



REPÚBLICA DEL ECUADOR

Escuela Politécnica Nacional

" E SCIENTIA HOMINIS SALUS "

La versión digital de esta tesis está protegida por la Ley de Derechos de Autor del Ecuador.

Los derechos de autor han sido entregados a la "ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL" bajo el libre consentimiento del (los) autor(es).

Al consultar esta tesis deberá acatar con las disposiciones de la Ley y las siguientes condiciones de uso:

- Cualquier uso que haga de estos documentos o imágenes deben ser sólo para efectos de investigación o estudio académico, y usted no puede ponerlos a disposición de otra persona.
- Usted deberá reconocer el derecho del autor a ser identificado y citado como el autor de esta tesis.
- No se podrá obtener ningún beneficio comercial y las obras derivadas tienen que estar bajo los mismos términos de licencia que el trabajo original.

El Libre Acceso a la información, promueve el reconocimiento de la originalidad de las ideas de los demás, respetando las normas de presentación y de citación de autores con el fin de no incurrir en actos ilegítimos de copiar y hacer pasar como propias las creaciones de terceras personas.

***Respeto hacia sí mismo y hacia los demás.***

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

## **FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA**

### **CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO DE UN TAXÍMETRO DIGITAL CON IMPRESORA FACTURADORA UTILIZANDO TECNOLOGIA GPS Y EL DESARROLLO DE UN FIRMWARE EN UN MICROCONTROLADOR**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO EN  
ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**MIGUEL ANTONIO CUASAPAZ CHAMORRO**  
[cuasapaz@hotmail.com](mailto:cuasapaz@hotmail.com)

**DIRECTOR: ING. LUIS RICARDO TORRES GARCÍA**  
[lrtorres@gmail.com](mailto:lrtorres@gmail.com)

**CODIRECTORA: M.Sc. MARIA SOLEDAD JIMÉNEZ JIMÉNEZ**  
[maria.jimenez@epn.edu.ec](mailto:maria.jimenez@epn.edu.ec)

**Quito, abril 2013**

## DECLARACIÓN

Yo, Miguel Antonio Cuasapaz Chamorro declaro bajo juramento que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

A través de la presente declaración cedo mis derechos de propiedad intelectual correspondiente a este trabajo, a la Escuela Politécnica Nacional, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Miguel Antonio Cuasapaz Chamorro

## **CERTIFICACIÓN**

Certificamos que el presente trabajo fue desarrollado por Miguel Antonio Cuasapaz Chamorro, bajo nuestra supervisión.

**Ing. Luis Torres**  
DIRECTOR DEL PROYECTO

**M.Sc. Soledad Jiménez**  
CODIRECTORA DEL PROYECTO

## AGRADECIMIENTO

A Dios, quien como Supremo Ser me dio la vida, salud y entereza que me permitió estudiar.

A la Escuela Politécnica Nacional, por abrir sus puertas al saber, brindándome la ciencia y el conocimiento para superar mis metas y servir a los demás.

A todos mis maestros, en especial a los Ingenieros:

MARÍA SOLEDAD JIMÉNEZ

LUIS TORRES

Y

PABLO SALINAS (+)

asesores de esta tesis, por sus valiosas sugerencias que me permitieron culminar el presente trabajo.

A mis padres, quienes infundieron la ética y el rigor que guían mi transitar por la vida, por darme la estabilidad emocional, económica, sentimental; para poder llegar hasta este logro, que definitivamente no hubiese podido ser realidad sin ustedes.

A todos, ¡Muchas gracias!

## DEDICATORIA

A mi madre María a mi padre Antonio a mis hermanos Sergio, Marco, Norma, Cristina, gracias a ellos hicieron de mí, una persona capaz y responsable.

A mi ex jefe, ex asesor y amigo Ingeniero Pablo Salinas, que Dios ha decidido tenerlo a su lado y que ha sido mi inspiración.

A mi asesores Master Soledad Jiménez e Ingeniero Luis Torres, quienes admiro y respeto mucho, que me han aconsejado debidamente en el desarrollo de mi Tesis.

A mi novia Tania Rodríguez quien ha sido apoyo, y que con su cariño ha renovado en mí, nuevas fuerzas para continuar y mejorar en la Vida.

A todos mis Compañeros con quienes compartí sincera camaradería en el transcurso de mi carrera, Juan Francisco Cabrera, Patricia Aguilar, Angélica Oña, Jorge Suasnavas, Oscar Malataxí, David Echeverría, Gabriel Martínez, Pablo Gallardo, Juan Yépez, Pablo Molina, Leonel Holguín, Paul Mayorga y Verito Buitrón.

Y a todos los que han pedido a Dios por mí y mi familia, esperando que culmine con éxito mi carrera.

A ustedes muchísimas gracias.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>CARATULA .....</b>	<b>i</b>
<b>DECLARACIÓN .....</b>	<b>ii</b>
<b>CERTIFICACIÓN .....</b>	<b>iii</b>
<b>AGRADECIMIENTO .....</b>	<b>iv</b>
<b>DEDICATORIA .....</b>	<b>v</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS .....</b>	<b>vi</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS .....</b>	<b>xi</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS.....</b>	<b>xvi</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>xvii</b>
<b>PRESENTACIÓN.....</b>	<b>xix</b>
<b>1    NORMATIVA VIGENTE Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS.....</b>	<b>1</b>
1.1    INTRODUCCIÓN .....	1
1.2    DEFINICIONES Y RESEÑA HISTÓRICA DEL TAXÍMETRO <sup>[1]</sup> .....	1
1.2.1    CARACTERÍSTICAS Y ACCESORIOS DE UN TAXÍMETRO <sup>[2]</sup> .....	3
1.2.2    FUNCIONAMIENTO <sup>[2]</sup> .....	4
1.2.3    MODELO DE TARIFA <sup>[2]</sup> .....	5
1.2.4    MEDICIÓN DE DISTANCIA <sup>[2]</sup> .....	8
1.2.5    TIPOS DE FRAUDES <sup>[2]</sup> .....	8
1.3    NORMATIVA VIGENTE <sup>[4], [5], [6]</sup> .....	10
1.3.1    INEN <sup>[5]</sup> .....	10
1.3.2    CNTTTSV <sup>[6]</sup> .....	21
1.3.3    EL SRI <sup>[4]</sup> .....	22
1.4    CATEGORIZACIÓN DE TAXIS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO <sup>[29]</sup> .....	25
1.5    FUNDAMENTOS TEÓRICOS <sup>[3], [11], [15]</sup> .....	28
1.5.1    INTRODUCCIÓN AL GPS <sup>[3]</sup> .....	28
1.5.2    COMUNICACIÓN SERIAL RS232 <sup>[15]</sup> .....	55
1.5.3    MICROCONTROLADOR AVR ATEMGA324P <sup>[11]</sup> .....	60

