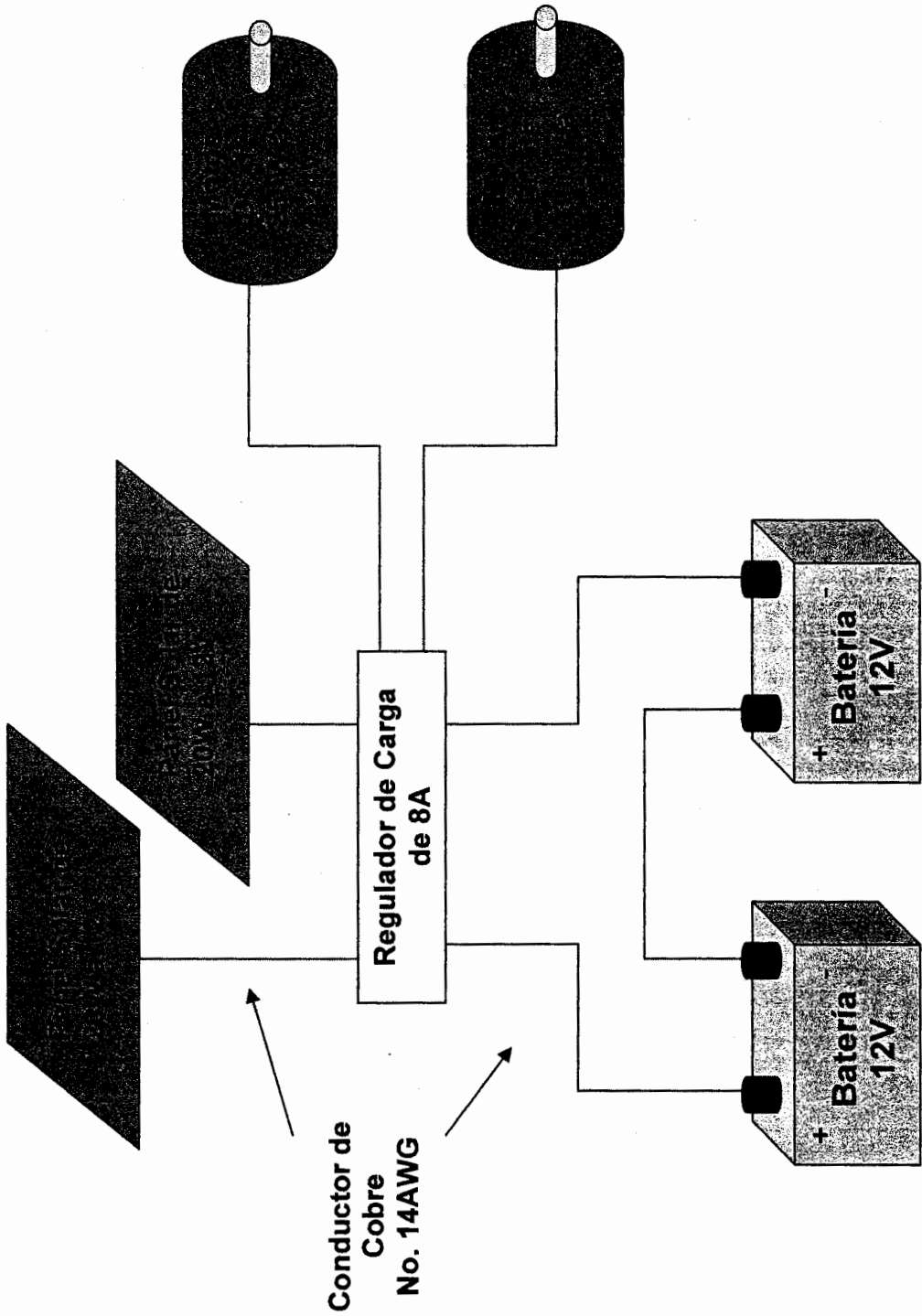


FIGURA 4.3. DIAGRAMA DE SUMINISTRO ELECTRICO HACIA LOS MOTORES DC.

# CAPÍTULO 5

## 5. SISTEMA DE CONTROL.

En este capítulo se seleccionará los dispositivos electrónicos necesarios para que el robot tenga un cierto grado de autonomía. Además se hará el diseño del sistema de navegación del robot, que será programado previo a un análisis de un lenguaje de programación que satisfaga los requerimientos técnicos del microcontrolador.

Un robot móvil autónomo se constituye de seis partes, estas son: decisión, percepción de alto nivel, comunicaciones, percepción de bajo nivel, control de bajo nivel y locomoción.

**1) Decisión.** La información del entorno percibida a través de los sensores del robot son entrada de esta función, que realizará un proceso de toma de decisiones para, finalmente, producir una salida que se traducirá en la acción que hay que realizar, como son: pararse, moverse, activar el sónar, usar el brazo articulado, etc.

**2) Percepción de alto nivel.** Son las funciones que se encargan de interpretar y construir un modelo global del entorno en el que se mueve el robot, en función de los datos adquiridos desde los diversos sensores, que se entiende como el reconocimiento de patrones, la elaboración de mapas, la visión artificial, etc.

**3) Comunicaciones.** Para que la información fluya entre las dos funciones anteriores y las tres siguientes se necesita un canal de comunicaciones con una serie de métodos que permitan el paso de mensajes. En la función de comunicaciones se implementan los métodos necesarios, bien por hardware bien por software, para que esa comunicación sea posible.

**4) Control de bajo nivel.** Cuando un robot necesita moverse, la función de decisión generará una salida que se corresponde con el comando de movimiento que hay que realizar. La función de control de bajo nivel se asegura que el comando se lleva a cabo de forma controlada. Por ejemplo, que el robot deba moverse en línea recta hacia delante es una decisión tomada por la función de decisión, pero que el desplazamiento se realice realmente en línea recta es tarea del control de bajo nivel.

**5) Percepción de bajo nivel.** Análogamente a la percepción de alto nivel, las funciones de percepción de bajo nivel realizan la interpretación de datos leídos de distintos sensores, pero a diferencia de las primeras, éstas no

construyen un modelo global del entorno, sino local al propio robot y a su entorno más cercano. La información obtenida de las funciones de bajo nivel tiene dos destinos: facilitarle al control de bajo nivel información del estado actual del propio robot y proporcionarle a las funciones de percepción de alto nivel la información necesaria para completar el modelo global. Otra diferencia con las funciones de alto nivel radica en el hecho de que la cantidad de procesamiento requerido es menor o simplemente se pospone para ser realizado en las funciones de percepción de alto nivel.

**6) Locomoción.** Se refiere a la parte del robot que debe realizar el apoyo sobre el medio en que se espera que se desplace y a la que le permite su desplazamiento, lo que generalmente entendemos como activación/desactivación de motores, mecanismos de transmisión y de control de sentido y dirección.

### **5.1. Selección de Dispositivos Electrónicos.**

Para poder realizar una correcta selección de los dispositivos electrónicos, primero se realiza un análisis de los requerimientos técnicos de las baterías y motores DC, para poder seleccionar elementos que permitan medir sus distintos eventos físicos y eléctricos, y de esta manera sea aprovechada por el sistema de navegación.

Cabe mencionar que, según el diseño del sistema de navegación, se seleccionará un determinado tipo de sensor, garantizando así la autonomía del robot.

#### **5.1.1. Regulación, Aislamiento y Medición de Carga de Baterías.**

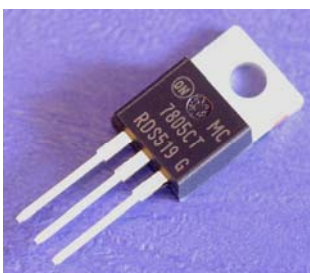
A medida que una batería se descarga, su voltaje disminuye, el sistema de regulación se encarga de producir una salida de tensión constante a partir del voltaje variable de la batería, mientras éste se encuentre en un determinado rango.

Además, esta salida debe permanecer constante cuando la carga del sistema varía. Por ejemplo, al arrancar los motores o al cambiarlos de dirección, aparece de forma transitoria una demanda muy grande de corriente sobre la fuente de alimentación. El sistema de regulación mantiene constante el voltaje para que los circuitos de control funcionen correctamente bajo esas condiciones. Para conseguir esta regulación se considera el siguiente elemento: el regulador lineal, que debido a su bajo coste y sencillez, son los reguladores más empleados. Generalmente son dispositivos de tres patillas, voltaje de entrada, tierra y voltaje de salida. El funcionamiento es muy sencillo, si el voltaje de entrada es mayor que el se necesita a la salida en una determinada cantidad, denominada **dropout** (diferencia de tensión),



entonces la tensión de salida de este dispositivo será constante aunque cambie la tensión de entrada.

Para alimentar la electrónica de control del robot necesitamos una tensión regulada de 5.0 V. Las baterías seleccionadas son recargables y para su óptimo funcionamiento no deben bajar de los 10.6 V. Por lo que se selecciona un regulador lineal estándar MC7805CT, figura 5.1, siendo este suficiente para la electrónica del robot.



**FIGURA 5.1. REGULADOR LINEAL ESTÁNDAR MC7805CT**

Para los motores se usa dos baterías, lo que garantiza una tensión de 24.0 V de funcionamiento, entonces no necesita ser regulada.

Los distintos elementos que constituyen el robot, produce perturbaciones en la señal proporcionada por la fuente de alimentación. Por ejemplo, los motores DC generan picos de tensión que encuentran salida hacia la fuente de alimentación. De forma parecida, los cambios de estado de los elementos que constituyen los chips, exigen en instantes de tiempo muy pequeños,

grandes cantidades de corriente a la fuente de alimentación. Incluso cuando el robot se encuentra en un entorno en el que se produce cambios en campos magnéticos (por ejemplo producidos por los grandes motores de una industria), la fuente de alimentación sufre las consecuencias de las corrientes inducidas en el circuito; todos estos efectos hacen que la señal producida por la fuente de alimentación se vuelva ruidosa.

Hay que tratar que la fuente de alimentación sea lo menos ruidosa posible. Para ello, un cableado y un buen aislamiento entre los distintos elementos son fundamentales. A continuación se muestra como se debe llevar a cabo esta tarea.

En primer lugar, con situar pequeños condensadores entre las patillas de alimentación y tierra de cada chip conseguimos filtrar los transitorios debidos al cambio de estado de los chips. Para la mayoría de los casos, basta con situar condensadores de unos  $0.1 \mu\text{F}$ , figura 5.2.



**FIGURA 5.2. CONDENSADOR DE  $0.1 \mu\text{F}$**

Otra práctica recomendable es evitar los lazos en la señal de tierra, ya que de haberlos, si aparece una corriente variable va a inducir en el lazo una tensión que puede hacer que componentes conectados a tierra en lugares distintos del lazo vean una tensión de referencia distinta. En este caso, perderíamos la señal de referencia común y eso no es deseable.

El problema de aislamiento más difícil de solucionar es el que se refiere a los picos y fluctuaciones de tensión provocados por los motores.

El aislamiento total se consigue separando la alimentación y la circuitería de control de la alimentación y circuitería de control de motores. Pero esto no es posible por lo general, ya que la circuitería de control actúa sobre la circuitería que controla los motores para poder indicarle la dirección, el sentido y la velocidad.

La solución es, utilizar un optoacoplador (figura 5.3) que proporciona una independencia total entre las fuentes de alimentación de los motores y la electrónica de control se realiza a través de fotones.

Las señales de control generadas desde la electrónica de control se envían a un led emisor. La señal luminosa es detectada por un fototransistor y puede ser usada por el control del motor. Entre las dos fuentes de alimentación no hay conexión ninguna.



**FIGURA 5.3. UN OPTOACOPLADOR PERMITE UN AISLAMIENTO ELÉCTRICO TOTAL ENTRE DIFERENTES PARTES DE UN CIRCUITO.**

El robot debe ser capaz de medir cuánta batería tiene disponible para poder calcular el tiempo de autonomía del que dispone, dependiendo de esto, el robot debe buscar una toma de corriente o iniciar un modo de funcionamiento de bajo consumo. Esto se logra conectando la salida regulada de la fuente de alimentación a la línea de referencia del conversor A/D (convierte señales análogas en digitales) del microcontrolador.

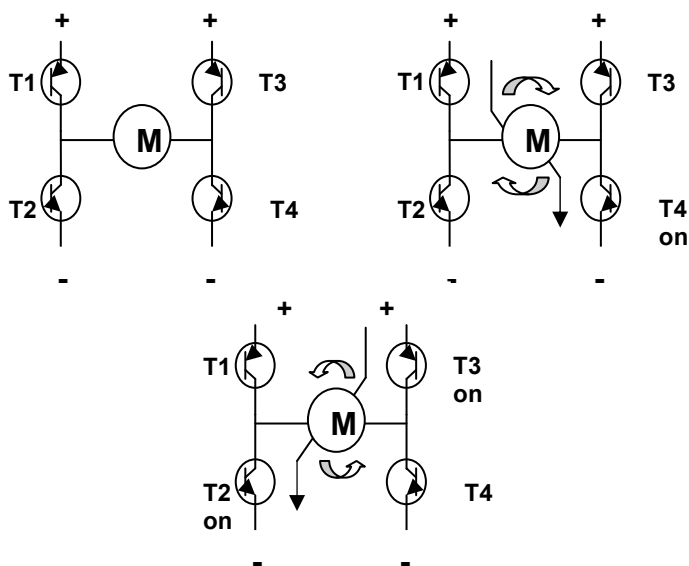
### **5.1.2. Electrónica de Control Para los Motores DC.**

Los motores empleados en esta tesis consumen cerca de 1.0A en condiciones de poca carga y pueden llegar a consumir hasta 16A en situaciones de mucho esfuerzo.

Teniendo en cuenta que las salidas del microcontrolador empleado soportan corrientes máximas de unos 25 mA, es evidente la necesidad de disponer de una circuitería a parte para alimentar a los motores. Aquí se explica el funcionamiento de esta circuitería, conocida como,

“control o controladora de motores”, y la forma en que se puede gobernar desde un microcontrolador, para que el control de bajo nivel pueda variar el sentido y velocidad de giro de cada motor.

El circuito típico usado para el control de los motores recibe el nombre de Puente-H, recibe este nombre por su parecido con la letra “H”, cuatro transistores se disponen para formar las patas de la “h” y en la horizontal se sitúa el motor. En la figura 5.4, se muestra una representación esquemática del circuito. Para que el motor gire, se activan dos de los transistores opuestos diagonalmente. En función del par de transistores activados, la corriente fluye en uno u otro sentido, lo que permite controlar el sentido de giro del motor.



**FIGURA 5.4. ESQUEMA BÁSICO DE UN PUENTE-H**

El sentido de giro del motor se controla activando y desactivando pares de transistores diagonalmente opuestos, de esta forma, la corriente fluye a través del motor por dos caminos distintos: desde T1 a T4 o desde T3 a T2. Según el camino seleccionado, la corriente fluye a través del motor en un sentido u otro, lo que se traduce en un giro horario o antihorario del motor.

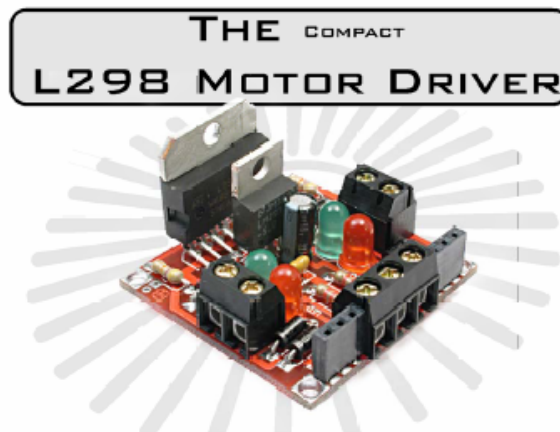
Es muy importante que nunca se activen simultáneamente los transistores de la misma pata de la "H". Si eso ocurre la corriente fluirá desde el terminal positivo de la fuente de alimentación de los motores al terminal negativo. Al no haber más resistencia que la que ofrecen los propios transistores, la cantidad de corriente que fluirá por el circuito será máxima y estará limitada por la propia fuente de alimentación o por la autodestrucción de los transistores.

Cuando desactivamos el circuito, no fluye corriente a través del motor. Al no haber flujo de corriente el motor deja de funcionar y el robot se detiene lentamente a medida que pierde velocidad.

Hay una amplia gama de unos circuitos integrados conocidos como motor drivers que integran la electrónica del puente-H, estos son, los chips L298, fabricados por SGS-Thomson. El principal problema de este chip es que disipan mucha calor. Manejan corrientes muy grandes y se calientan mucho, por eso es aconsejable usar pequeños ventiladores y disipadores para

mantenerlos lo más fríos posibles. Cuanto mejor disipemos el calor generado en los chips más corriente podremos utilizar sin dañarlos.

Estos chips, vienen incorporados en una tarjeta electrónica que controla el funcionamiento de los mismos, esta tarjeta es el L298 Motor Driver, figura 5.5.



**FIGURA 5.5. MOTOR DRIVER L298**

Cabe mencionar que en el mercado existe una gran variedad de circuitos controladores de motores DC, el de la figura 5.5 es uno de ellos, que controla dos motores DC, tiene un voltaje de operación entre 6 y 26, y un total de corriente continua de 6A.

### 5.1.2.1. Control de la Velocidad Mediante PWM.

Debido al puente-H, podemos controlar la velocidad de un motor de una forma muy sencilla, activando y desactivando muy rápidamente el puente-H, tarea que se puede realizar muy fácilmente usando un microcontrolador. De este modo, el motor recibe una tensión recortada en sus terminales, cuyas características son una amplitud y frecuencia fijas, y una duración del ciclo de trabajo variable. El ciclo de trabajo se define como la relación entre el tiempo durante el que se aplica la máxima tensión en los terminales, y el período de la señal. Esta técnica se conoce como modulación en anchura de pulsos o PWM.

El empleo de la técnica PWM frente a otras posibles soluciones, como por ejemplo disminuir la tensión aplicada en los terminales del motor, está justificada por los siguientes motivos:

**Sencillez:** es más fácil construir circuitos que enciendan y apaguen transistores, que los que proporcionan al motor tensiones variables con una determinada corriente.

**Linealidad:** cuando la señal PWM se ajusta a un determinado ciclo de trabajo, por ejemplo al 30%, el motor trabaja muy cerca del 30% de su potencia máxima. En cambio, cuando a un motor se le aplica el



30 % de su tensión operativa, el resultado es que el motor trabaja a mucho menos del 30 % de su potencia máxima, ya que la potencia del motor se incrementa aproximadamente con el cuadrado del voltaje.

#### **5.1.2.2. Control de Giro.**

Esto se lo realiza utilizando encoders, que son sensores capaces de detectar el giro, la posición o la velocidad de rotación de un eje.

Los encoders se montan en el eje de un motor o en una polea o engranaje de un eje motriz. Para este proyecto se usará 2 encoders incrementales de cuadratura de 100 sectores y 0.5mm de precisión, con esta precisión, por cada "tic" o pulso del encoder, la rueda del robot avanza 0.5mm.

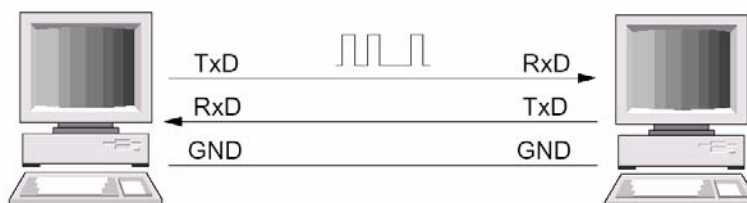
Los encoders se colocarán en las ruedas directrices, uno en cada rueda, así de esta manera se podrá calcular la velocidad de rotación de cada rueda, que serán diferentes cuando giren a la derecha o izquierda.