<b>2</b>	<b>DISEÑO DEL PROTOTIPO</b> .....	<b>65</b>
2.1	INTRODUCCIÓN .....	65
2.2	DISEÑO DEL HARDWARE DEL TAXÍMETRO <sup>[11]</sup> .....	67
2.2.1	DESCRIPCIÓN DE LOS PUERTOS USADOS DEL MICROCONTROLADOR.....	67
2.2.2	SELECCIÓN DEL MÓDULO GPS <sup>[17]</sup> .....	69
2.2.3	SELECCIÓN DE LA PANTALLA LCD <sup>[13]</sup> .....	75
2.2.4	DESCRIPCIÓN DE LA COMUNICACIÓN SERIAL EN LA PLACA ..	81
2.2.5	SELECCIÓN DE LA IMPRESORA .....	83
2.2.6	DISEÑO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN.....	84
2.3	DISEÑO FIRMWARE DEL TAXÍMETRO .....	87
2.3.1	ESTADOS DEL SERVICIO .....	87
2.3.2	INICIO DEL PROGRAMA.....	95
2.3.3	RECEPCIÓN DE TRAMAS VÁLIDAS .....	96
2.3.4	ESTADOS LIBRE, OCUPADO E IMPRIMIR .....	97
2.3.5	CÁLCULOS DE DISTANCIA Y TIEMPO PARA LA VELOCIDAD DE CAMBIO.....	100
2.3.6	FÓRMULA DEL CÁLCULO DEL COSTO DEL SERVICIO DE LA CARRERA .....	103
<b>3</b>	<b>CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO</b> .....	<b>106</b>
3.1	INTRODUCCIÓN .....	106
3.2	HERRAMIENTA DE DESARROLLO – PROTEUS <sup>[23]</sup> .....	107
3.2.1	DIAGRAMA ESQUEMÁTICO <sup>[23]</sup> .....	107
3.2.2	SIMULACIÓN CON VSM <sup>[23]</sup> .....	114
3.2.3	ELABORACION DE TARJETA ELECTRÓNICA EN LA HERRAMIENTA ARES DE PROTEUS <sup>[24]</sup> .....	119
3.3	ELABORACIÓN DE LA PLACA FÍSICA <sup>[25]</sup> .....	129
3.3.1	CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS .....	129
3.3.2	MONTAJE DE ELEMENTOS SMD Y USO CORRECTO DEL CAUTÍN <sup>[27]</sup> .....	131
3.3.3	ELABORACIÓN DE PLACA DEFINITIVA .....	134
3.4	UTILIZACIÓN DE LOS PINES DEL MICROCONTROLADOR .....	136

3.4.1	PINES DEL RTC (RELOJ EN TIEMPO REAL) INTERNO.....	136
3.4.2	PUERTO B PARA EL LCD .....	136
3.4.3	PINES CONFIGURADOS COMO ENTRADAS PARA LOS BOTONES .....	137
3.4.4	PINES CONFIGURADOS COMO SALIDAS PARA LED's Y BUZZER .....	137
3.4.5	PINES DE COMUNICACIÓN SERIAL.....	137
3.5	DISTRIBUCIÓN Y FUNCIÓN DE LOS ELEMENTOS DENTRO DEL PROTOTIPO.....	138
3.5.1	POSICIÓN DE LOS BOTONES Y DEL BUZZER .....	138
3.5.2	POSICIÓN DE LA PANTALLA Y DE LOS LED's INDICADORES .	138
3.5.3	INDICACIONES DE USO DE LOS BOTONES Y LEDS INDICADORES.....	139
3.5.4	CONECTOR DE ENERGÍA PARA PRUEBAS .....	139
3.5.5	CIRCUITO DE COMUNICACIÓN RS232 .....	140
3.5.6	CAMBIO DE COMUNICACIÓN SIMPLEX A FULL DUPLEX .....	141
3.5.7	CIRCUITO DE RESET Y TIEMPO DE ENGANCHE DEL RECEPTOR GPS .....	141
3.5.8	BUS PARA EL PROGRAMADOR ISP.....	142
3.6	PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR.....	142
3.6.1	USO DE LA HERRAMIENTA PROGISP PARA TRANSFERIR EL ARCHIVO HEXADECIMAL AL MICROCONTROLADOR.....	142
3.6.2	BLOQUEO DEL CHIP Y ACTIVACIÓN PARA EL AHORRO DE ENERGÍA.....	143
3.7	CARACTERÍSTICAS DE LA IMPRESORA Y SU COMUNICACIÓN ....	143
3.7.1	CARACTERÍSTICAS DEL CONECTOR.....	145
3.7.2	FORMATO DE IMPRESIÓN DE LA FACTURA.....	146
3.8	CRITERIOS DE INSTALACIÓN .....	147
3.8.1	BATERÍA DE RESPALDO .....	147
3.8.2	DIMENSIONES DE LA CAJA .....	147
3.8.3	FORMA DE INSTALACIÓN EN UN AUTOMOTOR.....	148

<b>4</b>	<b>PRUEBAS DEL PROTOTIPO .....</b>	<b>149</b>
4.1	INTRODUCCIÓN .....	149
4.2	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN CON EL COMPUTADOR.....	149
4.2.1	PRUEBAS DE INGRESO CLAVE DE SEGURIDAD .....	149
4.2.2	INGRESO DE COSTOS TARIFARIOS VIGENTES.....	151
4.3	PRUEBAS DE DATOS VÁLIDOS DEL MÓDULO GPS .....	152
4.4	PRUEBAS de NAVEGACIÓN POR EL MENÚ DEL SISTEMA .....	153
4.4.1	ESTADO LIBRE.....	153
4.4.2	ESTADO OCUPADO.....	153
4.4.3	ESTADO IMPRIMIR .....	154
4.5	PRUEBAS DEL PROTOTIPO EN EL AUTOMOTOR.....	155
4.5.1	PRUEBAS DE VELOCIDAD .....	155
4.6	PRUEBAS DE DISTANCIA DEI RECORRIDO .....	156
4.6.1	PRUEBAS DE TIEMPO DE ESPERA .....	158
4.6.2	PRUEBAS DE VELOCIDAD DE CAMBIO.....	158
4.6.3	COSTO DE LA CARRERA CON TAXÍMETRO HOMOLOGADO Y CON EL PROTOTIPO .....	161
4.7	PRUEBAS CON LA IMPRESORA .....	164
4.7.1	PRUEBAS DE COMUNICACIÓN CON LA IMPRESORA .....	164
4.7.2	PRUEBAS DE IMPRESIÓN .....	164
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>166</b>
5.1	CONCLUSIONES.....	166
5.2	RECOMENDACIONES .....	168
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>170</b>

## **ANEXOS**

### ***ANEXO 1: DOCUMENTACIÓN DE NORMATIVA SOBRE TAXIMETROS***

*ANEXO 1.1: PROCEDIMIENTO PARA OBTENER DEL INEN EL CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE MODELO DE TAXÍMETROS*

*ANEXO 1.2: REGULACIÓN RG34*

*ANEXO 1.3: REGULACIÓN RG43*

*ANEXO 1.4: SECCIÓN 5.54 SOBRE TAXÍMETROS DEL HANDBOOK 44-2011*

*ANEXO 1.5: RECOMENDACIÓN SOBRE TAXÍMETROS DE LA ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE METROLOGÍA INTERNACIONAL, OIML R 21 – 2007*

*ANEXO 1.6: NORMATIVA ESTADOUNIDENSE PARA TAXÍMETROS*

*ANEXO 1.7: RESOLUCIÓN DE TARIFAS, RESOLUCIÓN N° 001-DIR-2003-CNTTTSV, EMITIDO POR EL CONSEJO NACIONAL DE TRANSITO, TRANSPORTE TERRESTRE Y SEGURIDAD VIAL*

*ANEXO 1.8: DOCUMENTO NO OFICIAL SOBRE TAXÍMETROS EMITIDO POR EL SRI, ORGANISMO FISCAL DE SERVICIO DE RENTAS INTERNAS DEL ECUADOR*

*ANEXO 1.9: ORDENANZA METROPOLITANA 0047*

***ANEXO 2: CARACTERÍSTICAS DE ELEMENTOS UTILIZADO EN EL PROTOTIPO***

*ANEXO 2.1: SUMMARY DATASHEET ATMEGA324P*

*ANEXO 2.2: CARACTERÍSTICAS DE MÓDULO GPS*

*ANEXO 2.3: CARACTERÍSTICAS DEL INTEGRADO MAX232*

*ANEXO 2.4: CARACTERÍSTICAS DE LA MINI-IMPRESORA A2*

*ANEXO 2.5: MANUAL DE USUARIO DE LA MINI-IMPRESORA A2*

*ANEXO 2.6: DATASHEET DE LA FUENTE SWITCHING MC33063A*

*ANEXO 2.7: CÓDIGO FUENTE DEL FIRMWARE DESARROLLADO*

***ANEXO 3: HERRAMIENTAS DE DISEÑO DE LA TARJETA ELECTRÓNICA***

*ANEXO 3.1: MANUAL DE LA HERRAMIENTA ARES-PROTEUS*

## ÍNDICE DE FIGURAS

### CAPÍTULO 1. NORMATIVA VIGENTE Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS

Figura 1.1 Daimler Victoria <sup>[1]</sup> .....	2
Figura 1.2 Antiguo taxímetro en estado «Libre» <sup>[1]</sup> .....	2
Figura 1.3 Un taxímetro actual <sup>[2]</sup> .....	3
Figura 1.4 Ciclo de los estados del taxímetro <sup>[2]</sup> .....	4
Figura 1.5 Cartel de taxi libre <sup>[2]</sup> .....	5
Figura 1.6 Cuadro tarifario de taxis en el Ecuador <sup>[6]</sup> .....	21
Figura 1.7 Fotografía de taxi convencional normal.....	26
Figura 1.8 Taxi convencional rural .....	26
Figura 1.9 Taxi convencional periférico .....	27
Figura 1.10 Taxi ejecutivo .....	27
Figura 1.11 Satélite NAVSTAR GPS <sup>[3]</sup> .....	28
Figura 1.12 Monitoreo del sistema NAVSTAR-GPS <sup>[3]</sup> .....	29
Figura 1.13 Lanzamiento de satélites <sup>[3]</sup> .....	29
Figura 1.14 Segmentos del sistema GPS <sup>[3]</sup> .....	30
Figura 1.15 Constelación de satélites <sup>[3]</sup> .....	31
Figura 1.16 Segmento de control <sup>[3]</sup> .....	32
Figura 1.17 Estaciones de control <sup>[3]</sup> .....	33
Figura 1.18 Receptores GPS <sup>[3]</sup> .....	34
Figura 1.19 Receptor GPS <sup>[3]</sup> .....	37
Figura 1.20 Intersección pseudo-aleatoria recibida de 3 satélites en el espacio <sup>[19]</sup> .....	38
Figura 1.21 Constelación GPS en conjunción con la rotación de la Tierra <sup>[3]</sup> .....	39
Figura 1.22 Estación Leica de referencia DGPS <sup>[3]</sup> .....	41
Figura 1.23 Mapa de distribución de las zonas UTM <sup>[3]</sup> .....	44
Figura 1.24 Mapa de la Tierra mostrando las líneas de latitud y longitud <sup>[3]</sup> .....	46
Figura 1.25 Navegador GPS <sup>[3]</sup> .....	54
Figura 1.26 Conector RS-232 (DE-9 hembra) <sup>[15]</sup> .....	55
Figura 1.27 Estructura de un caracter en comunicación asincrónica <sup>[16]</sup> .....	57
Figura 1.28 Conectores DB9 (Macho y Hembra) .....	58