### 5.1.3. Canal de Comunicaciones.

Para que sea posible indicarle al robot qué operación debe realizar, es necesario que exista un canal de comunicaciones entre él y el control de alto nivel, que es el encargado de la toma de decisiones (figura 5.15). El robot es independiente del control de alto nivel, o sea no posee las funciones de decisión y percepción de alto nivel. Esto es posible gracias al módulo de comunicaciones, sin este, el robot no sería más que un mero conjunto de circuitos electrónicos y piezas varias, esperando alguna instrucción que nunca llegará.

Dicha comunicación se la realiza gracias a la línea serie RS-232, que es un protocolo estándar de comunicaciones nacido de la necesidad de conectar periféricos, principalmente módems, a los ordenadores. El estándar RS-232 permite la comunicación serie entre dos dispositivos a través de una conexión de tres cables, como la mostrada en la figura 5.6, y está compuesta por los siguientes elementos:

- *TxD*: el dispositivo emisor envía el dato a través de esta línea.
- *RxD*: por esta línea, el receptor recibe el dato enviado por el emisor(a través de su línea TxD).
- *GND*: ésta es la señal de tierra, usada como referencia de tensión por las otras dos.

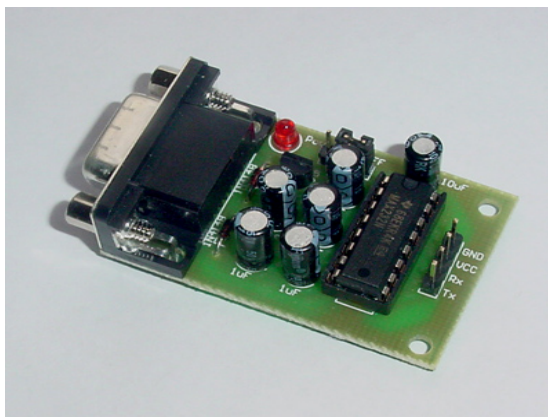


**FIGURA 5.6. DOS ORDENADORES INTERCAMBIAN DATOS USANDO EL ESTÁNDAR DE COMUNICACIONES RS-232.**

Para el protocolo de comunicaciones RS-232, un cero lógico se indica con una señal de +15 V respecto a la señal GND, el uno lógico, por el contrario, se indica con una señal de -15 V respecto a GND. La comunicación es serie porque los datos se envían bit a bit, uno tras otro.

#### **5.1.3.1. El Circuito Integrado MAX232.**

Los voltajes TTL (Lógica Transistor a Transistor) usados en la electrónica de control, deben ser adecuados a los impuestos por el estándar de comunicaciones RS-232. Existen una serie de circuitos integrados que se encargan de esta transformación. El más conocido de todos es el fabricado por MAXIM y comercialización bajo la denominación MAX232, figura 5.7.



**FIGURA 5.7. CIRCUITO INTEGRADO MAX232.**

#### **5.1.4. El Microcontrolador.**

Es necesario disponer de la electrónica necesaria para comunicarse con el control de alto nivel, para medir la carga de las baterías, para determinar qué rueda debe moverse, cuándo y a qué velocidad, ect. Gran parte de este trabajo lo puede realizar un solo componente, el microcontrolador.

Un microcontrolador es un pequeño ordenador, ya que dispone de CPU propia, de memoria propia, de sus propios periféricos y es programable. Conectando los elementos (controladora de motores, encoders, MAX232, etc.) al hardware apropiado del microcontrolador, podemos realizar fácilmente todas las funciones anteriores. Esta capacidad del microcontrolador simplifica enormemente el desarrollo de un robot móvil, ya que si se construye un buen robot, con buenos

sensores, todo el problema de sensorización y control se convierte en un problema de programación y no de electrónica.

Se sabe que un microcontrolador es un circuito integrado que contiene un pequeño ordenador, CPU, memoria y buses de instrucciones y datos. Además, dispone de una serie de recursos internos, muchos de ellos mapeados directamente en memoria, que son los que lo hacen útil para la realización y control de determinadas tareas. La mayoría de los microcontroladores existentes en el mercado poseen los siguientes recursos:

**Puertos de E/S.** Un microcontrolador dispone de una serie de patillas organizadas en puertos de varios bits. Cada patilla de un puerto representa un bit. Por ejemplo, un puerto de ocho bits dispone de ocho patillas. Cada patilla puede ser configurada como entrada o como salida. Si está configurada como entrada, entonces en función del valor de tensión que se le esté aplicando, el microcontrolador almacena un "0" o un "1" en la zona de memoria correspondiente a la patilla del puerto en cuestión. Análogamente, si se configura como salida, el microcontrolador establecerá en la patilla correspondiente del puerto un valor de tensión alto o bajo en función de si en la zona de memoria correspondiente hay almacenado un "0" o un "1".

Este sistema permite controlar diversos dispositivos desde memorias a un simple led. La corriente proporcionada por el microcontrolador no es muy

grande, de modo que muchas veces hay que amplificarla si se quiere actuar directamente sobre dispositivos de mucho consumo.

**Conversores A/D.** Los conversores analógico-digital permiten al microcontrolador muestrear o generar señales, teniendo como utilidad, lectura del valor de tensión a la salida de un potenciómetro, medir la carga de las baterías, etc.

**Contadores y temporizadores.** Gracias a ellos, el microcontrolador puede contar los eventos (cambios de estado en una patilla) producidos en la patilla asociada al contador o bien medir el tiempo transcurrido entre dos o más eventos. Generalmente, los contadores tienen una capacidad de entre 8 y 16 bits, de forma que el número de eventos o el lapso de tiempo que pueden considerar es limitado. Cuando la capacidad del contador se excede, se produce una interrupción que le indica al microcontrolador lo que ha ocurrido. El programador decide si ignorar o no dicha interrupción.

**Interrupciones externas.** En algunos microcontroladores es posible detener la ejecución del programa actual para ejecutar una cierta tarea en el momento de recibirse un determinado evento externo. Una vez ejecutada esa rutina, el microcontrolador sigue con la ejecución de la tarea interrumpida.

Otros recursos muy importantes para este proyecto, pero menos presentes en los microcontroladores son los siguientes:

**Módulos de comunicaciones.** Para poder comunicarse con otros dispositivos, además de los puertos de E/S los microcontroladores disponen de una serie de módulos de comunicaciones que le permiten conectarse a distintos buses o canales de comunicaciones estándar: RS-232, USB, I2C, etc.

**Módulos PWM.** Permiten la generación de señales cuadradas de frecuencia y ciclo de trabajo variable. Este tipo de señales es ampliamente usado para el control de la velocidad de los motores DC (ver sección 5.1.2.1).

**Memoria EEPROM.** Algunos microcontroladores tienen integrada una memoria EEPROM, muy útil para el almacenamiento de variables de configuración, ya que estas memorias no se borran aunque haya un corte de tensión. Además, pueden ser reprogramadas en cualquier momento para poder actualizar los valores almacenados.

Es muy frecuente que existan diversas versiones del mismo modelo de microcontrolador. Internamente son prácticamente iguales, pero varían el número de patillas (y por tanto el número de puertos y recursos disponibles) y la cantidad de memoria o controladores disponibles. En función de los requerimientos de la aplicación, se opta por una versión u otra. En el mercado existen varias compañías que venden microcontroladores, Microchip, Atmel, Philips, Hitachi. De todos ellos, los de Microchip son los más documentados en Internet, ya que mucha gente los usa debido a su bajo

precio y a lo sencillo que resulta encontrar dispositivos programadores y compiladores para ellos. Se selecciona el microcontrolador PIC18F252, cuyos requerimientos técnicos se muestran en la tabla 24.

**TABLA 24**  
**RECURSOS UTILIZADOS EN EL PIC18F252**

Recurso	Cantidad	Usados por
Contadores/temporizadores	4	Temporización interna. Encoders Módulos PWM.
Módulos PWM	2	Controladora de motores
PIN's RB4-RB7	4	Controladora de motores
Interrupciones externas	3	-No usados-
Conversor A/D	8	Control de baterías (utiliza 2)
Módulo USART	1	Comunicaciones RS-232

Este microcontrolador, además de disponer de muchos contadores, es muy rápido, dispone de unidad de multiplicación, de mayor memoria y en definitiva de más recursos, en la figura 5.8 se muestra la foto de este microcontrolador.



**FIGURA 5.8. MICROCONTROLADORES FABRICADOS POR MICROCHIP. EL PEQUEÑO, ES EL PIC18F252.**



#### **5.1.4.1. Programación del Microcontrolador**

La programación de un microcontrolador es un proceso que se realiza en tres fases:

1. Escritura del programa
2. Compilación del programa
3. Grabación del programa compilado en la memoria del microcontrolador.

Para la escritura del programa se necesita únicamente un editor de textos que permita guardar el archivo en formato ASCII, válido para el compilador.

La compilación es el proceso en el que se genera el código máquina (inteligible por el microcontrolador) a partir del código fuente por el programador. Para compilar el programa se necesita un compilador del lenguaje de programación empleado en la escritura del código fuente. Los Lenguajes de programación más comunes para los microcontroladores son el ensamblador, el C y el Basic. Generalmente, el fabricante del microcontrolador proporciona como mínimo el compilador en lenguaje ensamblador. La grabación es el proceso que permite escribir el programa compilado en la memoria del microcontrolador.

Existen varios tipos de programadores, desde los más completos que permiten trabajar con múltiples modelos de familias distintas (muy caros), hasta los muy específicos que sólo sirven para unos pocos dispositivos (baratos).

A la hora de programar un microcontrolador se puede proceder de dos formas: usando el ensamblador o un lenguaje de alto nivel como C, Basic, etc. Los buenos programas realizados en un lenguaje de alto nivel, optimizan la memoria que ocupan y su ejecución es muy rápida. Muchas veces, el tamaño del programa es un factor muy importante, puesto que la capacidad de la memoria de instrucciones de un microcontrolador está muy limitada.

Por otra parte, el uso de un lenguaje de alto nivel simplifica el desarrollo y mantenimiento de las aplicaciones. El código generado por un buen compilador está muy optimizado y produce código bastante eficiente. Aún así, hay que ser precavido porque los compiladores de microcontroladores, al no estar muy probados, suelen tener errores.

Para la realización de esta tesis se ha usado el lenguaje de programación C. C, es un lenguaje con el que mucha gente está familiarizada y con el que el desarrollo de esta clase de aplicaciones es cómodo y rápido.

Y como compilador se selecciona el, CCS C Compiler. Este compilador de C es muy completo ya un precio razonable, tiene incorporada mucha

funcionalidad ANSI-C y soporta los nuevos PIC18 de 16 bits. La documentación que proporciona es muy completa.

Este compilador dispone de un Entorno Integrado de Desarrollo (IDE) muy completo, con utilidades para depuración, simulación, coloreado de sintaxis y facilidades para la compilación y programación desde el propio IDE.

Para poder grabar el programa en el microcontrolador seleccionado es necesario disponer de un programador que se encargue de escribir el programa en la memoria del microcontrolador. En el mercado hay multitud de dispositivos programadores, los hay que se conectan al puerto serie, al puerto paralelo o al bus USB. Hay programadores que sólo soportan microcontroladores de la misma familia. Otros, en cambio, soportan microcontroladores de distintas familias y fabricantes. En Internet es muy fácil encontrar programadores de todo tipo, especialmente para los de la casa Microchip aunque, en este caso, el propio fabricante vende su propio programador (e incluso kits muy completos de simulación y desarrollo), pero es caro y no muy interesante, pues está limitado a muy pocos dispositivos.

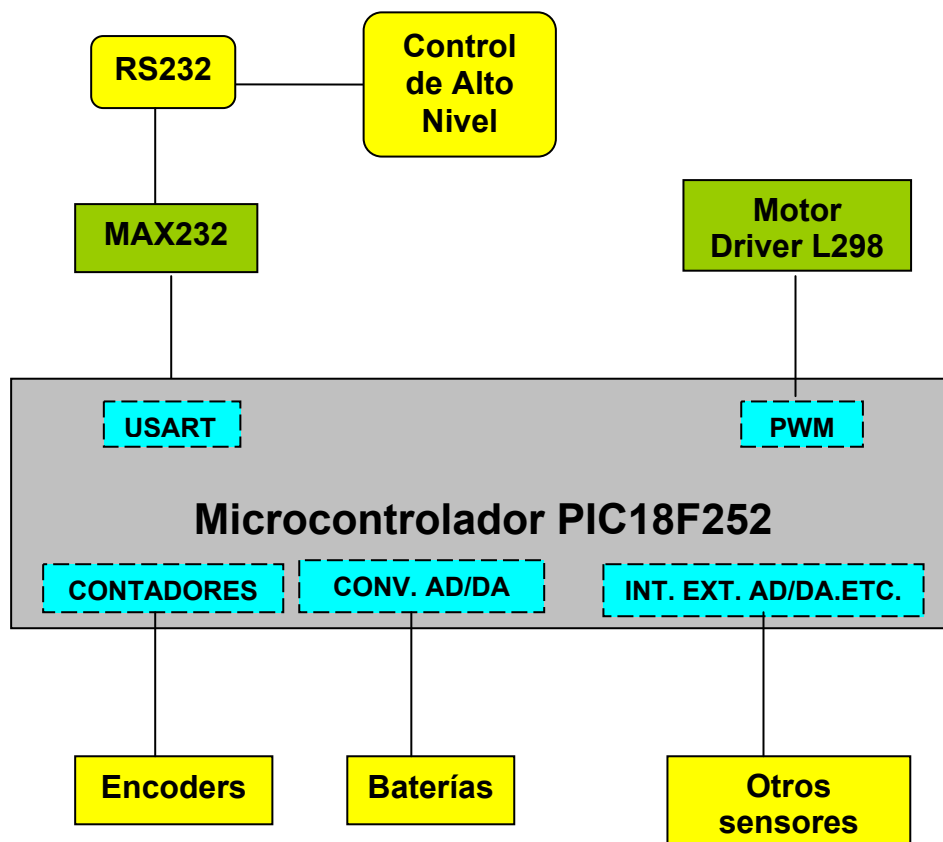
Para poder programar el microcontrolador empleado en esta tesis, se adquiere un programador por puerto paralelo tipo PROPIC: el PRGPIC2, figura 5.9. Viene acompañado de un software, cable paralelo y algo de información. Además admite una gama muy amplia de productos Microchip así como de otros fabricantes.



**FIGURA 5.9 FOTOGRAFÍA DEL PROGRAMADOR PRGPIC.**

## **5.2. Diagrama del Sistema de Control.**

En esta sección se muestra de manera general como van conectados los distintos aparatos electrónicos con el microcontrolador, figura 5.10. Es importante saber que a la hora de comprar la circuitería completa, cada uno de sus elementos viene con un manual de instalación, donde se recomienda de manera técnica la conexión adecuada. En el diagrama se aprecia que el microcontrolador viene a ser el cerebro del robot.



**FIGURA 5.10. DIAGRAMA DEL SISTEMA DE CONTROL**

### 5.3. Programación del Robot.

Básicamente lo que se debe controlar en el robot son los motores DC, para que obtenga autonomía. En esta sección se muestra como se realiza el control de cada motor, y además se realiza un análisis de la odometría del robot.

Luego se diseña una trayectoria que el robot tendrá que recorrer para que cumpla con su objetivo, donde se hace uso del lenguaje de programación C++.

### 5.3.1. Control del Sentido de Giro, de la Velocidad y de la Parada.

En la sección 5.1.2, se vio que el sentido de giro de los motores se consigue activando o desactivando una serie de transistores que forman parte de los puentes-H. Del mismo modo, se puede interrumpir el flujo de corriente hacia los motores con sólo desactivar el puente-H. Dos líneas, C y D, permiten elegir el sentido de rotación y a tercera, V, la activación del puente-H. De este modo, las posibilidades son las siguientes:

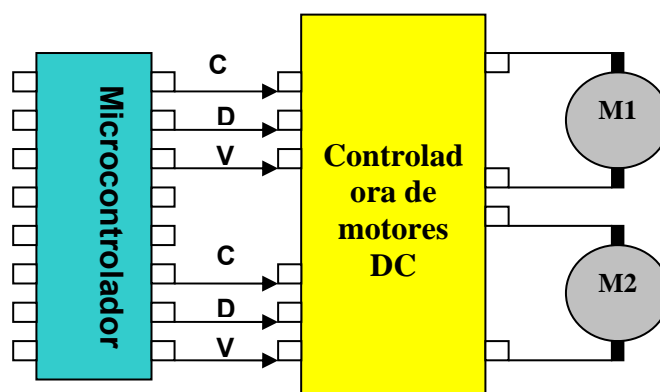
**TABLA 25**

**TABLA DE VERDAD DEL PUENTE-H**

<b>V</b>	<b>C</b>	<b>D</b>	<b>Función</b>
Tensión alta	Tensión alta	Tensión baja	Avance
Tensión alta	Tensión baja	Tensión alta	Retroceso
Tensión alta	Tensión alta	Tensión alta	Bloquear ruedas
Tensión alta	Tensión baja	Tensión baja	Bloquear ruedas
Tensión baja	No importa la tensión	No importa la tensión	Motor desactivado

Entonces, aprovechando los puertos de E/S del microcontrolador para activar los bits “C” y “D”, y los módulos PWM para gestionar los bits “V”, podemos gobernar a voluntad, desde un programa que se ejecuta en el microcontrolador, los motores del robot.

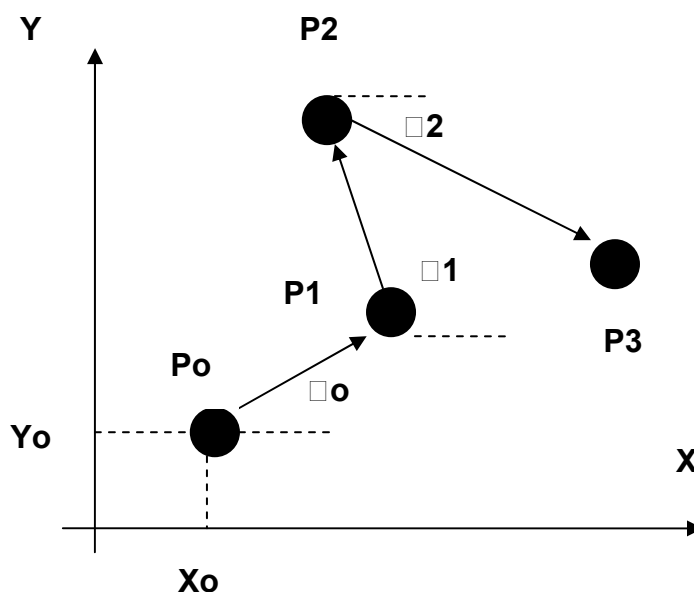
En la figura 5.11, se puede apreciar un esquema de la conexión existente entre el microcontrolador y la controladora de motores. Ahí se muestra las 6 líneas necesarias para controlar los motores, dos líneas para indicarle el sentido de giro (C y D) y una línea para la señal PWM (V) que servirá para variar la velocidad de cada motor.



**FIGURA 5.11. ESQUEMA DE CONEXIÓN ENTRE LOS MOTORES DC Y EL MICROCONTROLADOR.**

### 5.3.2. Odometría del Robot.

Para la experimentación de robots móviles, se desea conocer la posición y/o velocidad del robot completo. La navegación con robots móviles involucra seguir cierta trayectoria fijada previamente, desde el punto inicial del robot hasta su punto de llegada. Esta trayectoria se puede ver como una serie de puntos que describen la posición (x,y) del robot en su medio de trabajo y su orientación  $\theta$  con respecto a un sistema fijo de coordenadas, como se ve en la figura 5.12.



**FIGURA 5.12. TRAYECTORIA DE UN ROBOT MOVIL DESCRITA POR UNA SERIE DE PUNTOS.**

El modelo odométrico de un robot consiste en un modelo matemático el cual, a partir de la posición a la cual se desea llegar, genera las consignas necesarias de desplazamiento de las ruedas de los motores para alcanzar dicha posición. Y viceversa, a partir de los desplazamientos de las ruedas, se obtiene la posición del robot.

Mediante un procedimiento matemático muy sencillo llamado “Dead Reckoning” (Cálculo absoluto), se puede determinar la posición y orientación de robots móviles. Esto se logra por medio de la información recuperada de los sensores. Esta información puede ser medida indirectamente a partir de



detectores de ángulos, giroscopios o bien, calculada por medio de odometría diferencial.

Se sabe que, para que el robot realice giros (derecha-izquierda), un motor tiene que estar conectado a su sistema de dirección (ver sección 3.3.2), y otro se conecta al sistema de tracción. La posición y velocidad de las llantas se recupera por medio de encoders conectados en las ruedas directrices (ver sección 5.1.2.2).

El desplazamiento total del robot está dado por la siguiente expresión:

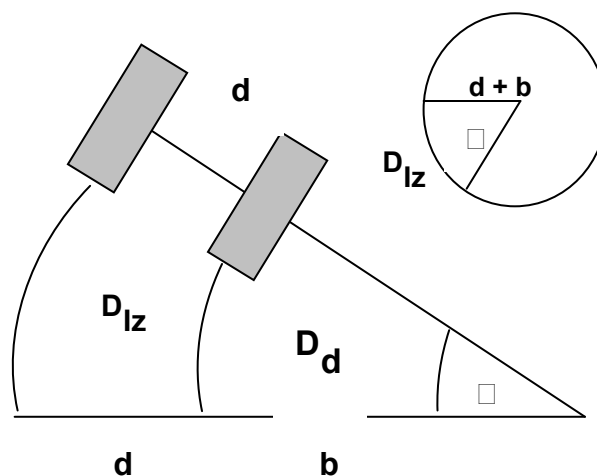
$$D_{\text{Tot}} = \frac{D_{\text{Iz}} + D_{\text{d}}}{2} \quad (\text{Ecuación 5.1})$$

donde:

$D_{\text{Iz}}$  : Es el desplazamiento de la llanta izquierda

$D_{\text{d}}$  : Es el desplazamiento de la llanta derecha

De la figura 5.13, los segmentos de arco  $D_{\text{Iz}}$  y  $D_{\text{d}}$  son parte de una circunferencia de radio  $d+b$ .



**FIGURA 5.13. SEGMENTO DE ARCO  $D_{iz}$  Y  $D_d$  DESCRITOS POR EL MOVIMIENTO DE LAS LLANTAS**

Considerando la precisión de los encoders,  $P_e$ , la distancia entre ruedas,  $d$ , y los tics acumulados por los encoders izquierdo y derecho,  $T_{e1}$  y  $T_{e2}$  respectivamente, podemos calcular el desplazamiento lineal realizado por cada rueda de la siguiente manera:

$$D_{iz} = T_{e1} \cdot P_e \quad (\text{Ecuación 5.2})$$

$$D_d = T_{e2} \cdot P_e \quad (\text{Ecuación 5.3})$$

Sabiendo que, cuando el robot gira las ruedas tienen diferentes velocidades, se producirá un giro de un ángulo. El perímetro descrito por la circunferencia de radio  $(d+b)$  está dado por:

$$C_{Iz} = 2\pi(d + b) \text{ (Ecuación 5.4)}$$

donde:

$C_{Iz}$  : Perímetro de la circunferencia trazada por la rueda izquierda.

$d$ : Distancia entre llantas.

$b$ : Radio de giro respecto al eje del robot.

$\Phi$ : Angulo de giro del robot.

Por otro lado, la razón de dos ángulos centrales es igual a la relación de los arcos que se interceptan. En este caso se considera la relación del segmento de arco  $D_{Iz}$  y el perímetro total de la circunferencia  $C_{Iz}$  y la relación entre ángulo de giro  $\Phi$  y el ángulo de toda la circunferencia  $2\pi$ . Esto es:

$\frac{D_{Iz}}{C_{Iz}} = \frac{\Phi}{2\pi}$ ; despejando  $\Phi$  de esta relación y sustituyendo la ecuación 5.4, se

tiene lo siguiente:

$$\Phi = \frac{D_{Iz}}{d+b} \text{ (Ecuación 5.5)}$$

De forma similar, el arco más pequeño  $D_d$  representa una porción de la circunferencia de radio  $b$  y  $C_d = 2\pi b$  es el perímetro de toda la

circunferencia. A partir de la relación:  $\frac{D_d}{C_d} = \frac{\Phi}{2\pi}$ ; sustituyendo  $C_d$  y

despejando  $b$  se obtiene:

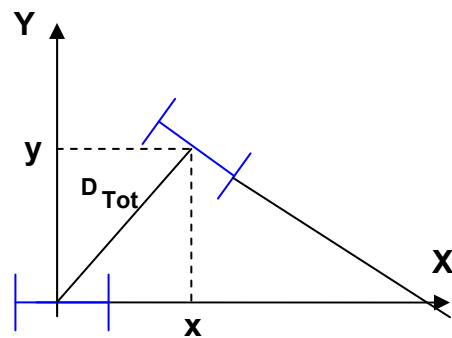
$$b = \frac{D_d}{\Phi} \quad (\text{Ecuación 5.6})$$

Sustituyendo  $b$  en la ecuación 5.5 se obtiene:

$$\Phi = \frac{D_{lz}}{d + \frac{D_d}{\Phi}} = \frac{D_{lz} - D_d}{d} \quad (\text{Ecuación 5.7})$$

Esta expresión proporciona la orientación del robot en función de los desplazamientos de las llantas directrices derecha e izquierda y es completamente independiente del camino que tome el robot.

Hasta aquí se tiene el ángulo de orientación del robot. Para recuperar la posición del robot nos auxiliamos de la siguiente figura.



**FIGURA 5.14. GRAFICA DEL DESPLAZAMIENTO DEL ROBOT**

Inicialmente, se coloca el origen del sistema en el centro del robot y después de desplazarlo encontraremos su nueva posición  $(x,y)$ , que está dada por:

$$x = D_{Tot} \sin \Phi \quad (\text{Ecuación 5.8})$$

$$y = D_{Tot} \cos \Phi \quad (\text{Ecuación 5.9})$$

Teniendo en cuenta que la posición en el instante actual,  $t$ , es  $(x_t, y_t, \Phi_t)$ , podemos calcular la posición en el instante siguiente,  $t+1$  de la siguiente forma:

$$\Phi_{t+1} = \Phi_t + \text{incremento } \Phi \quad (\text{Ecuación 5.10})$$

$$x_{t+1} = x_t + D_{Tot} \cdot \sin \Phi_{t+1} \quad (\text{Ecuación 5.11})$$

$$y_{t+1} = y_t + D_{Tot} \cdot \cos \Phi_{t+1} \quad (\text{Ecuación 5.12})$$

Es importante conocer la velocidad que el motor motriz (M1) debe tener para que se desplace el robot, así como también la velocidad del motor directriz (M2). Todo esto para poder realizar una correcta programación.

De la sección 3.4.1, se sabe que la velocidad angular y lineal de M1 es 76.9rpm y 0.10m/s respectivamente. De la sección 3.2.3, se conoce que la velocidad lineal de giro derecha-izquierda de las ruedas directrices es 0.5 m/s, dicha velocidad se trasmite a la barra elemento 1 (sección 3.3.2, figura 3.7b), para que esta se mueva 4.1cm a la derecha o izquierda, todo esto para que exista los 30° al momento que las ruedas directrices giren.

Como la barra elemento 1, esta conectada al motor directriz, dicho motor también deberá tener una velocidad lineal y angular de 0.5m/s y 367.2rpm respectivamente.

Ahora bien, M2 solo debe girar un cierto tiempo para que la barra elemento 1 se desplace 4.1cm (derecha-izquierda), y como es un movimiento uniforme, el tiempo de funcionamiento de M2 debe ser aproximadamente 0.08seg, para que luego se detenga, originando el giro de las ruedas directrices. Para que las ruedas directrices vuelvan a su estado original, basta con hacer girar M2 en sentido contrario por otros 0.08seg y detenerse.

### 5.3.3. Funciones del C++.

Para poder realizar una correcta programación se debe hacer uso de funciones de C++. Estas funciones son de gran ayuda ya que controlan los motores, el sentido de giro, la velocidad y parada; también se utilizan funciones que controlen la odometría del robot.

La API, o Interfaz para la Programación de Aplicaciones, es una abstracción software (generalmente implementada en una librería, clase, módulo, etc.) de un recurso del que no queremos conocer toda su complejidad para trabajar con él.

Se define API's con el objetivo de simplificar la programación de ciertos dispositivos (monitores, microprocesadores, etc.) o abstracciones de todo tipo (algoritmos de cifrado, estructuras de datos, etc.).

Del mismo modo que un programador no desea conocer cómo se ha fabricado la pantalla para poder trabajar con ella, los programadores de robots seguramente no desean hacer conocer cómo se ha diseñado y construido para poder programarlo. Para ello, es necesario utilizar una API con la funcionalidad necesaria para que a la hora de programar el robot se pueda ignorar los detalles de implementación del sistema y centrarse únicamente en programarlo.

Además, la API le proporciona una serie de ventajas entre las que destacan las siguientes:

**Legibilidad:** empleando la funcionalidad de la API, se reduce código por lo que el código de un determinado programa se vuelve más legible y fácil de depurar.

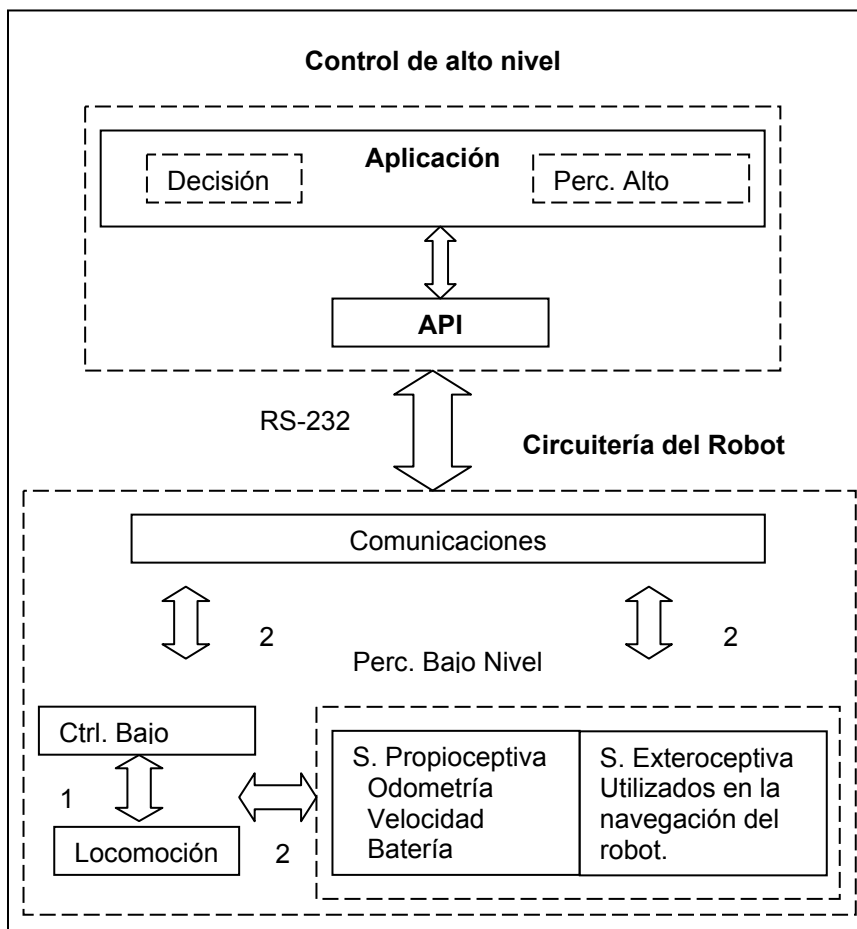
**Portabilidad:** si se dispone de la API para distintos sistemas, el programa realizado puede ejecutarse en ambos con cambios mínimos.

**Sencillez:** la interfaz que proporciona la API resulta muy intuitiva y fácil de utilizar.

Además, es habitual que se desarrollen varias API's del mismo dispositivo en distintos lenguajes, lo que le proporciona una libertad casi total a la hora de elegir el lenguaje que más se ajuste a cualquier tipo de necesidad. En la figura 5.15 se aprecia cómo encaja la API en la parte electrónica del robot.



## Robot



**FIGURA 5.15. SITUACIÓN DE LA API EN LA ARQUITECTURA DEL ROBOT.**

En general, cualquier API debe disponer de tres tipos de comandos:

**De comunicaciones:** aquellos que permiten a la API ocultar la forma de establecer la conexión con el recurso que abstraen.

**De control:** proporcionan los métodos necesarios para gobernar el recurso.

**De estado:** generalmente los recursos disponen de una serie de valores que indican su configuración y/o estado. La API debe proporcionar la funcionalidad necesaria para gestionar esos valores.

Para el caso del robot, los comandos de comunicaciones proporcionan la transparencia necesaria en las comunicaciones entre el PC y el robot que nos permite olvidarnos de la configuración de los puertos de comunicaciones y del protocolo. Por otro lado, los comandos de control permiten gobernar la velocidad, dirección, sentido, etc., del robot. Por último, los comandos de estado proporcionan acceso a la información de estado almacenada internamente en la memoria del robot. En la tabla 26, se muestra la relación de funciones implementadas en la API.

**TABLA 26**  
**FUNCIONES DEL API**

Estructura de la función	Funcionalidad
<b>Funciones de estado</b>	
float get_pos_th (t status vector *sv)	Devuelve el ángulo respecto al eje X.
void get_time(t status vector *sv)	Devuelve el tiempo en minutos transcurrido por el reloj interno.
int get_distance_sensor_front(t status vector *sv)	Devuelve la distancia en cm. del obstáculo en Frente.
int get_distance_sensor_left(t status vector *sv)	Devuelve la distancia en cm. del obstáculo a la Izquierda.
int get_distance_sensor_right(t status vector *sv)	Devuelve la distancia en cm. del obstáculo a la Derecha.
<b>Funciones de control</b>	
void set_time(long int time)	Reinicia el reloj interno al valor fijado.
void set_vel_m1(int v, int w)	Fija la velocidad actual especificada en m/s y grados/s. para el motor 1
void set_vel_m2(int v, int w)	Fija la velocidad actual especificada en m/s y grados/s. para el motor 2.
void stop_m1()	Efectúa una parada rápida del motor 1.
void stop_m2()	Efectúa una parada rápida del motor 2.
void motor_set_dir(int motor, int dir).	Especifica el sentido de giro de un determinado motor.
<b>Funciones de comunicación</b>	
int connect(char *device)	Establece una conexión con el robot.
int disconnect(char *device)	Desactiva una conexión establecida con el robot.

Todas las funciones de la tabla 26, tanto la semántica como la sintaxis están en la librería optimus.h.

#### **5.3.4. Sistema de Navegación.**

Hasta ahora se ha seleccionado todos los dispositivos eléctricos y electrónicos que conectados entre sí, y que junto a un análisis de programación en lenguaje C++, brindan al robot la autonomía necesaria para que el robot cumpla con su trabajo.

Cabe mencionar que al robot se le puede implementar cualquier tipo de sistema de navegación, ya que las condiciones electrónicas así lo permiten.

Los sistemas de navegación son diseñados en base al grado de autonomía del robot, donde este puede desenvolverse en ambientes generales o específicos. Una de la parte más importante de los sistemas de navegación son los sensores, y para este proyecto se utilizará 3 sensores de medida de distancias, colocados en lugares estratégicos del robot.

##### **5.3.4.1. Sensor de medida de distancias.**

La familia de sensores Sharp GP2Dxx es una de las más utilizadas tanto en lo que viene a denominarse robótica móvil casera, como en el ámbito de investigación debido principalmente a su facilidad de integración y su bajo coste. En la Figura 5.16 puede verse una imagen de un GP2D12.



**FIGURA 5.16. SENSOR DE MEDIDA DE DISTANCIA GP2D12.**

Los GP2D12 dan una salida analógica entre 0 y 3 voltios dependiendo de la distancia a la que se encuentre el objeto. En aplicaciones de robótica móvil es común la utilización de un conversor analógico-digital con el que adaptar esa tensión para su tratamiento digital.

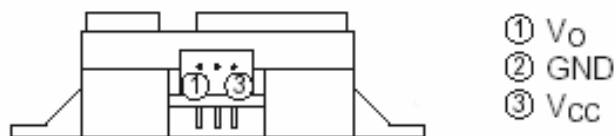
Los GP2D12 tienen periodo de actualización de las medidas realizadas de 40ms. Esta característica debe tenerse en cuenta a la hora de seleccionar el sensor para aplicaciones concretas.

Este sensor se basa en el principio de triangulación para realizar las medidas. El elemento a la izquierda del sensor según vemos en la Figura 5.17, es un led infrarrojo que emite un haz que será rebotado por el objeto y posteriormente recogido por el elemento situado a la derecha. Este último se conoce como PSD (*Position Sensing Device*, Dispositivo de Percepción de Posición) y puede entenderse como una lente situada sobre un array de células sensibles a la luz infrarroja.

Dependiendo del ángulo de incidencia del haz rebotado en la lente, se activa una u otra célula del array lo que permite estimar la distancia a la que se encuentra el objeto.

El conexionado de los GP2D12 con un microcontrolador es sumamente sencillo requiriendo solamente una entrada del conversor analógico-digital a la que se conectará el pin de salida del sensor (el de más a la izquierda visto de frente según se muestra en la Figura 5.17). Los otros dos pines corresponden, respectivamente, con GND y con Vcc, la tensión de alimentación, que deberá ser próxima a los 5 voltios. Se recomienda el uso de una tensión regulada (por ejemplo, mediante un 7805) para no introducir ruido en las medidas debido a que la tensión caiga por debajo de su umbral de funcionamiento.

Así mismo, se recomienda utilizar un condensador de 22  $\mu$ F entre Vcc y GND para reducir el ruido en la alimentación debida a la corriente requerida por el led emisor. También podría utilizarse un condensador entre la señal de salida Vo y Vcc o GND (filtro paso bajo) pero se disminuye considerablemente la dinámica del sensor.



**FIGURA 5.17. CONEXIONADO DE LOS GP2D12**

En el tabla 27 se recogen los datos principales ofrecidos por el fabricante. Vemos que el rango de medida se encuentra entre los 10 y 80cm. Si se baja de los 10cm la tensión de salida disminuye más rápidamente que cuando se supera este umbral (véase la figura anterior) pero no se puede conocer si estamos por encima o por debajo del umbral. Dada esta característica, es bastante habitual colocar el sensor de forma que nunca puedan darse medidas menores a los 10cm, dejando, por ejemplo, que esa distancia sea cubierta por el chasis del robot.