Figura 1.29 Diagrama del Atmega324P y distribución de pines.....	61
------------------------------------------------------------------	----

## **CAPÍTULO 2. DISEÑO DEL PROTOTIPO**

Figura 2.1 Diagrama de bloques del prototipo taxímetro.....	65
Figura 2.2 Diagrama de elementos del prototipo.....	66
Figura 2.3 Distribución de los puertos del microcontrolador.....	68
Figura 2.4 Receptor GPS usado en el Proyecto.....	71
Figura 2.5 Comunicaciones entre el receptor GPS, impresora y el microcontrolador.....	73
Figura 2.6 Display LCD 16x2 BIG pantalla azul <sup>[12]</sup> .....	77
Figura 2.7 Conexión del módulo LCD al microcontrolador ATMEGA 324P.....	80
Figura 2.8 Conexión del MAX232 con el microcontrolador y los terminales.....	82
Figura 2.9 Diagrama completo de las conexiones en la placa .....	84
Figura 2.10 Pines de conexión del MC33063A .....	85
Figura 2.11 Diagrama funcional de la fuente.....	87
Figura 2.12 Diagrama de estados del servicio .....	87
Figura 2.13 CD de la herramienta BASCOM-AVR .....	89
Figura 2.14 Kit carga AVR.....	90
Figura 2.15 Ventana de BASCOM AVR para desarrollar firmware .....	93
Figura 2.16 Ventana de simulación en Bascom AVR.....	93
Figura 2.17 Ventana para emular los mensajes en el LCD .....	94
Figura 2.18 Ventana del programador ISP propio del BASCOM.....	94
Figura 2.19 Diagrama de flujo del inicio .....	95
Figura 2.20 Diagrama de flujo de tramas validas .....	96
Figura 2.21 Diagrama de flujo del estado LIBRE .....	97
Figura 2.22 Diagrama del estado del OCUPADO .....	98
Figura 2.23 Diagrama de flujo de estado IMPRIMIR o FACTURAR.....	100

## **CAPÍTULO 3. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO**

Figura 3.1 Diagrama de bloques del proceso de construcción del prototipo .....	106
Figura 3.2 Diagrama de un circuito integrado MC34063 .....	108
Figura 3.3 Diagrama inicio de proceso de creación .....	109

Figura 3.4 Diagrama para editar pines del integrado .....	110
Figura 3.5 Asignación de nombres a los pines del modelo .....	110
Figura 3.6 Diagrama para editar propiedades del elemento .....	111
Figura 3.7 Propiedades generales del elemento .....	111
Figura 3.8 Diagrama para asignación de un <i>package</i> al elemento.....	112
Figura 3.9 Diagramas del módulo LCD, sin modificar lado derecho, modificado lado izquierdo.....	113
Figura 3.10 Ventana de configuración de parámetros del modelo atmega324P en el ISIS.....	114
Figura 3.11 Simulación en el ambiente VSM de Proteus del prototipo.....	116
Figura 3.12 Barra de acción de la herramienta VSM del PROTEUS.....	116
Figura 3.13 Mensaje que indica la conexión con el computador .....	117
Figura 3.14 Pantalla indicando que se puede editar valores de tarifa .....	117
Figura 3.15 Mensajes a, b, c, d muestran en la simulación dentro del estado LIBRE .....	117
Figura 3.16 Los mensajes de los literales a, b, c, d, e muestran los opciones que se tiene dentro del estado ocupado .....	118
Figura 3.17 Mensajes a, b, c muestran el estado de comunicación con la impresora .....	118
Figura 3.18 Texto del terminal virtual, (que indica el formato de impresión) .....	119
Figura 3.19 Diagrama del diseño de la placa del taxímetro en ARES de Proteus .....	120
Figura 3.20 Barras de herramientas en el ARES de PROTEUS .....	121
Figura 3.21 Grafico del menú View .....	121
Figura 3.22 Coordenadas dependiendo de la posición del mouse, o de los elementos.....	122
Figura 3.23 Icono para cambiar las medidas de milésimas de pulgadas a mm .	122
Figura 3.24 Diagrama en ISIS de los componentes y terminales de la placa del taxímetro .....	123
Figura 3.25 Ventana de auto-ruter, para editar características de ruteo .....	123
Figura 3.26 Ventana para editar parámetros de ruteo.....	124
Figura 3.27 Opción para cambiar el grosor de la pista <sup>[24]</sup> .....	126
Figura 3.28 Opción para escoger el grosor del Pin <sup>[24]</sup> .....	126

Figura 3.29 Ventana del ARES para editar características del plano de masa <sup>[24]</sup>	127
Figura 3.30 Diseño de la placa del circuito con plano de tierra	127
Figura 3.31 Ventana de opciones para visualización en 3D de la placa <sup>[24]</sup>	128
Figura 3.32 Visualización en 3D de la placa del proyecto	128
Figura 3.33 Gráfico del estaño con sus aleaciones de plomo, estaño y resina <sup>[26]</sup>	131
Figura 3.34 Circuito que mantiene el soldador en un estado intermedio de calor <sup>[27]</sup>	133
Figura 3.35 Diagrama físico de la posición de los elementos dentro de la placa	135
Figura 3.36 Fotografía de la distribución de los elementos en la tarjeta del prototipo	138
Figura 3.37 Conector de energía de 12Vdc para automóvil	139
Figura 3.38 Fotografía indica posición de conectores para la comunicación con el módulo GPS e impresora	140
Figura 3.39 Programador PROGISP (Ver.1.7.2) para transferir el archivo.hex al microcontrolador	142
Figura 3.40 Ventanas del progisp para escoger características de fusibles del microcontrolador	143
Figura 3.41 Fotografía de impresora color beige	144
Figura 3.42 Batería de 12Vdc con 7Ah	147
Figura 3.43 Fotografía de la caja y la posición de la pantalla	148

## **CAPÍTULO 4. PRUEBAS DEL PROTOTIPO**

Figura 4.1 Ingreso de clave mediante el hyperterminal de Windows	150
Figura 4.2 Ingreso de valores de tarifas al sistema del prototipo	150
Figura 4.3 Valores ingresados al sistema del prototipo	150
Figura 4.4 Valores hexadecimales de costos tarifarios en memoria EPROM	151
Figura 4.5 Pantalla indica módulo GPS fuera de línea	152
Figura 4.6 Pantalla indica módulo GPS con datos válidos	152
Figura 4.7 Pantallas indican estado LIBRE, se puede observar además la hora, fecha y velocidad del vehículo	153

Figura 4.8 Pantallas indican posición del vehículo, expresadas en latitud y longitud .....	153
Figura 4.9 Pantallas indican estado OCUPADO, con opciones de hora, fecha, velocidad, distancia recorrida y tiempo de espera.....	154
Figura 4.10 Pantallas estado IMPRIMIR .....	155
Figura 4.11 Gráfica de las variaciones de la velocidad del móvil en función del tiempo .....	159
Figura 4.12 Gráficas a) y b) donde detalla el incremento del tiempo de espera en función de la velocidad de quiebre 12 km/h .....	160
Figura 4.13 Gráficas c) y d) de distancia recorrida incrementan cuando supera la velocidad de quiebre de 12 km/h.....	160
Figura 4.14 Recorrido de prueba para el taxímetro prototipo .....	161
Figura 4.15 Gráficas a), b) y c) detallan la comparación del costo de la carrera en función del tiempo, entre un taxímetro homologado y el taxímetro del prototipo	163
Figura 4.16 Fotografía de impresión con detalle de la carrera .....	164
Figura 4.17 Fotografías de impresiones con detalles de carrera (chofer, pasajero) .....	165

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Pérdidas de precisión dependiendo de la fuente <sup>[3]</sup> .....	40
Tabla 1.2 Niveles de voltajes de COM RS232 <sup>[15]</sup> .....	56
Tabla 1.3 Pines del conector DB9 .....	58
Tabla 1.4 Distancia máxima en función de la Velocidad .....	59
Tabla 2.1 Tabla comparativa de los módulos receptores GPS en el mercado <sup>[17]</sup>	70
Tabla 2.2 Tabla comparativa de pantallas para el prototipo .....	76
Tabla 2.3 Pines del módulo LCD <sup>[14]</sup> .....	80
Tabla 2.4 Comparación de impresora matricial vs impresora térmica .....	83
Tabla 2.5 Consumo de energía parcial y total .....	84
Tabla 2.6 Lista de variables de BASCOM-AVR .....	89
Tabla 3.1 Relación grosor de las pistas vs la corriente que circula <sup>[26] [28]</sup> .....	125
Tabla 3.2 Comandos para el uso de la impresora .....	145
Tabla 4.1 Muestra de valores registrados en las pruebas de velocidad del prototipo .....	156
Tabla 4.2 Datos de distancia recorrida en el circuito de Yahuarcocha .....	157
Tabla 4.3 Comparación de datos del tacómetro con la distancia recorrida del prototipo .....	157
Tabla 4.4 Valores de tiempo de espera y distancia recorrida en función de la velocidad .....	159
Tabla 4.5 Comparación de taxímetros homologado con el prototipo .....	162

## RESUMEN

Este proyecto de titulación que aquí se presenta tiene como objetivo el diseño y construcción de un prototipo de taxímetro digital con impresora para emitir un recibo del detalle de la carrera, cumpliendo con las normas vigentes en el Ecuador y realizando pruebas de funcionamiento por varios sectores en la ciudad de Quito.

El primer capítulo presenta una pequeña reseña histórica del taxímetro, un análisis de la normativa vigente relacionada a los taxímetros, así como también los fundamentos teóricos de la tecnología GPS y los tipos de tramas de información que provee. Incluye también las características de los diferentes tipos de módulos GPS y muestra las diferentes técnicas de tarifación utilizadas en un taxímetro además de las tarifas actuales que rigen en el país.

El capítulo dos presenta el diseño detallado del prototipo, que incluye: la selección del módulo GPS, el tipo de módulo de la pantalla para visualización de datos del servicio de taxi y la mini impresora. Se presenta el desarrollo del firmware del microcontrolador, así como del algoritmo de operación.

El capítulo tercero detalla el proceso de construcción del prototipo mediante las diferentes herramientas para la elaboración de la tarjeta electrónica, la distribución de los elementos en la tarjeta, la utilización de los diferentes puertos del microcontrolador y su programación. Además se muestra el proceso de montaje y armado de los diferentes componentes y el detalle de la comunicación con la impresora.

El capítulo cuatro incluye todas las pruebas de funcionamiento realizadas al prototipo, estas pruebas fueron realizadas tanto en ambientes de laboratorio como pruebas de campo realizadas en un automotor. En las pruebas se consideró todas las variables que afectaron el funcionamiento y se realizó los ajustes pertinentes en el firmware.

En el quinto y último capítulo se incluyen las conclusiones obtenidas, luego de haber realizado todas las pruebas, que son el fruto del trabajo realizado y en función de los objetivos propuestos. También se presentan las recomendaciones que sirvieron para la correspondiente retroalimentación, permitiendo realizar mejoras en el prototipo.