**TABLA 27**

**CARATERISTICAS TECNICAS DEL SENSOR GP2D12**

Rango	10-80cm
Periodo de lectura	40ms
Máximo ángulo de reflexión	>40 grados
Tensión de alimentación	4.5-5.5V
Consumo medio	35mA
Consumo de pico	200mA

#### **5.3.4.2. Estructura del Sistema de Navegación.**

El sistema de navegación se basará, en que el robot navegará por lugares específicos. Existen en Guayaquil diversos parques que poseen pista de atletismo, estas pistas tienen una forma irregular donde sus esquinas son curvas.

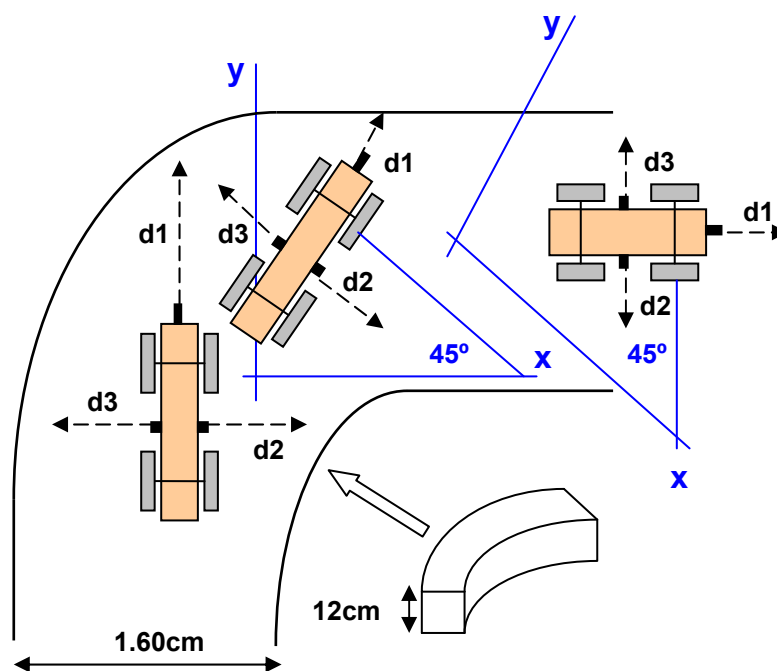
También poseen dos muros de 12cm de alto, uno en cada lado, estos muros será aprovechado por los sensores de distancia, ya que van hacer utilizados como guías para que el robot pueda desplazarse.

La idea es colocar 3 sensores de distancia, uno al frente, uno a cada lado, estos son llamados d1, d2 y d3, ver figura 5.19. Conforme el robot vaya desplazándose el sensor colocado al frente del robot (d1), irá tomando medidas, y cuando este cerca de una curva, dicha medida se acercará a un valor determinado, indicando que el robot tiene un obstáculo al frente y que deberá tomar una decisión.

Esta decisión es hacer giros de derecha-izquierda, de 45° cada uno, por ejemplo, para virar a la izquierda se toma en cuenta el sensor de la derecha (d2), y viceversa.



Es probable que el robot tenga que realizar varios giros de  $45^\circ$  para tomar una recta, ver figura 5.18, esto se debe a las condiciones en que esta estructurada la pista de atletismo.



**FIGURA 5.18. GEOMETRÍA DE DESPLAZAMIENTO DEL ROBOT. SENSORES FRONTAL (d1), DERECHO (d2) E IZQUIERDO (d3).**

En el apéndice E, se muestra el diagrama de flujo del sistema de navegación del robot. Este diagrama está diseñado para que el robot pueda tomar decisiones al momento en que topa con una curva, su codificación en C++ se aprecia en el apéndice F.

# **CAPÍTULO 6**

## **6. CONSIDERACIONES DE MANTENIMIENTO.**

Debido a que el robot estará en constante movimiento, sus elementos mecánicos estarán sometidos al desgaste por fricción acortando su vida útil. Por eso surge la necesidad de protegerlos dando pequeños consejos de mantenimiento preventivo. También se analiza el mantenimiento de los distintos elementos eléctricos y electrónicos del robot.

### **6.1. Mantenimiento del Sistema Mecánico.**

Del sistema mecánico del robot, se realiza un análisis general de mantenimiento de las distintas piezas que están sujetas a movimiento. A continuación se muestra las consideraciones de mantenimiento para los componentes mecánico:

### **6.1.1. Cadena, Rueda Dentada y Chumaceras.**

Se debe realizar un programa de limpieza y engrase de la cadena, en función de su trabajo y ubicación, intentando seguir instrucciones del fabricante de ese equipo o de elementos de máquinas similares. Para la rueda dentada se debe realizar una correcta limpieza para retirar cualquier partícula, y luego se debe poner aceite para que no se oxide.

Para que un rodamiento funcione de un modo fiable, es indispensable que este adecuadamente lubricado con el objeto de evitar el contacto metálico directo entre los elementos rodantes, los caminos de rodadura y las jaulas, evitando también el desgaste y protegiendo las superficies del rodamiento contra la corrosión por tanto, la elección del lubricante y el método de lubricación adecuados, así como un correcto mantenimiento, son cuestiones de gran importancia.

Si se puede vigilar el estado del rodamiento durante el servicio, por ejemplo escuchando el rumor del mismo en funcionamiento y midiendo la temperatura o examinado el lubricante, normalmente es suficiente con limpiarlo e inspeccionarlo a fondo una vez al año (aros, jaula, elementos rodantes) junto con las demás piezas anexas al rodamiento. Si la carga es elevada, deberá aumentarse la frecuencia de las inspecciones; por ejemplo, los rodamientos de los trenes de laminación se deben examinar cuando se cambien los cilindros.

Después de haber limpiado los componentes del rodamiento con un disolvente adecuado (petróleo refinado, parafina, etc.) deberán aceitarse o engrasarse inmediatamente para evitar su oxidación.

## **6.2. Mantenimiento del Sistema Eléctrico y de Control.**

De la parte eléctrica se tiene: los ventiladores, los paneles, las baterías y los motores DC. Del sistema de control los elementos electrónicos también deben tener consideraciones de mantenimiento.

### **6.2.1. Paneles Solares.**

Los módulos fotovoltaicos requieren muy escaso mantenimiento por su propia configuración, carente de partes móviles y con el circuito interior de las células y las soldaduras de conexión aisladas del ambiente exterior por capas de material protector. Al mismo tiempo, el control de calidad realizado es riguroso y rara vez se presentan problemas por esta razón. El mantenimiento abarca los siguientes procesos:

- Limpieza periódica del módulo.
- Inspección visual de posibles degradaciones internas de la estanqueidad del módulo.
- Control del estado de las conexiones eléctricas y del cableado.

- Eventualmente, control de las características eléctricas del módulo.

**Limpieza periódica del módulo.** La suciedad acumulada sobre la cubierta transparente del módulo reduce el rendimiento del mismo y puede producir efectos de inversión similares a los producidos por sombras. El problema puede llegar a ser serio en el caso de los residuos industriales y los procedentes de las aves. La intensidad del efecto depende de la opacidad del residuo. Las capas de polvo que reducen la intensidad del Sol de forma uniforme no son peligrosas y la reducción de la potencia no suele ser significativa. La periodicidad del proceso de limpieza depende, lógicamente, de la intensidad del proceso de ensuciamiento.

En el caso de los depósitos procedentes de las aves conviene evitarlos instalando pequeñas antenas elásticas en la parte alta del módulo, que impida a éstas posarse. La acción de la lluvia puede en muchos casos reducir al mínimo o eliminar la necesidad de la limpieza de los módulos.

La operación de limpieza debe ser realizada en general por el propio usuario y consiste simplemente en el lavado de los módulos con agua y algún detergente no abrasivo, procurando evitar que el agua se acumule sobre el módulo, no es aceptable en ningún caso utilizar mangueras a presión.

**Inspección visual del módulo.** La inspección visual del módulo tiene por objeto detectar posibles fallos, concretamente:

- Posible rotura del cristal.
- Oxidaciones de los circuitos y soldaduras de las células fotovoltaicas, que normalmente son debidas a entrada de humedad en el módulo por rotura de las capas de encapsulado durante la instalación o transporte.

**Control de conexiones y cableado.** Cada 6 meses realizar un mantenimiento preventivo efectuando las siguientes operaciones:

- Comprobación del apriete y estado de los terminales de los cables de conexionado de los módulos.
- Comprobación de la estanqueidad de la caja de terminales.

Para mantener el inversor y el regulador de carga que va conectado al panel solar, con un funcionamiento correcto, es necesario muy poco mantenimiento. Debe limpiarse el exterior de la unidad de forma periódica con un paño húmedo con el fin de evitar que se acumule polvo y suciedad, también deben fijarse los tornillos en los terminales de entrada de DC.

### 6.2.2. Las Baterías.

Detallamos unas normas básicas, para que sean útiles a la mayoría de las instalaciones:

- Mantener el lugar donde se coloquen las baterías entre 15 y 25 grados. El frío ralentiza las operaciones tanto de carga como de descarga. El calor por su parte, aumenta la evaporación del agua del electrolito, y promueve la oxidación de las placas positivas.
- Siempre que sea posible, fijar bien las baterías, evitando su movimiento.
- Mantener los terminales de conexión, limpios, apretados (no en exceso) y seca la carcasa de la batería.
- Mantener el nivel del electrolito adecuado, añadiendo agua destilada en caso de necesidad, evitando tanto dejar las placas al aire como el llenado excesivo que provoque el desbordamiento del electrolito.
- Evitar la descarga completa de las baterías.
- Compruebe el funcionamiento del Cargador de la Batería; las cargas excesivas o insuficientes pueden disminuir su vida útil.
- Evite siempre que pueda las CARGAS RAPIDAS DE LAS BATERIAS, las hacen sufrir mucho.

- Compruebe que no hay diferencias de carga entre las distintas celdas de la batería, y si fuera así, efectúe una carga de nivelación.

### **6.2.3. Motores DC.**

Las inspecciones, las lubricaciones y la limpieza periódica y sistemática hacen parte de un necesario programa de mantenimiento preventivo de las máquinas eléctricas, todo ello con el fin de evitar daños y paradas innecesarias en el trabajo.

La ubicación de las máquinas eléctricas va desde lugares en donde no hay polvo, suciedad ni humedad, hasta sitios donde se encuentra toda clase de suciedad. Por eso el periodo de las operaciones de las inspecciones varía según el caso, desde cada semana, hasta cada año, condicionando eso, no solamente por el medio donde trabaja el motor, sino también por el tiempo de trabajo y de la naturaleza del servicio que desempeña. En línea general, se deben observar las siguientes reglas:

#### **Cada semana**

- Verificar el nivel de aceite de los cojinetes y de los anillos engrasadores.



- Verificar las conexiones de la caja de bornes (cables pelados, tuercas no apretadas).
- Examen de los fusibles y de los aparatos de control.
- Verificación del alcance de la velocidad de plena carga en un tiempo normal.
- Verificar la tensión en los bornes del motor.

### **Cada seis meses**

- Verificar la grasa o el estado del aceite de los cojinetes (excesiva grasa puede producir recalentamiento).
- Examinar las escobillas y portaescobillas (verificar la presión, la correcta posición y el desgaste. Las escobillas que están desgastadas a más de la mitad deben ser sustituidas).
- Escuchar el motor a plena velocidad de carga y observar eventuales ruidos mecánicos, luego desde parado, mover el eje para averiguar eventuales desgastes de los cojinetes.
- Verificar pernos que sujetan la base del motor, los tornillos que sujetan la placa, los escudos, las tapas de los cojinetes y las tapas de protección.
- Inspeccionar el estado de los aparatos de control (arreglar los contactos estropeados y apretar bien las conexiones, verificar el estado de los resortes de los contactos).

- Verificar si por algún fusible quemado, el motor no está trabajando con todas las tres fases.
- Limpiar la suciedad del motor usando aspiradores (los compresores echarían la suciedad en los enrollamientos).

### **Cada año**

- Limpiar los cojinetes de casquillos y renovar el aceite o grasa (esto es condicionado al ambiente de trabajo del motor).
- Verificar el grado de aislamiento del motor. Si la lectura es inferior a un megahomio (1M.) y se presume que el motor esté muy húmedo, entonces hay que secarlo con una estufa hasta que la lectura sea satisfactoria.
- Verificar la corriente absorbida por el motor a plena carga, compararla con la que indica la placa de características y concluir si el motor está sobrecargado o subcargado.
- Verificar la holgura del entrehierro con un calibrador de láminas (no se debe admitir una reducción de esta holgura superior al 20% del entrehierro normal).

### **Cada dos años**

- Desmontar el motor y limpiarlo con tetracloruro de carbono.
- Secado y rebarnizado del motor (operación condicionadas al tipo de trabajo del motor y al medio circundante).

Se dan los siguientes consejos generales:

- El polvo con limadura de hierro es abrasivo, produce desgaste y es un buen conductor.
- En ambientes muy salinos (como las cercanías del mar), los portaescobillas de las máquinas eléctricas es preferible levantarlos del colector si la máquina se queda mucho tiempo sin trabajar. Se evitarán manchas y corrosiones en el colector.
- El recalentamiento de un motor puede ser producido por la obstrucción de los canales de ventilación. Hay que chequearlos y limpiarlos con frecuencia.
- Los cojinetes nuevos hay que guardarlos bien envueltos en sitios limpios.
- No hay que dejarlos mezclados con la herramienta, ni cerca de limaduras o suciedades.
- Si en un cojinete hay un escape, no hay que seguir poniendo aceite o grasa. Es necesario un chequeo y arreglar la causa de la pérdida.
- En un sistema de tracción, bandas y poleas desajustadas ocasionan sobrecargas en el motor, ineficiencias y pérdidas de energía.
- Las altas temperaturas en el motor son síntoma de sobrecarga y fallas de aislamiento eléctrico, por lo cual se recomienda realizar periódicamente medidas de termografía en los devanados.

- Finalmente y para el caso de arrancadores de motores, se debe realizar periódicamente inspección visual (resecamiento de la bobina, arco en los contactos, suciedad en el núcleo magnético y decoloración de los contactos), auditiva (vibración excesiva del núcleo magnético) y de tacto (verificación de terminales flojos, desuniformidad de presión en los contactos y temperaturas anormales).

#### **6.2.4. Los Ventiladores.**

Un ventilador nunca debe operar a una velocidad más alta que aquella para la cual su fabricante lo diseñó. El rotor puede estar operando a su máxima velocidad de seguridad y puede fallar por los mayores esfuerzos que resultan de una velocidad más alta causando vibraciones excesivas. Las protecciones metálicas se utilizan para cubrir la entrada o salida del ventilador centrífugo o helicoidal, o para rodear completamente al ventilador, al motor y a la transmisión del ventilador de hélice. Los problemas más comunes de los ventiladores y sus posibles causas son:

**Limpieza de los ventiladores.** Para un funcionamiento eficiente es necesario limpiar periódicamente las aspas y las envolturas de los ventiladores; la acumulación de materias extrañas en las aspas de una hélice disminuye la eficiencia de la unidad y puede llegar a desequilibrarlas.

Para proteger los ventiladores y poderlos lavar fácilmente, existen revestimientos que se aplican a los ventiladores limpios y luego, cuando haya una acumulación suficiente, se lavan con agua o se les despoja de la capa de pintura.

Si se usan rejillas en la succión y en la descarga de un ventilador, hay que procurar que no estén tapadas o sucias por cuanto la acumulación de suciedad, pelusas, hojas y desperdicios afectará materialmente el funcionamiento del ventilador. Donde existan condiciones de humedad, de ácidos o de abrasivos, o en cualquier aplicación donde se note que la envoltura del ventilador y del rotor se han corroído, la unidad se debe cepillar con cepillo de alambre y pintar con un material que soporte esas condiciones particulares de que se trata. La pintura se debe aplicar con cuidado en las aspas o rotores para asegurar que no afecte el balanceo.

**Mantenimiento de los motores eléctricos.** Los motores eléctricos del tipo totalmente cerrado se deben mantener libres de acumulaciones de pinturas, pelusas y suciedades y no rociar sobre él materiales en exceso, ya que reducen la transferencia del calor de la carcasa del motor. En los motores eléctricos enfriados por aire, deben mantenerse limpios tanto los ventiladores como los canales por los cuales pasa el aire fresco. En motores con un extremo abierto, hay que tener cuidado de que las entradas o las salidas del aire no estén tapadas en ningún momento.

### **6.2.5. Los Componentes Electrónicos.**

El manejo de las tarjetas electrónicas exige mucho cuidado, uno de los más importantes es utilizar correctamente una pulsera antiestática con el fin de prevenir las descargas electrostáticas del cuerpo.

Con elementos sencillos como una brocha, se puede hacer la limpieza general de las tarjetas electrónicas. Para limpiar los contactos de las tarjetas se utiliza un borrador blando para lápiz. Después de retirar el polvo de las tarjetas y limpiar los terminales de cobre de dichas tarjetas, podemos aplicar limpia-contados (dispositivo en aerosol para mejorar la limpieza y que tiene gran capacidad dieléctrica) a todas las ranuras de expansión y en especial a los conectores de alimentación de la tarjeta principal.

El soplador o blower es una herramienta indispensable para hacer limpieza en aquellos sitios del sistema de difícil acceso, se utiliza con el robot apagado ya que éste posee un motor que podría introducir ruido sobre la línea eléctrica y generar daños a los motores.

# **CAPÍTULO 7**

## **7. ANALISIS ECONOMICO.**

En este capítulo se realizará el análisis económico de la fabricación de las partes mecánicas diseñadas del robot, así como la compra de equipos eléctricos y electrónicos.

### **7.1. Costo de Fabricación.**

Los costos de fabricación de las partes mecánicas diseñadas para el robot se muestran en la tabla 28.

**TABLA 28**  
**COSTO DE FABRICACIÓN DE LAS PARTES MECÁNICAS.**

Concepto	Cantidad	Costo unitario	Total
Corte y perforación de los perfiles C de Al.	2	\$ 5	\$10
Elemento 1 del sistema de dirección (fig.3.7).	1	\$ 5	\$ 5
Elemento 2 del sistema de dirección (fig.3.7).	2	\$ 5	\$10
Elemento 3 del sistema de dirección (fig.3.7).	1	\$ 5	\$ 5
La carrocería	1	\$10	\$10
Eje de transmisión	1	\$11	\$11
Eje de las ruedas directrices	2	\$ 5	\$10
		<b>TOTAL</b>	<b>\$61</b>

### 7.2. Costo de Compra de Equipos.

A continuación se muestra en las tablas 29, 30, 31 y 32 los costos de los materiales mecánicos, eléctricos, electrónicos y de la programación respectivamente.