## PRESENTACIÓN

Desde el año 1982, se incluyó el equipo taxímetro para brindar el servicio de taxi en el Ecuador, un año más tarde introducen una normativa tomada de documentación estadounidense. De estos años a la actualidad no han existido muchos cambios en su normativa, quedando obsoleta frente a recientes equipos de taxímetros con nueva tecnología y servicios adicionales en el taxi.

Los primeros taxímetros en el Ecuador fueron importados desde Estados Unidos, Argentina, Alemania, etc., con el mismo mecanismo de funcionamiento, el cual consta de un sistema mecánico que cuenta el número de vueltas que genera el giro de las llantas del taxi, equipos muy conocidos pero a la vez muy fraudulentos. Hoy en día este tipo de equipos son muy poco utilizados ya que se ha dado prioridad a nuevas tecnologías como la GPS.

El número de taxis en Quito es de 8.810 unidades registradas hasta el año 2011, esto podría ser aproximadamente un 30% del total de taxis en el Ecuador. Además existen 12.000 taxis ejecutivos, por lo que este proyecto podría entrar en competencia con otros taxímetros existentes y con una característica que difiere y vendría a ser una ventaja, ya que se utiliza el módulo GPS que evitará los fraudes por cobro de uso de turbos o manipulación de los dispositivos mecánicos, ya que el sistema microprocesado obviará utilizar los parámetros mecánicos.

Considerando los reglamentos y las normativas vigentes en el país, emitidos por los organismos de regulación locales (INEN, CNTTTSV, SRI), así como también observando la necesidad de un reglamento actual en el Ecuador para normar el uso del taxímetro GPS con impresora facturadora, se ha pensado incluir un análisis de la normativa vigente y aportar con recomendaciones para la nueva normativa como: la información que debe incluirse en la factura, condiciones nominales de funcionamiento del taxímetro GPS, errores permitidos para un taxímetro, entre otros.

# **CAPÍTULO I**

## **NORMATIVA VIGENTE Y FUNDAMENTOS TEÓRICOS**

### **1.1 INTRODUCCIÓN**

En este capítulo se presenta una pequeña reseña histórica del taxímetro y la categorización de taxis en el Ecuador, un resumen de las diferentes normas y reglamentos dispuestos por cada uno de los organismos de control en el Ecuador en lo que respecta a la homologación, instalación y uso de los taxímetros. Adicionalmente se estudió la normativa vigente que sirvió de base para conocer los parámetros técnicos del diseño de un taxímetro GPS con impresora facturadora.

Se incluye además fundamentos teóricos del sistema GPS, las características del microcontrolador utilizado ATMEGA 324P, conceptos básicos de los diferentes componentes del proyecto de titulación como el tipo de comunicación serial utilizada.

### **1.2 DEFINICIONES Y RESEÑA HISTÓRICA DEL TAXÍMETRO <sup>[1]</sup>**

Un taxímetro (del griego τάξις, tasa, y -metro, medir. Que mide la tasa), usualmente instalado en los llamados auto-taxis, es un aparato de medida mecánico o electrónico que mide e informa gradualmente el importe a cobrar en relación tanto a la distancia recorrida como el tiempo transcurrido, con su equivalente en dólares, calculado según las tarifas existentes en cada momento y fijadas conforme a las regulaciones de cada país.

El primer taxi en el mundo equipado con el invento (taxímetro) fue construido en 1897 por Gottlieb Daimler y lo llamó Daimler Victoria, fue vendido al empresario Friedrich Greiner del transporte de la ciudad de Stuttgart y se utilizó para iniciar la primera empresa de taxis motorizados de ese mismo año. El intercambio de

paseo por dinero comenzó a operar en Paris y Londres en el siglo 17. En la figura 1.1 se muestra el primer taxi equipado con el invento taxímetro.



Figura 1.1 Daimler Victoria <sup>[1]</sup>

En la antigua Roma, existían taxímetros que funcionaban por medio de un mecanismo conectado al eje de una carreta que iba liberando pequeñas bolas. Al final del trayecto, el pasajero pagaba en función de las bolas liberadas. En la figura 1.2 se presenta el primer taxímetro instalado y en operación.



Figura 1.2 Antiguo taxímetro en estado «Libre» <sup>[1]</sup>

Algunos taxímetros tienen como accesorio un pequeño cartel luminoso para indicar si están libres. Es también llamado *banderita*, nombre que acarrea desde

los taxímetros mecánicos, en los que se giraba una banderita ocultándola para comenzar un viaje, y al finalizarlo se volvía a la posición visible. Actualmente algunos vehículos utilizan, con el mismo fin, un cartel luminoso en el techo.

Hoy en día, según normas internacionales, los taxis deben disponer del correspondiente taxímetro situado en la zona derecha del tablero y de forma visible (incluso en la noche que deberá estar siempre alumbrado).

### 1.2.1 CARACTERÍSTICAS Y ACCESORIOS DE UN TAXÍMETRO <sup>[2]</sup>

Los taxímetros cuentan con las siguientes características técnicas:

- Doble pantalla: una para indicar el costo del servicio y otra el tipo de tarifa.
- Botones para el intercambio de estados Libre, Ocupado y A pagar.
- Banderilla luminosa para indicar si el taxi está en servicio y libre.
- Impresora para llevar un control de carreras o entregar un ticket al pasajero.
- Presentaciones adicionales cuando no se encuentra en servicio: como la hora y fecha actual, la velocidad del móvil, la distancia recorrida, etc.

En la figura 1.3 se muestra un taxímetro en la actualidad, instalado y en funcionamiento.



Figura 1.3 Un taxímetro actual <sup>[2]</sup>

Los taxímetros electrónicos pueden incluir otros accesorios, por ejemplo:

- Impresora de tickets o recibos del costo del servicio para el pasajero.
- Control de la recaudación y detección de fraudes del chofer al dueño, a través de la impresión de tickets, o guardados en memorias portátiles para verificar algunos datos como: números de carreras realizadas, lugares de estacionamiento, valores cobrados y horario de servicio.
- Almohadillas en los asientos con sensores que detectan cuando hay algún pasajero y si no se puso en funcionamiento el taxímetro se lo informa al dueño.
- Cobro por tarjeta de crédito o prepago.
- Comunicación vía GPRS con la central de radiotaxi para recibir despachos de clientes, mensajes de texto, enviar fotos de pasajeros sospechosos, realizar pagos con tarjetas de crédito entre otras posibilidades. También junto a un receptor GPS puede enviar la posición en tiempo real a la central pudiendo lanzar una señal de emergencia en caso de atraco.

### 1.2.2 FUNCIONAMIENTO <sup>[2]</sup>

El taxímetro tiene varias posiciones o estados de funcionamiento, y en cada una presenta un comportamiento especial. En la figura 1.4 se presenta un cuadro con los ciclos de los estados del taxímetro y su secuencia.

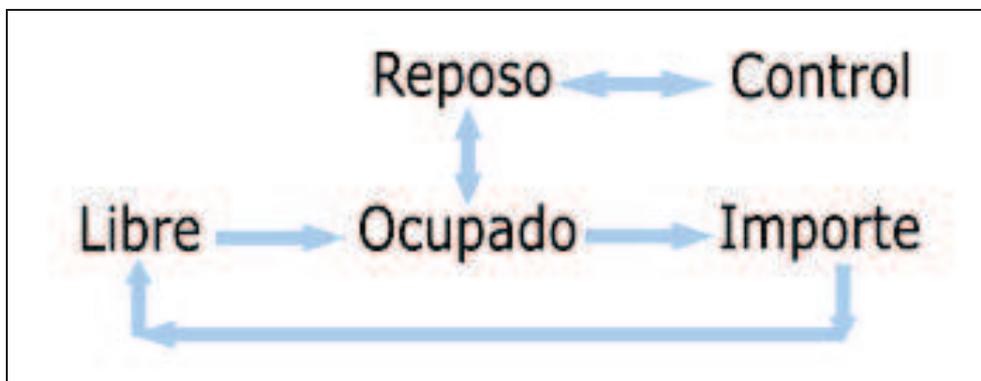


Figura 1.4 Ciclo de los estados del taxímetro <sup>[2]</sup>

El cambio de estados es a través de palancas, botones o interruptores y es de fácil operación. En su funcionamiento normal, el taxímetro repite cíclicamente las siguientes etapas: Libre, Ocupado e Importe (o A pagar).

En la mayoría de los taxímetros, cuando pasan a la posición de reposo, tanto el cartel luminoso como el display se apagan automáticamente, con el objeto de ahorrar el consumo de energía. Sin embargo el control de la distancia recorrida y la hora se mantienen.

Generalmente desde la posición anteriormente descrita se pasa al estado de control. En esta etapa se puede ver en pantalla o imprimir determinada información para que el dueño del taxi monitoree la labor de los choferes. En algunos casos, para efecto de revisión en los centros de servicio técnico o supervisión por las personas representantes del organismo de control, se imprime un ticket con información relevante como el ajuste del reloj, el estado del taxímetro o límites de velocidad permitida en el sector, esto dependiendo del caso. En la figura 1.5 se presenta un cartel luminoso que se coloca encima del taxi, indica el estado libre.



Figura 1.5 Cartel de taxi libre <sup>[2]</sup>

### 1.2.3 MODELO DE TARIFA <sup>[2]</sup>

Las tarifas varían según la realidad socio-económica del país, ciudad o zona, así como también se puede contar con diferentes tipos de tarifas dependiendo del horario (diurno, nocturno), o tomando en cuenta el costo inicial de arranque, etc.;

sin embargo se adaptan a un modelo general similar en la mayoría de casos. En algunas zonas se utilizan varias tarifas que cambian manualmente o automáticamente según la hora, día festivo, la zona, etc.

En cada país, la fijación de tarifas de los taxímetros está sujeta a las disposiciones de determinados organismos de control, en el Ecuador el organismo que regula las tarifas es la CNTTTSV (Comisión Nacional de Tránsito Transporte Terrestre y Seguridad Vial).

En algunas zonas se empieza el servicio con un valor inicial de arranque, para luego proseguir con incrementos dependiendo de la distancia recorrida (por encima de la velocidad de cruce) y del tiempo de espera (por debajo de la velocidad de cruce) además incrementos extras que se añaden manualmente por cargos adicionales, como por ejemplo sobre equipaje; estos son algunos de los valores básicos de los que consta una tarifa.

Hay tres formas básicas según las cuales se computa el incremento del costo del servicio que va en función del tiempo o de la distancia:

- manualmente (a través de un botón).
- automáticamente al detenerse completamente el vehículo por más de un determinado tiempo.
- automáticamente a través de la velocidad de cruce (la cual es la más utilizada y la que se usa en el taxímetro, objetivo de este proyecto de titulación).

### **1.2.3.1 Velocidad de cruce**

La velocidad de cruce es la velocidad que marca el límite entre contar por tiempo, o por distancia. A una velocidad inferior a la velocidad de cruce, el taxímetro automáticamente trabaja en función del tiempo y a una velocidad superior el taxímetro trabaja en función de la distancia. La velocidad de cruce o cambio de

arrastré se obtiene de dividir el valor correspondiente a la tarifa temporal entre el valor correspondiente a la tarifa basada en la distancia.

$$\text{Velocidad de cruce} = k \times \left( \frac{\text{tarifa por tiempo [dolares/min]}}{\text{tarifa por distancia [dolares/km]}} \right) \quad (\text{ec 1.1})$$

Donde **k** es una constante para convertir unidades; como por ejemplo si la distancia está expresada en **metros** y se desea en **kilómetros**, el tiempo en **segundos** y debe expresarse en **horas**, o como para el caso del proyecto, tenemos **kilómetros** por cada **minuto** y la forma de expresar la velocidad es **Kilómetros por cada hora**, entonces:

$$k = \frac{60 \text{ minutos}}{1 \text{ hora}} = 60 \frac{\text{minut}}{\text{hora}}$$