**TABLA 29**  
**COSTO DE EQUIPOS MECÁNICOS**

Concepto	Cantidad	Costo unitario	Total
Perfil C de aluminio (6m)	1	\$19.40	\$ 19.40
Plancha de aluminio	1	\$ 22	\$ 22
Rueda	4	\$ 5.40	\$ 21.6
Rueda dentada	1	\$ 3	\$ 3
Cadena	1	\$ 1	\$ 1
Eje de acero 1040	1	\$ 14	\$ 14
Tanque de almacenamiento	1	\$ 6	\$ 6
Manguera de aluminio (3.5m)	1	\$ 17.5	\$ 17.5
Chumacera	2	\$5	\$10
		<b>TOTAL</b>	<b>\$114.5</b>



**TABLA 30**  
**COSTO DE EQUIPOS ELECTRICOS**

Concepto	Cantidad	Costo unitario	Total
Panel solar de 20 W a 12V	3	\$481.21	\$1443.63
Baterías RAZOR de 7A a 12V	3	\$30	\$90
Controlador de carga modelo Base-Pv	2	\$124	\$248
Inversor de carga Samlex América	1	\$50	\$50
Conductores No. 14AWG total de 2m.	1	\$13.44	\$13.44
Motor DC RAZOR de 250W	1	\$40	\$40
Motor DC RAZOR de 300W	1	\$40	\$40
Ventilador centrífugo MONTERO de 45W	1	\$181	\$181
Ventilador helicoidal HJEPA-20-M4 de 30W	1	\$80.5	\$80.5
		<b>TOTAL</b>	<b>\$2186.57</b>

**TABLA 31**  
**COSTO DE EQUIPOS ELECTRONICOS**

Concepto	Cantidad	Costo unitario	Total
Microcontrolador PIC18F252	1	\$11	\$11
Regulador de tensión 5V 1A MC7805	1	\$1	\$1
Condensadores de 0.1 $\mu$ F	4	\$0.30	\$1.2
Optoacoplador	1	\$3	\$3
Motor Driver L298	1	\$36	\$36
Encoders incrementales	2	\$20	\$40
Estándar de comunicación RS232	1	\$2	\$2
Circuito integrado MAX232	1	\$4.50	\$4.50
Sensores de distancia GP2D12	3	\$15	\$15
		<b>TOTAL</b>	<b>\$113.7</b>

**TABLA 32**  
**COSTO EMPLEADO EN LA PROGRAMACIÓN**

<b>Costo empleado en la programación</b>			
<b>Concepto</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Costo unitario</b>	<b>Total</b>
Programador PRGPIC	1	\$60	\$60
Licencia y compilador CCSC C Compiler	1	\$175	\$175
		<b>TOTAL</b>	<b>\$235</b>

Realizando una sumatoria del costo total de cada tabla, se tiene un valor de \$ 2710.77 para construcción del robot.

# CAPÍTULO 8

## 8. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

### CONCLUSIONES

El diseño estructural del robot, y los elementos mecánicos que lo conforman, se lo realiza sin ningún tipo de problema debido a que existen libros que hablan sobre dichos temas, también la información se la puede obtener de la industria metal mecánica existente en el país, donde hay personal capacitado para desarrollar cualquier tipo de estructura. Entonces, la estructura del robot queda definida como la de un vehículo tradicional de 4 ruedas, que cumple con las necesidades técnicas para ser catalogado como un robot móvil.

El sistema de recolección de basura se basa en el principio fundamental de los succionadores de granos, el cual cuenta con un ventilador centrífugo, que por diferencia de presión se produce una succión.

Los ventiladores centrífugos tienen una amplia aplicación en la industria, debido a la necesidad de la transportación de material. Un ventilador helicoidal es el encargado de que la temperatura de los equipos eléctricos y electrónicos no sobrepase el rango permitido de funcionamiento, garantizando de esta manera la vida útil de dichos equipos.

Los 3 paneles solares utilizados son de 20W a 12V cada uno, permitiéndole al robot un tiempo de autonomía de 15 min. Cabe mencionar que a mayor tiempo de funcionamiento, mayor es el número y tamaño de los paneles solares, aumentando también la cantidad de baterías, algo que no iría acorde con las dimensiones del robot. Cumplir con el objetivo de utilizar energía alternativa, ha sido una demostración de que se la puede emplear en muchas áreas de la ingeniería.

El sistema de control está diseñado de manera general, es decir, que se lo puede implementar en cualquier tipo de robot móvil, debido a que los dispositivos eléctricos y electrónicos son controlados por un microcontrolador (PIC18F252) utilizados por la robótica. Esta ventaja hace que, una vez diseñado el robot, se le pueda instalar cualquier tipo de sistema de navegación, entonces mientras más complejo sea este sistema, la autonomía del robot aumenta.

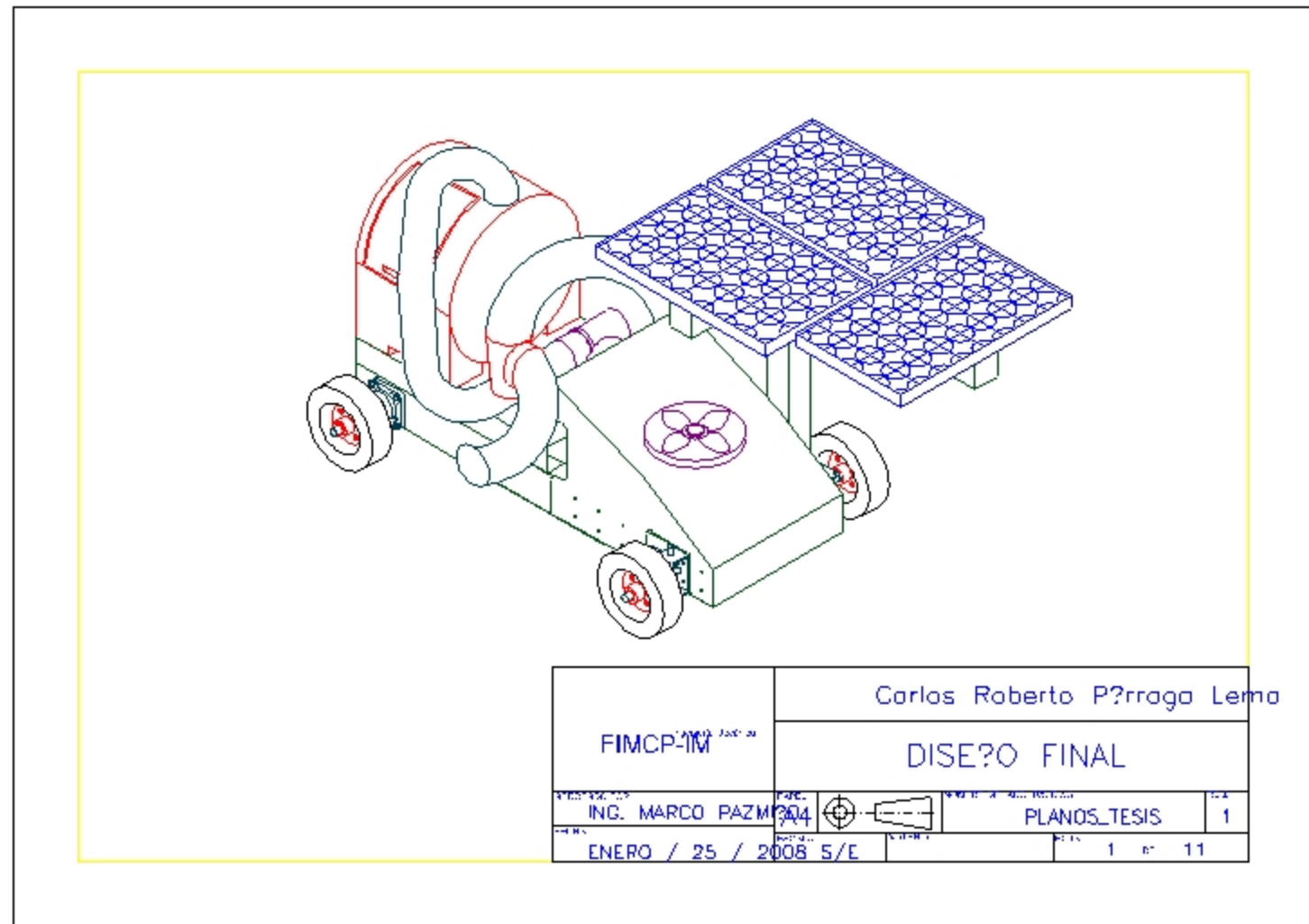
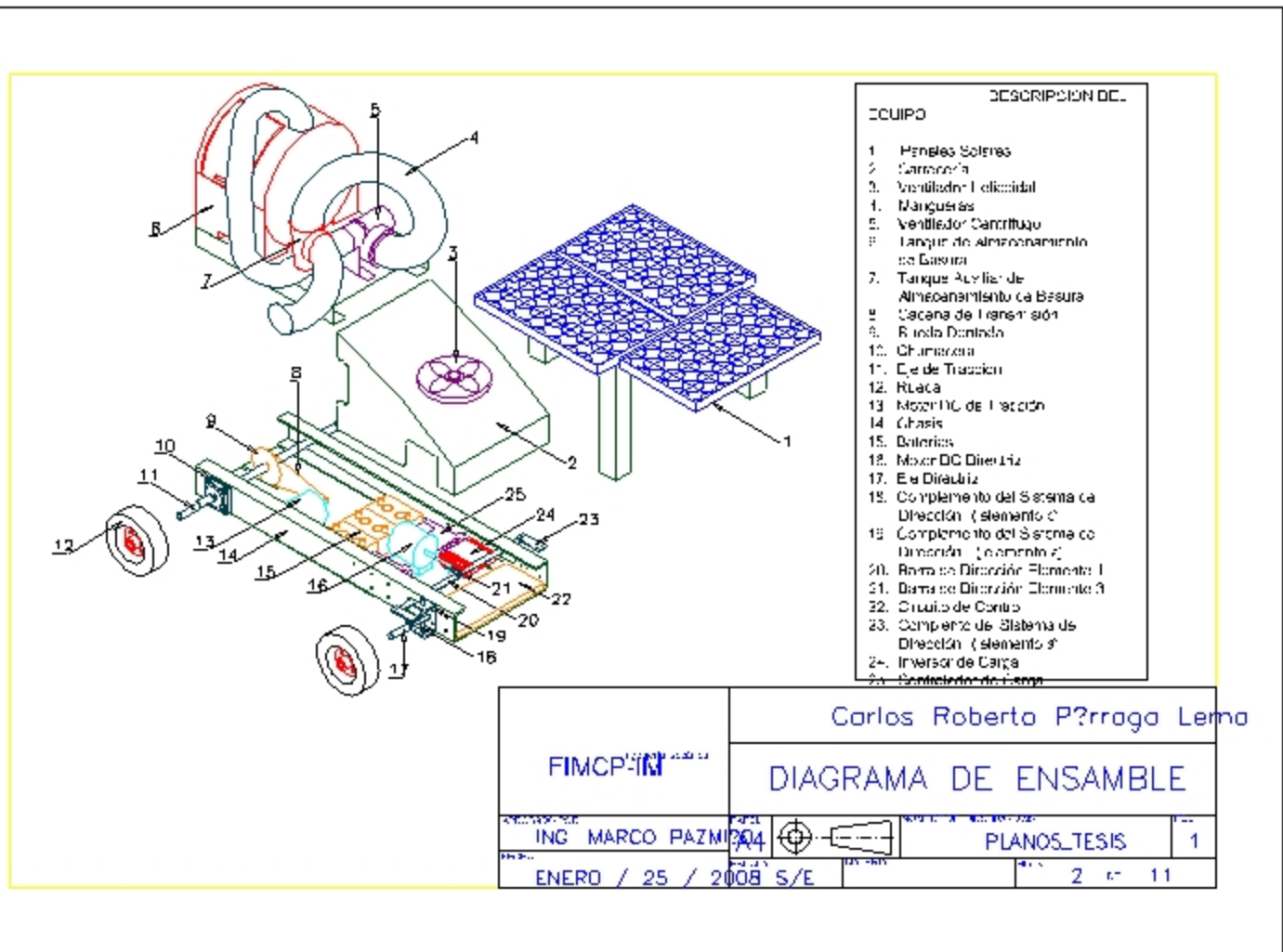
## **RECOMENDACIONES**

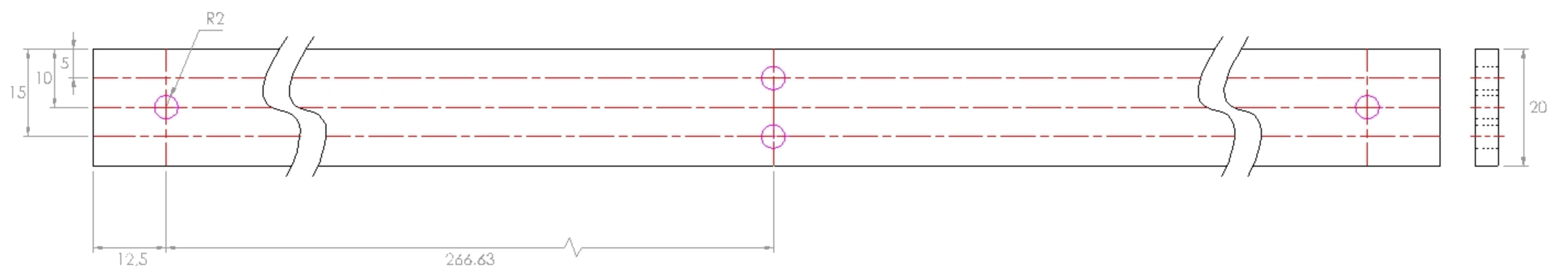
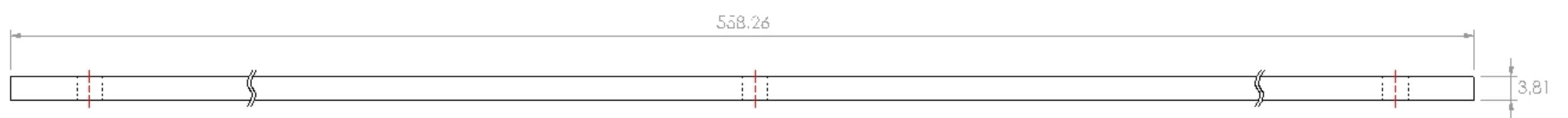
Por ser este un proyecto que aún puede admitir modificaciones, se recomienda hacer estudios de compatibilidad entre los aparatos eléctricos y electrónicos; por ejemplo, no todos los microcontroladores utilizan el mismo lenguaje de programación.

También es importante saber que el uso de la energía solar, implica de alguna forma la conservación del medio ambiente, por eso cualquier tipo de modificación deberá garantizar la no contaminación.

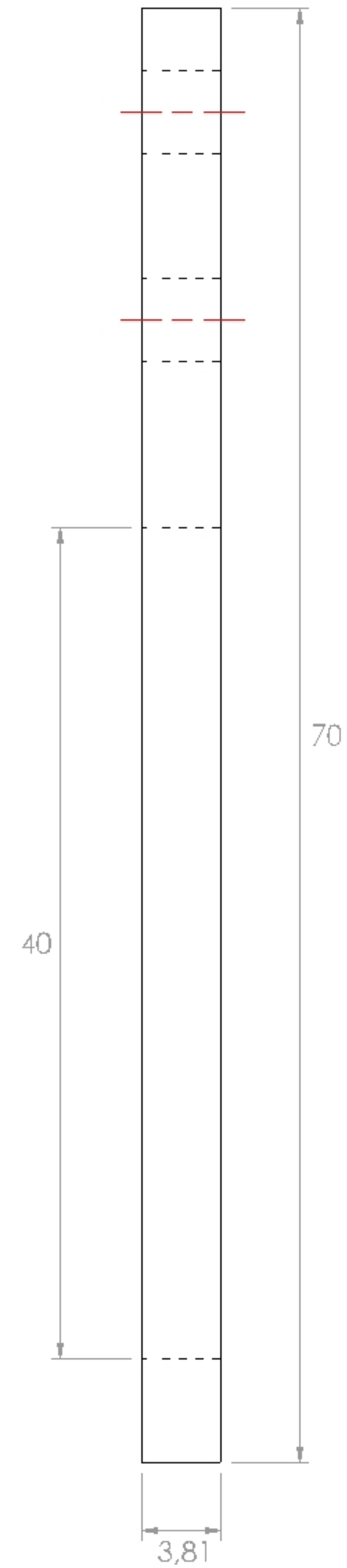
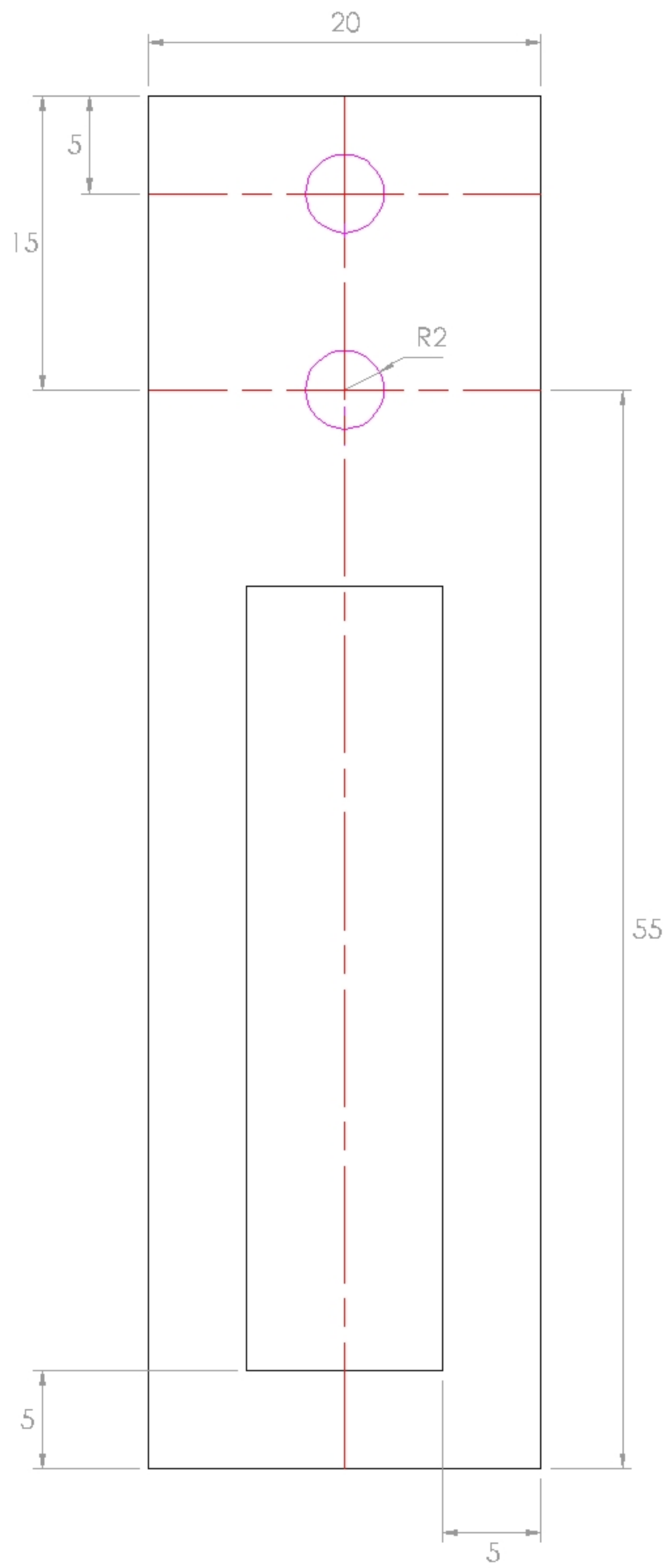
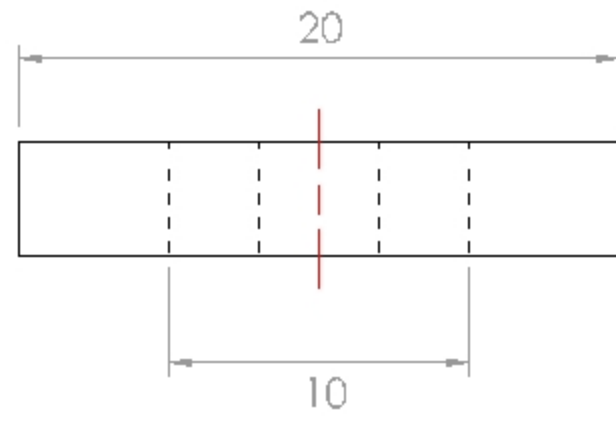
Es importante mencionar que el robot también puede funcionar con energía convencional, entonces se recomienda hacer uso de dicha energía en caso de que no se pueda adquirir los paneles solares, representando de esta manera un ahorro significativo.

# PLANOS

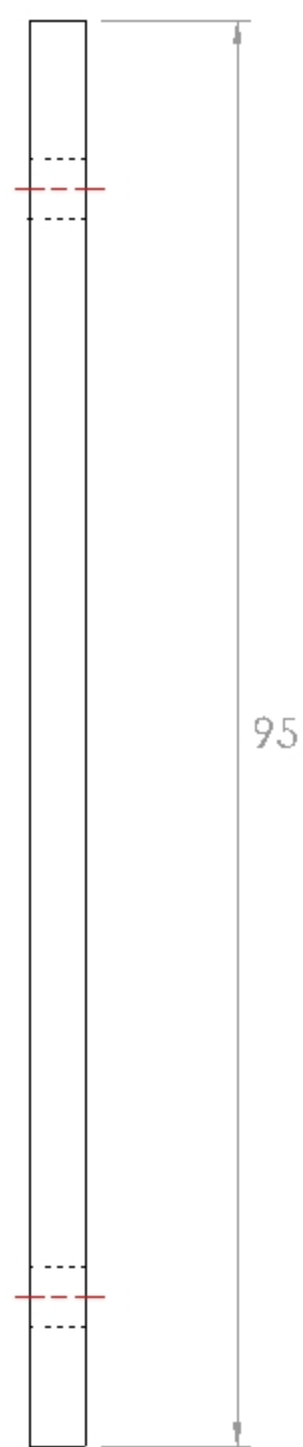
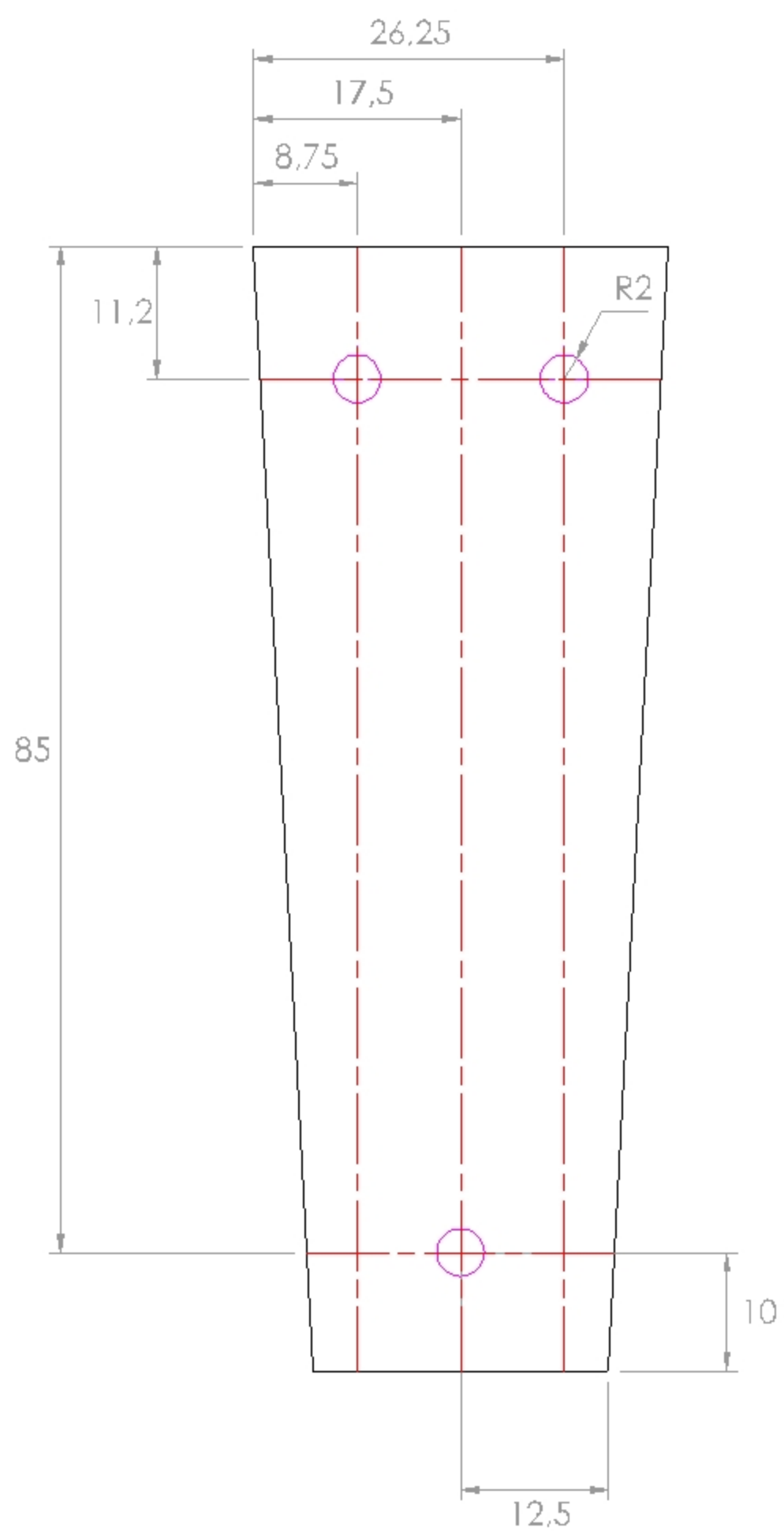
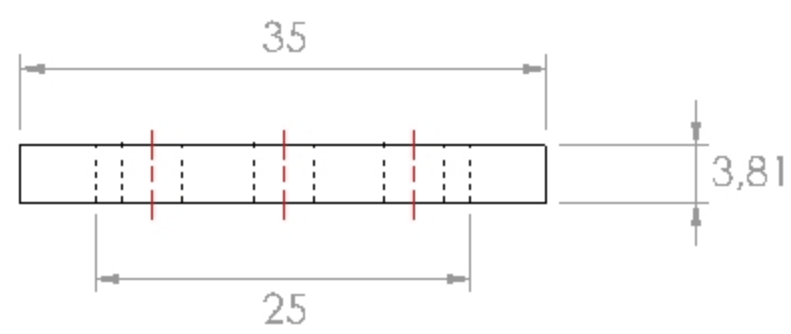




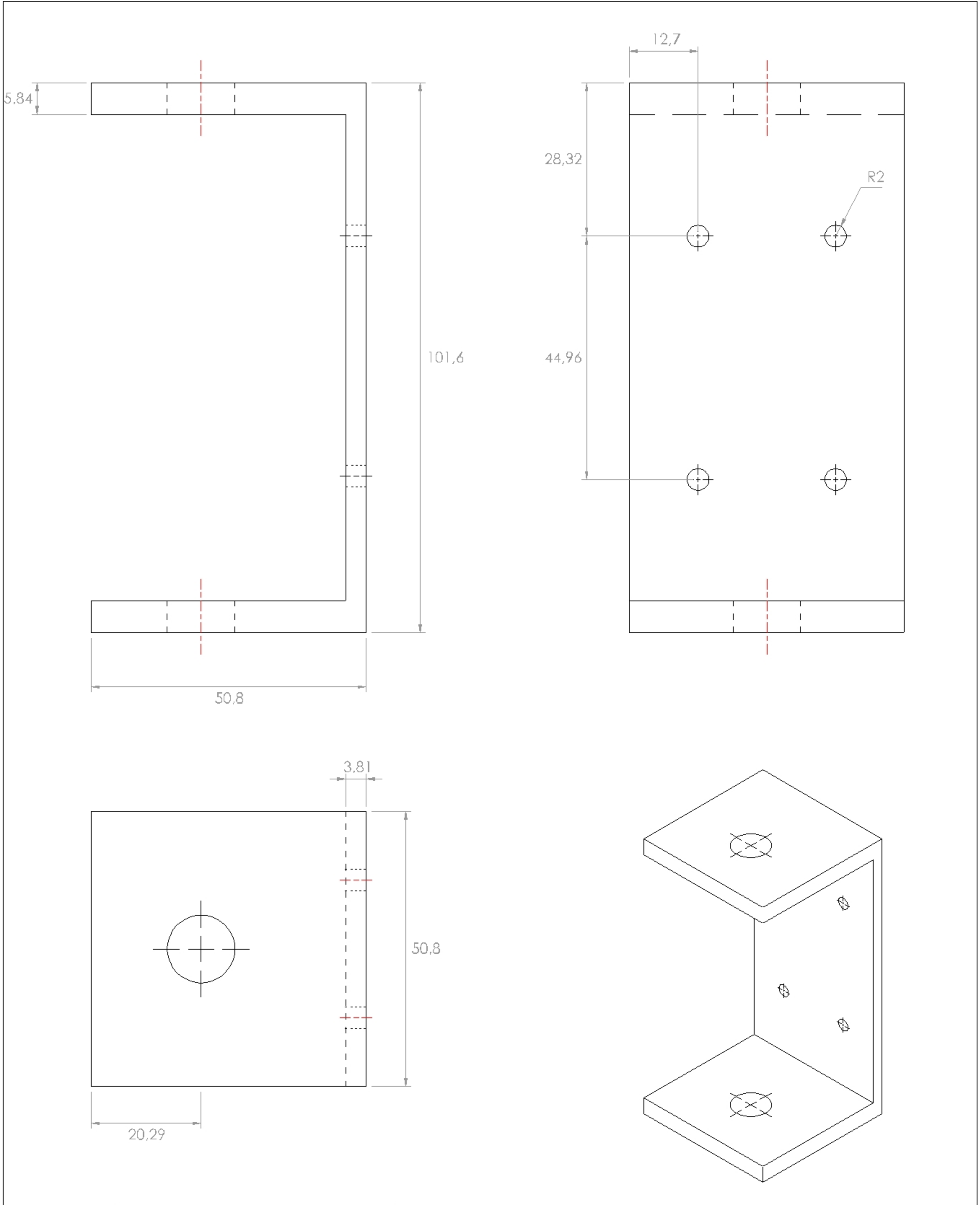




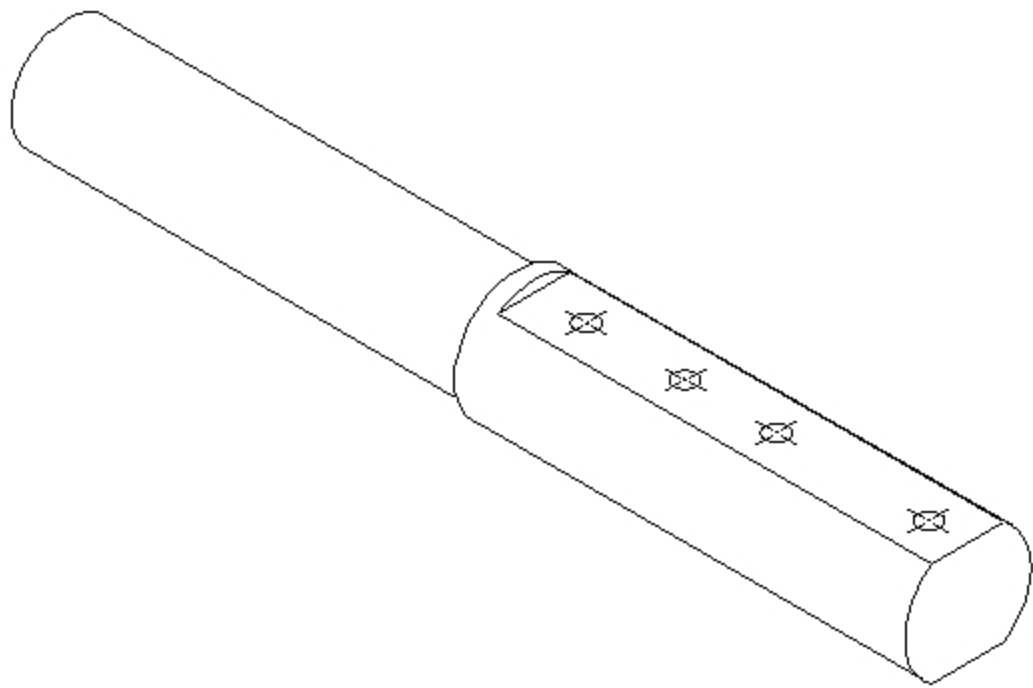
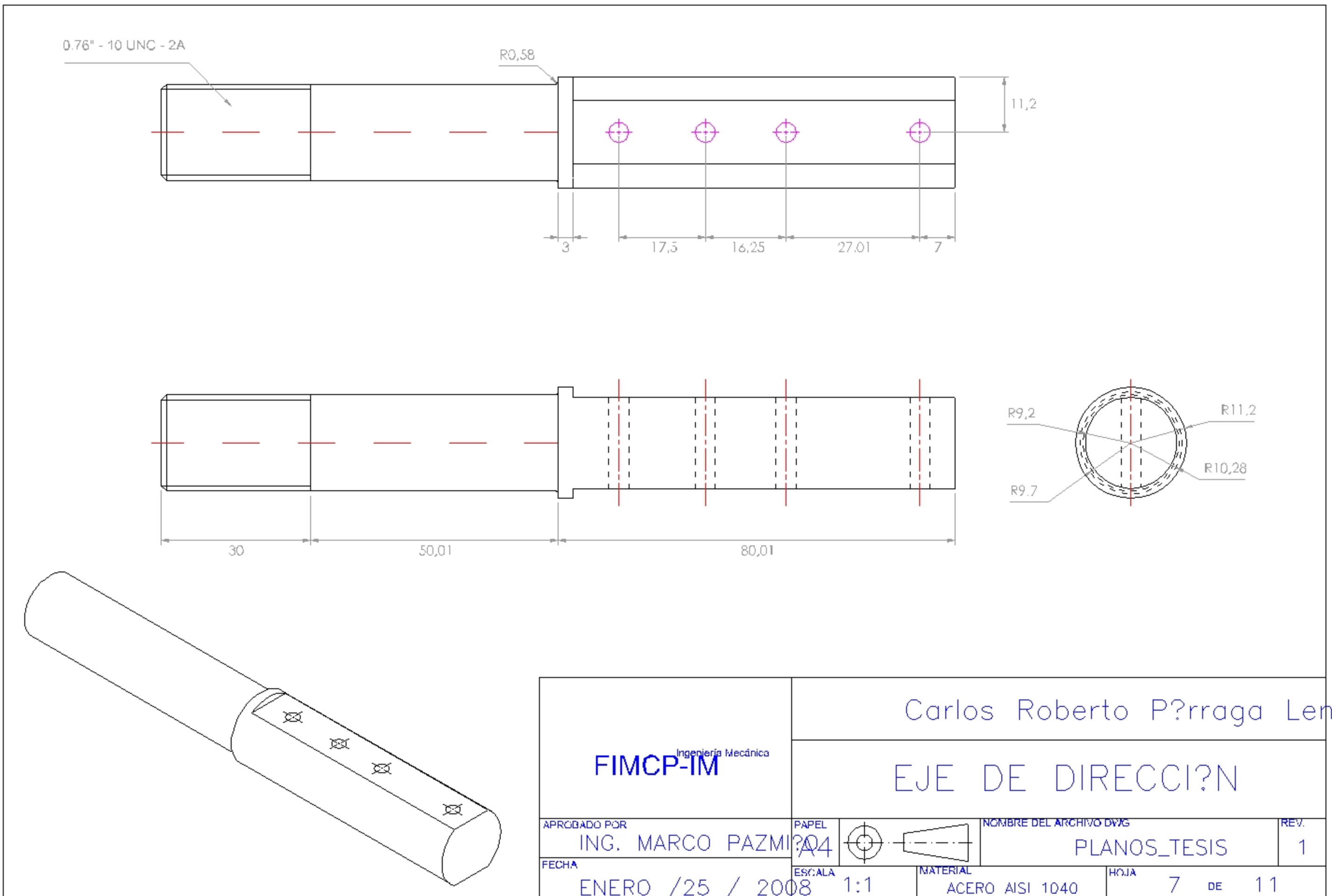
		Carlos Roberto P?rraga Lema		
		BARRA DE DIRECCI?N ELEMENTO 3		
APROBADO POR ING. MARCO PAZMI?A	PAPEL A4		NOMBRE DEL ARCHIVO DWG PLANOS_TESIS	REV. 1
FECHA ENERO / 25 / 2008	ESCALA 2:1	MATERIAL ALUMINIO 6063-T5	HOJA 4 DE 11	




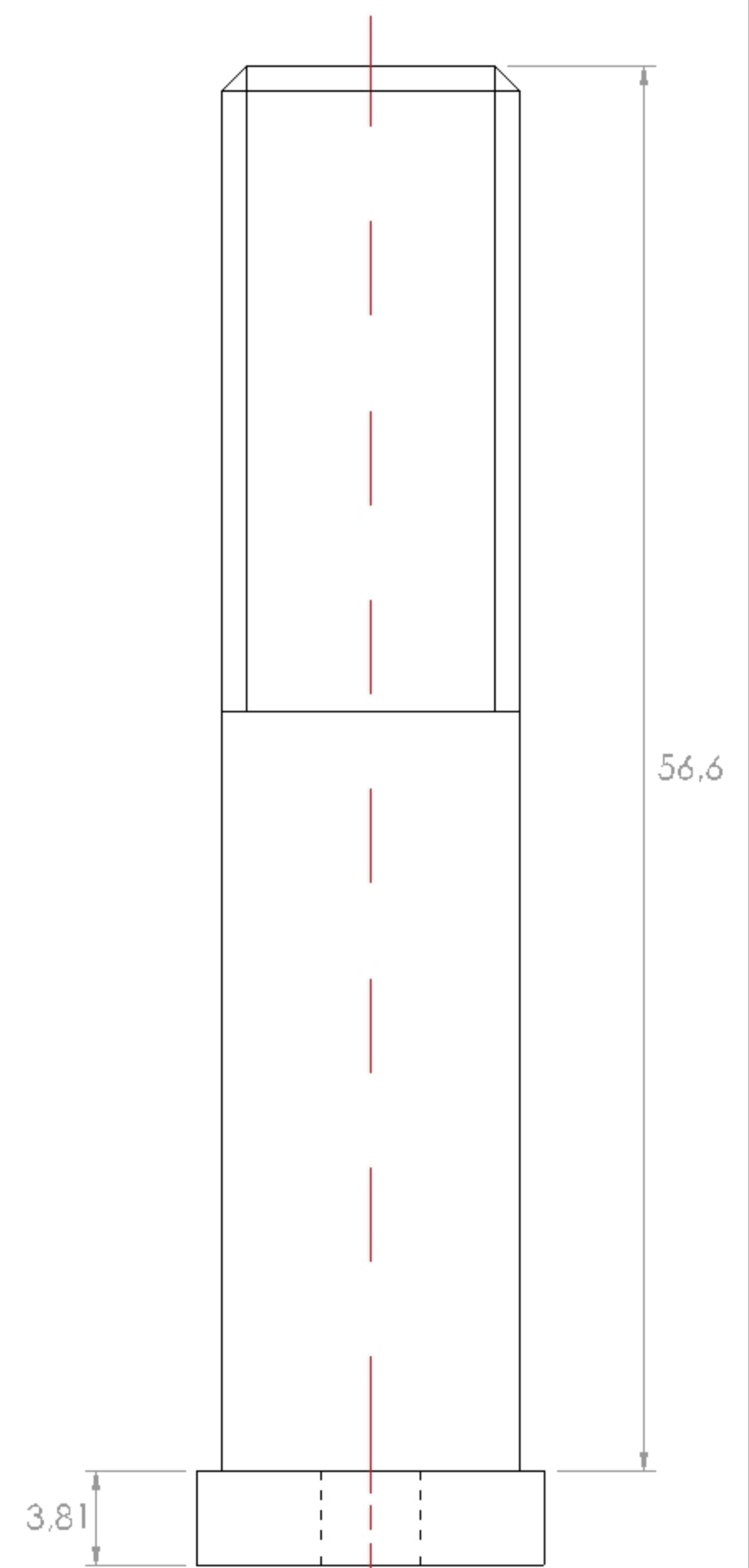
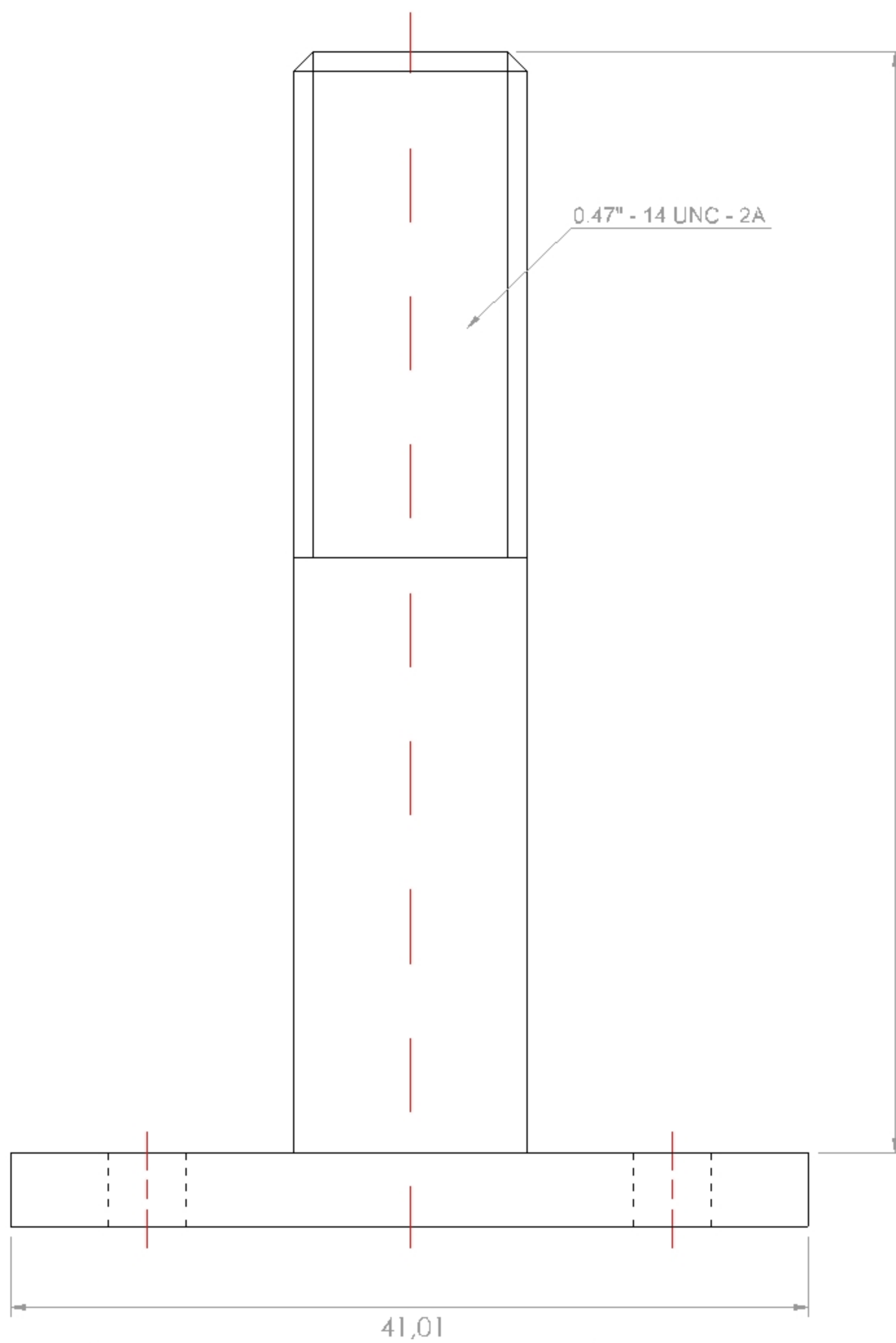
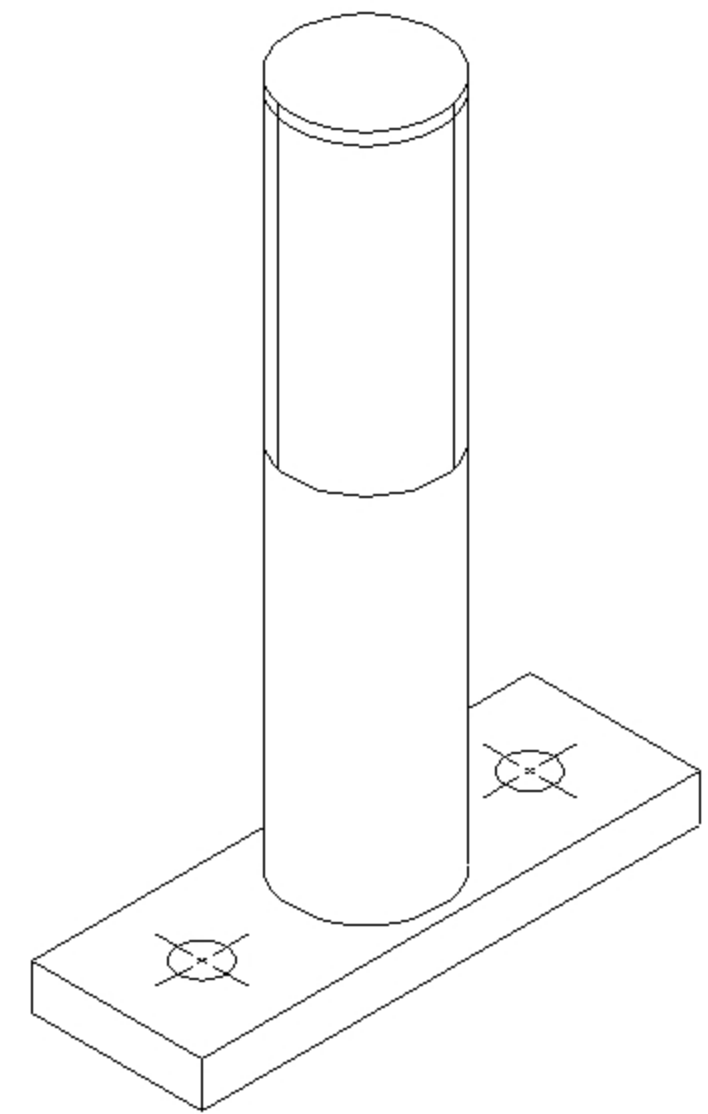
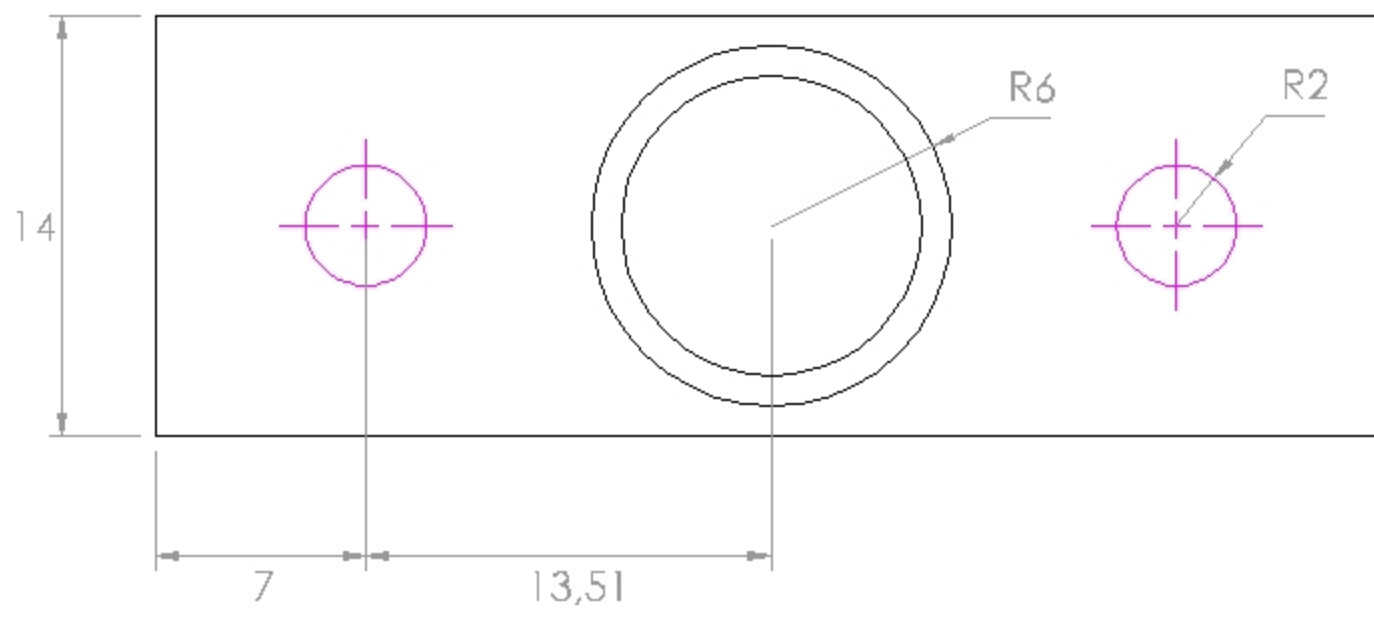
		Carlos Roberto P?rraga Lema		
		BARRA DE DIRECCI?N ELEMENTO 2		
APROBADO POR ING. MARCO PAZMI	PAPEL A4		NOMBRE DEL ARCHIVO DWG PLANOS_TESIS	REV. 1
FECHA ENERO / 25 / 2008	ESCALA 1:1		MATERIAL ALUMINIO 6063-T5	HOJA 5 DE 11



		Carlos Roberto P?rraga Lema			
		COMPLEMENTO DEL SISTEMA DE DIRECCI?N (elemento a)			
APROBADO POR ING. MARCO PAZMI?A	PAPEL A4		MATERIAL ALUMINIO 6063-T5	NOMBRE DEL ARCHIVO DWG PLANOS_TESIS	REV. 1
FECHA ENERO / 25 / 2008	ESCALA 1:1			HOJA 6 DE 11	

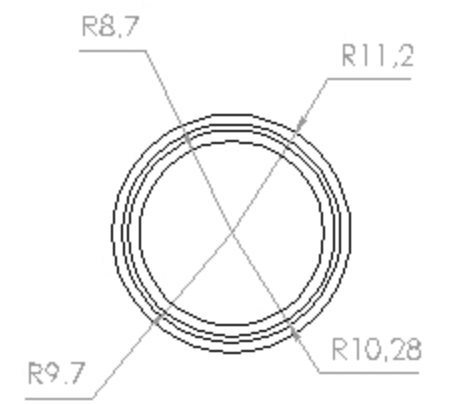
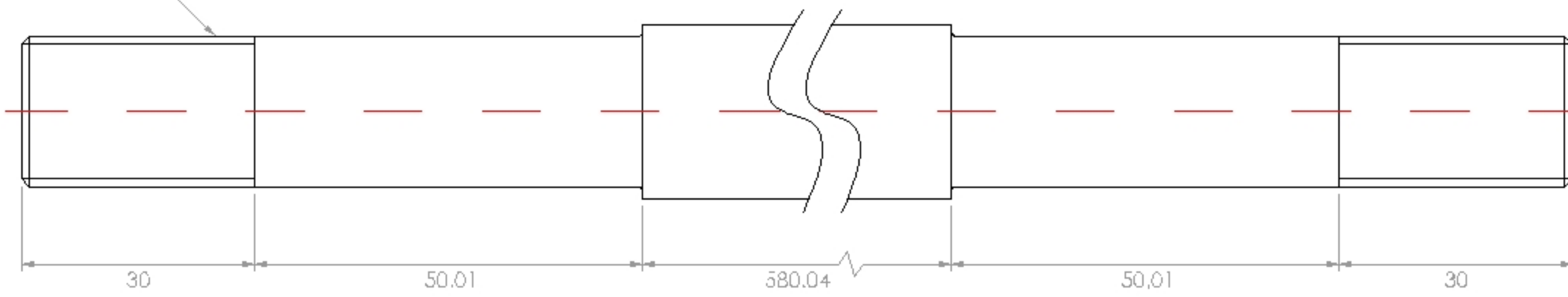


<b>FIMCP-IM</b> <small>Ingeniería Mecánica</small>		Carlos Roberto P?rraga Lema		
		EJE DE DIRECCI?N		
<small>APROBADO POR</small> ING. MARCO PAZMI	<small>PAPEL</small> A4		<small>NOMBRE DEL ARCHIVO DWG</small> PLANOS_TESIS	<small>REV.</small> 1
<small>FECHA</small> ENERO /25 / 2008	<small>ESCALA</small> 1:1	<small>MATERIAL</small> ACERO AISI 1040	<small>HOJA</small> 7 DE 11	

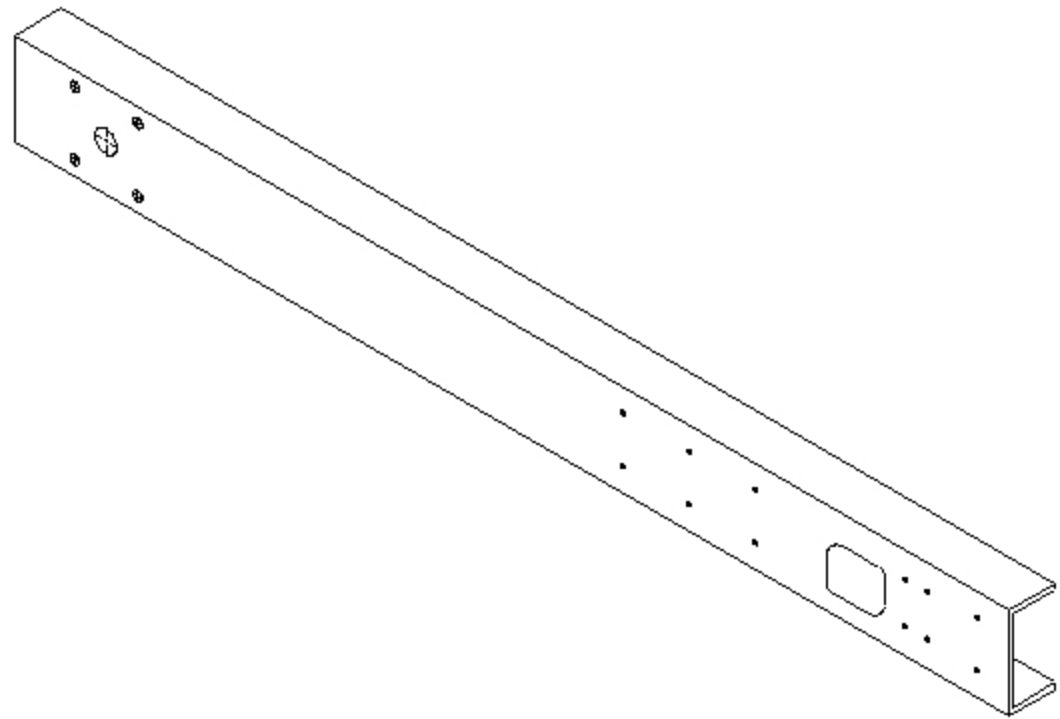
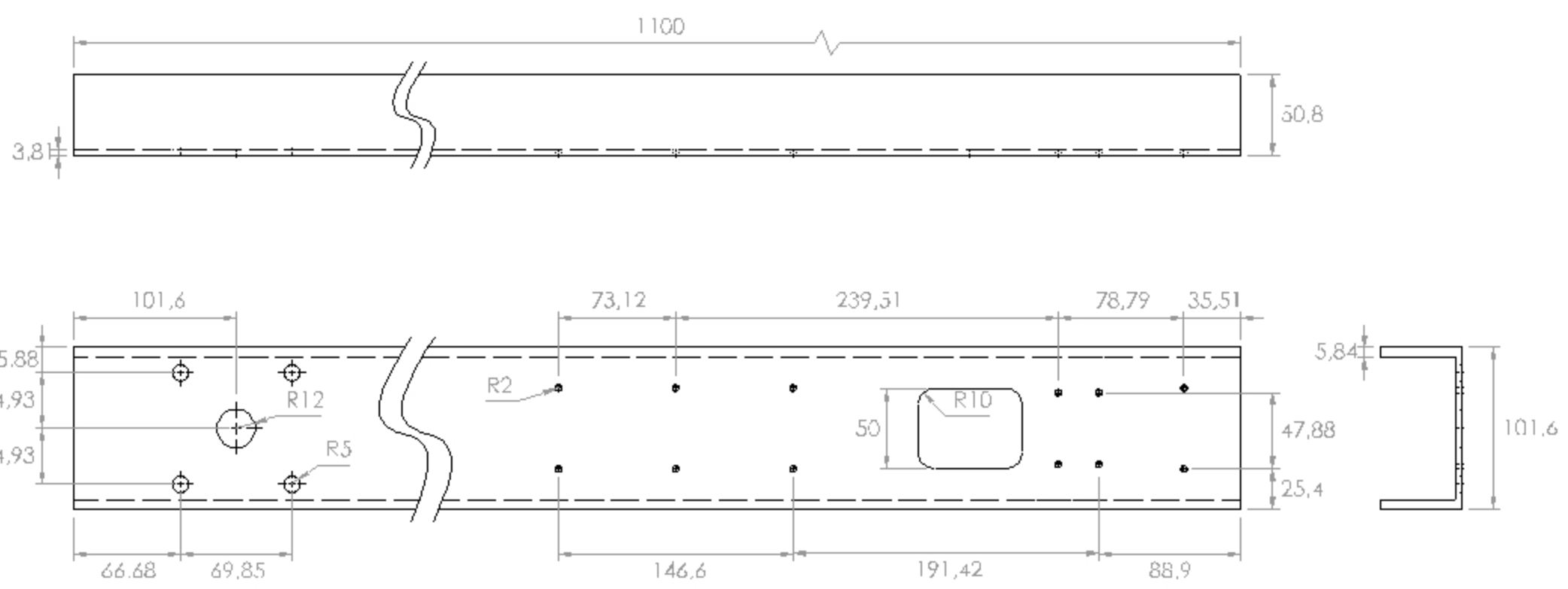


		Carlos Roberto P?rraga Lema		
		COMPLEMENTO DEL SISTEMA DE DIRECCI?N (elemento b)		
APROBADO POR	PAPEL		NOMBRE DEL ARCHIVO DWG	REV.
ING. MARCO PAZMI	A4		PLANOS_TESIS	1
FECHA	ESCALA	MATERIAL	HOJA	
ENERO /25 / 2008	2:1	ALUMINIO 6063-T5	8 DE 11	

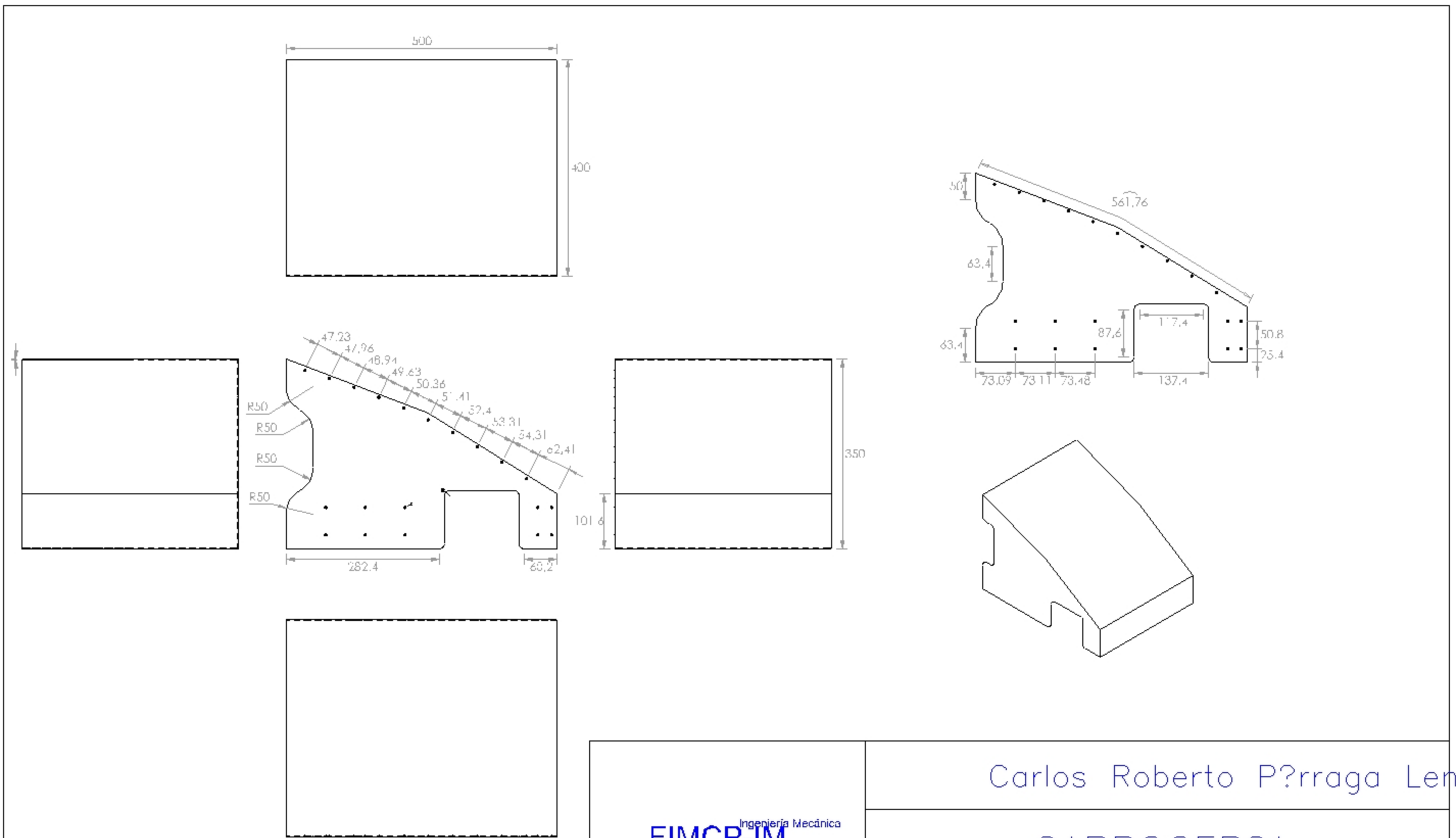
0.76" - 10 UNC - 2A



<b>FIMCP-IM</b> <small>Ingeniería Mecánica</small>	Carlos Roberto P?rraga Lema		
	EJE DE TRANSMISI?N		
APROBADO POR ING. MARCO PAZMI	PAPEL A4	NOMBRE DEL ARCHIVO DWG PLANOS_TESIS	REV. 1
FECHA ENERO /25 / 2008	ESCALA 1:1	MATERIAL ACERO AISI 1040	HOJA 9 DE 11



<b>FIMCP-IM</b> <small>Ingeniería Mecánica</small>		Carlos Roberto P?rraga Lema		
		PERFIL PARA CHASIS		
APROBADO POR	PAPEL		NOMBRE DEL ARCHIVO DWG	REV.
ING. MARCO PAZMI	A4		PLANOS_TESIS	1
FECHA	ESCALA	MATERIAL	HOJA	
ENERO /25 / 2008	1:5	ALUMINIO 6063-T5	10 DE 11	



<b>FIMCP-IM</b> <small>Ingeniería Mecánica</small>		Carlos Roberto P?rraga Lema		
		CARROCER?A		
APROBADO POR	PAPEL		NOMBRE DEL ARCHIVO DWG	REV.
ING. MARCO PAZMI	A4		PLANOS_TESIS	1
FECHA	ESCALA	MATERIAL	HOJA	
ENERO /25 / 2008	1:10	ALUMINIO 6063-T5	11 DE 11	



## **APÉNDICES**

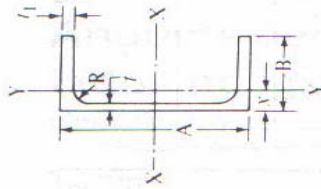
## APÉNDICE A

### PROPIEDADES MECANICAS DE ALGUNAS ALECCIONES DE ALUMINIO

wrought alloys								
Alloy and Temper	Tension				Hardness	Shear	Fatigue	Modulus
	Strength psi		Elongation in 2 inches per cent		Brinell Number 500-kg load 10-mm ball	Shearing Strength psi	Endurance <sup>①</sup> Limit psi	Modulus <sup>②</sup> of Elasticity psi
	Ultimate	Yield	1/8-inch Thick Specimen	1/2-inch Diameter Specimen				
6061-O	18,000	8,000	25	30	30	12,000	9,000	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6061-T4,-T451	35,000	21,000	22	25	65	24,000	13,000	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6061-T6,-T651	45,000 <sup>③</sup>	40,000 <sup>③</sup>	12	17	95	30,000	14,000	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6061-T81	55,000	52,000	..	15	...	32,000	.....	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6061-T91	59,000	57,000	..	12	...	33,000	14,000	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6061-T913	67,000	66,000	..	10	...	35,000	.....	10.0 x 10 <sup>6</sup>
Alclad 6061-O	17,000	7,000	25	..	...	11,000	.....	10.0 x 10 <sup>6</sup> <sup>③</sup>
Alclad 6061-T4,-T451	33,000	19,000	22	..	...	22,000	.....	10.0 x 10 <sup>6</sup> <sup>③</sup>
Alclad 6061-T6,-T651	42,000	37,000	12	..	...	27,000	.....	10.0 x 10 <sup>6</sup> <sup>③</sup>
6062-O	18,000	8,000	..	30	30	12,000	9,000	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6062-T4,-T451	35,000	21,000	..	25	65	24,000	14,000	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6062-T6,-T651	45,000	40,000	..	17	95	30,000	14,000	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6063-O	13,000	7,000	..	..	25	10,000	8,000	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6063-T4	25,000	13,000	22	..	...	16,000	.....	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6063-T42	22,000	13,000	20	33	48	14,000	10,000	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6063-T5	27,000	21,000	12	22	60	17,000	10,000	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6063-T6	35,000	31,000	12	18	74	22,000	10,000	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6063-T83	37,000	35,000	9	..	80	22,000	.....	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6063-T831	30,000	27,000	10	..	67	18,000	.....	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6063-T832	42,000	39,000	12	..	90	27,000	.....	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6063-T835	48,000	43,000	8	..	105	30,000	.....	10.0 x 10 <sup>6</sup>
6151-T6	48,000	43,000	..	17	100	32,000	12,000	10.2 x 10 <sup>6</sup>

## APÉNDICE B

### PERFILES ESTANDAR, DIMENSIONES AREAS, PESOS Y PROPIEDADES DE SECCION



**Perfiles estándar,  
dimensiones áreas, pesos y propiedades de sección**

Tamaño		Propiedades de la sección ③										
Profundidad A pulg.	Espesor o ancho B pulg.	Peso ② lb/pie	Espesor del rebordo t <sub>1</sub> pulg.	Espesor del alma t <sub>2</sub> pulg.	Radio del chafilón R pulg.	Eje X-X			Eje Y-Y			
						I pulg <sup>4</sup>	Z pulg <sup>3</sup>	r pulg.	I pulg <sup>4</sup>	Z pulg <sup>3</sup>	r pulg.	x pulg.
2.00	1.00	0.491	0.13	0.13	0.10	0.288	0.288	0.766	0.045	0.064	0.303	0.298
2.00	1.25	0.911	0.26	0.17	0.15	0.546	0.546	0.774	0.139	0.178	0.391	0.471
3.00	1.50	0.965	0.20	0.13	0.25	1.41	0.94	1.21	0.22	0.22	0.47	0.49
3.00	1.75	1.358	0.26	0.17	0.25	1.97	1.31	1.20	0.42	0.37	0.55	0.62
4.00	2.00	1.478	0.23	0.15	0.25	3.91	1.95	1.63	0.60	0.45	0.64	0.65
4.00	2.25	1.982	0.29	0.19	0.25	5.21	2.60	1.62	1.02	0.69	0.72	0.78
5.00	2.25	1.881	0.26	0.15	0.30	7.88	3.15	2.05	0.98	0.64	0.72	0.73
5.00	2.75	2.627	0.32	0.19	0.30	11.14	4.45	2.06	2.05	1.14	0.88	0.95
6.00	2.50	2.410	0.29	0.17	0.30	14.35	4.78	2.44	1.53	0.90	0.80	0.79
6.00	3.25	3.427	0.35	0.21	0.30	21.04	7.01	2.48	3.76	1.76	1.05	1.12
7.00	2.75	2.725	0.29	0.17	0.30	22.09	6.31	2.85	2.10	1.10	0.88	0.84
7.00	3.50	4.009	0.38	0.21	0.30	33.79	9.65	2.90	5.13	2.23	1.13	1.20
8.00	3.00	3.526	0.35	0.19	0.30	37.40	9.35	3.26	3.25	1.57	0.96	0.93
8.00	3.75	4.923	0.41	0.25	0.35	52.69	13.17	3.27	7.13	2.82	1.20	1.22
9.00	3.25	4.237	0.35	0.23	0.35	54.41	12.09	3.58	4.40	1.89	1.02	0.93
9.00	4.00	5.927	0.44	0.29	0.35	78.31	17.40	3.63	9.61	3.49	1.27	1.25
10.00	3.50	5.218	0.41	0.25	0.35	83.22	16.64	3.99	6.33	2.56	1.10	1.02
10.00	4.25	7.109	0.50	0.31	0.40	116.15	23.23	4.04	13.02	4.47	1.35	1.34
12.00	4.00	7.036	0.47	0.29	0.40	159.76	26.63	4.77	11.03	3.86	1.25	1.14
12.00	5.00	10.053	0.62	0.35	0.45	239.69	39.95	4.88	25.74	7.60	1.60	1.61

Fuente: *Aluminum Standards and Data*, 5a edición (Nueva York, N.Y.: The Aluminum Association, © 1976) p. 180.

## APÉNDICE C

### CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES MECÁNICAS A LA TENSION DE ALGUNOS ACEROS ROLADOS EN CALIENTE (HR) Y ESTIRADOS EN FRIO (CD)

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS NÚM.	SAE Y/O AISI NO.	PROCESA- MIENTO	RESISTENCIA ÚLTIMA, MPa (kpsi)	RESISTENCIA DE FLUENCIA MPa (kpsi)	ELONGACIÓN EN 2 in, %	REDUCCIÓN EN ÁREA %	DUREZA BRINELL
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

## APÉNDICE D

### PROPIEDADES TERMOFÍSICAS DEL AIRE

**TABLA A.4** Propiedades termofísicas de gases a presión atmosférica<sup>a</sup>

$T$ (K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$c_p$ (kJ/kg · K)	$\mu \cdot 10^7$ (N · s/m <sup>2</sup> )	$\nu \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$k \cdot 10^3$ (W/m · K)	$\alpha \cdot 10^6$ (m <sup>2</sup> /s)	$Pr$
<b>Aire</b>							
100	3.5562	1.032	71.1	2.00	9.34	2.54	0.786
150	2.3364	1.012	103.4	4.426	13.8	5.84	0.758
200	1.7458	1.007	132.5	7.590	18.1	10.3	0.737
250	1.3947	1.006	159.6	11.44	22.3	15.9	0.720
300	1.1614	1.007	184.6	15.89	26.3	22.5	0.707
350	0.9950	1.009	208.2	20.92	30.0	29.9	0.700
400	0.8711	1.014	230.1	26.41	33.8	38.3	0.690
450	0.7740	1.021	250.7	32.39	37.3	47.2	0.686
500	0.6964	1.030	270.1	38.79	40.7	56.7	0.684
550	0.6329	1.040	288.4	45.57	43.9	66.7	0.683
600	0.5804	1.051	305.8	52.69	46.9	76.9	0.685
650	0.5356	1.063	322.5	60.21	49.7	87.3	0.690
700	0.4975	1.075	338.8	68.10	52.4	98.0	0.695
750	0.4643	1.087	354.6	76.37	54.9	109	0.702
800	0.4354	1.099	369.8	84.93	57.3	120	0.709
850	0.4097	1.110	384.3	93.80	59.6	131	0.716
900	0.3868	1.121	398.1	102.9	62.0	143	0.720
950	0.3666	1.131	411.3	112.2	64.3	155	0.723
1000	0.3482	1.141	424.4	121.9	66.7	168	0.726
1100	0.3166	1.159	449.0	141.8	71.5	195	0.728
1200	0.2902	1.175	473.0	162.9	76.3	224	0.728
1300	0.2679	1.189	496.0	185.1	82	238	0.719
1400	0.2488	1.207	530	213	91	303	0.703
1500	0.2322	1.230	557	240	100	350	0.685
1600	0.2177	1.248	584	268	106	390	0.688
1700	0.2049	1.267	611	298	113	435	0.685
1800	0.1935	1.286	637	329	120	482	0.683
1900	0.1833	1.307	663	362	128	534	0.677
2000	0.1741	1.337	689	396	137	589	0.672
2100	0.1658	1.372	715	431	147	646	0.667
2200	0.1582	1.417	740	468	160	714	0.655
2300	0.1513	1.478	766	506	175	783	0.647
2400	0.1448	1.558	792	547	196	869	0.630
2500	0.1389	1.665	818	589	222	960	0.613
3000	0.1135	2.726	955	841	486	1570	0.536
<b>Amoniaco (NH<sub>3</sub>)</b>							
300	0.6894	2.158	101.5	14.7	24.7	16.6	0.887
320	0.6448	2.170	109	16.9	27.2	19.4	0.870
340	0.6059	2.192	116.5	19.2	29.3	22.1	0.872
360	0.5716	2.221	124	21.7	31.6	24.9	0.872
380	0.5410	2.254	131	24.2	34.0	27.9	0.869



## APENDICE F

### CODIFICACIÓN EN C++ DEL DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA DE NAVEGACIÓN DEL ROBOT

```
#include <stdio.h>
#include <conio.h>
#include <unistd.h>
#include <time.h>
#include <optimus.h> // Prototipos y estructuras de datos de liboptimus_api.a

int main (int argc, char *argv [])
{
    t_status_vector sv;
    int distance_front;
    int distance_left;
    int distance_right;
    #define motor2 2;
    #define left 1;
    #define right 2;

    // Conexión.
    if (connect(argv[1]) < 0) {
        printf("Optimus! (>esta encendido?)\n");
    }else{
        exit(-1)
    }
    // OK.
    printf("Conectado con Optimus.\n");

    // Lectura del estado de Optimus.
    read_status (&sv);
}
```



```

set_vel_m1 (0.10, 76.9); /* Fija Velocidad inicial del motor 2 */
set_time (000000); /* Inicializa Reloj Interno */

while (get_time (&sv) <= 15) /* Condición */
{
    set_posee (0, 0, 0); /* Inicializa Valores de X, Y, • */
    distance_front = get_distance_sensor_front (&sv);
    distance_left = get_distance_sensor_left (&sv);
    distance_right = get_distance_sensor_right (&sv);

    if (distance_front <= 60 ) {
        if (distance_right < distance_left ) {
            set_vel_m2 (0.5, 367.2); /* Fija Vel. motor 2 */
            motor_set_dir (motor2, left); /* Gira motor 2 Izq. */
            stop_m2 (); /* Apago motor 2 */
            /*Comprobamos hasta que alcance ángulo de inclinación deseado*/
            while (get_pos_th (&sv) < 45) {
            }
            set_vel_m2 (0.5, 367.2); /* Fija Vel. motor 2 */
            motor_set_dir (motor2, right); /* Gira motor 2 Der. */
            stop_m2 (); /* Apago motor 2 */
        }
        else {
            set_vel_m2 (0.5, 367.2); /* Fija Vel. motor 2 */
            motor_set_dir (motor2, right); /* Gira motor 2 Der. */
            stop_m2 (); /* Apago motor 2 */
            /*Comprobamos hasta que alcance ángulo de inclinación deseado*/
            while (get_pos_th (&sv) < 45) {
            }
            set_vel_m2 (0.5, 367.2); /* Fija Vel. motor 2 */
            motor_set_dir (motor2, left); /* Gira motor 2 Izq. */
            stop_m2 (); /* Apago motor 2 */
        }
        else {
            continue;
        }
    } /* Fin del if */
} /* Fin del while */

// Apago motor 1.
stop_m1 ();

// desconexión.
disconnect();

}

```



## **BIBLIOGRAFÍA**

1. ANDRADE ALBAN JULIO ALBERTO, "Diseño de un Succionador de Granos" (Tesis, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1986)
2. INCROPERA FRANK / DE WITT DAVID, Fundamentos de Transferencia de Calor, Editorial Prentice Hall, México 1999
3. MATAIX CLAUDIO, Mecánica de Fluidos y Máquinas Hidráulicas, Editorial Harla, 2ª Edición, Madrid-España 1982
4. MOTT ROBERT, Diseño de Elementos de Máquinas, Editorial Prentice Hall, 2ª Edición, Naucalpan Juárez-México 1995
5. WOODS, Guía Práctica de Ventilación, Editorial Blume, Barcelona-España 1970
6. <http://www.uni-oldenburg.de/>
7. [www.razor.com](http://www.razor.com)

8. [http://optimus.meleeisland.net/links/01\\_memoria.html](http://optimus.meleeisland.net/links/01_memoria.html)

9. [www.superrobotica.com](http://www.superrobotica.com)

10. <http://www.monografias.com>

11. <http://www.solomantenimiento.com>

12. <http://www.elprisma.com>