Aplicando los valores dados para la ciudad de Quito, la velocidad de cruce diurna es de 13.85 kilómetros/hora y nocturna de 12 kilómetros/hora, de acuerdo al siguiente desarrollo:

$$\text{Velocidad de cruce} = k \times \left( \frac{\text{tarifa por tiempo [dolares/min]}}{\text{tarifa por distancia [dolares/km]}} \right)$$

Diurno

$$\text{Velocidad de cruce} = k \times \left( \frac{0.06 \text{ cent/min}}{0.26 \text{ cent/km}} \right)$$

$$\text{Velocidad de cruce} = 60 \frac{\text{minut}}{\text{hora}} \times \left( 0.23 \frac{\text{km}}{\text{min}} \right)$$

$$\text{Velocidad de cruce} = 13.85 \frac{\text{km}}{\text{hora}}$$

Nocturno

$$\text{Velocidad de cruce} = k \times \left( \frac{0.06 \text{ cent/min}}{0.30 \text{ cent/km}} \right)$$

$$\text{Velocidad de cruce} = 60 \frac{\text{minut}}{\text{hora}} \times \left( 0.2 \frac{\text{km}}{\text{min}} \right)$$

$$\text{Velocidad de cruce} = 12 \frac{\text{km}}{\text{hora}}$$

Se utiliza valores enteros en el parámetro de velocidad de cruce, por lo cual se usa la velocidad de cruce nocturna de 12 kilómetros/hora para el taxímetro del proyecto de titulación desarrollado.

#### **1.2.4 MEDICIÓN DE DISTANCIA <sup>[2]</sup>**

La medición de la distancia se basa indirectamente en contar las vueltas de la rueda del vehículo. Por esto, desinflar gradualmente los neumáticos puede adulterar la medición levemente a favor del taxista. En los vehículos más antiguos, desde la caja de velocidades, sale una derivación que gira en relación con la velocidad hasta el velocímetro. Generalmente se coloca un sensor de distancia (una especie de sensor magnético) que traduce el movimiento mecánico en señales electrónicas hasta el taxímetro. Hay diversos tipos de sensores, según el método por el que funcionan y según cuántos pulsos/vuelta envían. En los vehículos modernos, la caja de velocidades tiene un sensor de velocidad del que se toma la información para usarlo en el computador de inyección electrónica y también para el velocímetro.

#### **1.2.5 TIPOS DE FRAUDES <sup>[2]</sup>**

Si bien se considera que sólo una minoría de los taxistas realizan fraudes, se sabe mucho que se cometen. Hay diversas formas de cometer fraude, algunas son tan sutiles que es imposible determinar la intencionalidad.

- El paseo: Quizás el más típico de los fraudes es llevar al pasajero por un camino más largo, dar vueltas sin necesidad, o tomar calles con un tránsito más congestionado.
- Encender el taxímetro antes de que suba el pasajero.
- La utilización de diversos artefactos externos que adulteren la recepción de señal de distancia al taxímetro como por ejemplo colocar un botón en la palanca de cambio, cosa que al pulsarlo se recargue más distancia o dinero al recorrido. Llamado popularmente "máquina", pajarito, piripipí, etc.

en Colombia se le conoce como "muñeco", en México se le conoce como "Clavo" y nuestro país el Ecuador es muy conocido como "Turbo" el cual indistintamente se localiza también en la palanca de velocidades o en alguna parte oculta del vehículo solo accesible por el taxista.

- Usualmente se usa un engranaje multiplicador en el vehículo, como un método para adulterar la tarifa del taxímetro, de esta manera el sensor de velocidad del vehículo, que es de donde se toma la información, gira más rápido de lo que debe, logrando así un recorrido con mayor distancia, sin adulterar sus sellos ante una eventual revisión poco exhaustiva, que no incluya prueba del vehículo en dinamómetro o ruta para medir distancia.
- El método de Doble programación consiste en que, el taxímetro marca correctamente los valores hasta cierto límite, luego se adultera automáticamente con fines lucrativos ilegales. Obviamente este sistema funciona con la complicidad del servicio técnico de taxímetros.
- En algunos casos el propietario del vehículo instala ruedas de un tamaño menor al permitido por el automóvil, esto se lo hace para que el taxímetro registre más vueltas y pueda cobrar más, hecho controversial porque con un diámetro de rueda más pequeña, el consumo de combustible aumenta.

Una forma de evitar la adulteración, es usar un precinto o sello de seguridad, después de la instalación o reparación que realiza el servicio técnico autorizado, si el sello está roto es evidente que se ha cometido alguna manipulación o adulteración al equipo, sin embargo en los servicios técnicos a veces no pueden detectar la adulteración y lo precintan nuevamente, sin existir sanción.

Las adulteraciones van desde aumentar las pulsaciones fuera del límite legal permitido, incrementando un metraje adicional con dispositivos electrónicos hasta poner distintas tarifas. En ciudades donde sólo se permite una tarifa, generalmente no se comprueba la existencia de otras, por eso se hace un método cada día más común tener una segunda tarifa más cara, para cambiarla a conveniencia del chofer. Para poder evitar este tipo de fraudes en los taxímetros nuevos se pueden imprimir el tipo de tarifa y otros detalles del servicio en el recibo de pasajero.

### **1.3 NORMATIVA VIGENTE** <sup>[4], [5], [6]</sup>

Para que un taxímetro sea legalmente utilizable se debe cumplir con los requerimientos o normativas que exigen los organismos correspondientes, en el caso de nuestro país: El INEN (Instituto de Normalización Ecuatoriana); la CNTTTSV (Comisión Nacional de Transporte Terrestre Tránsito y Seguridad Vial) y el SRI (Servicio de Rentas Internas), por lo cual se presenta un resumen de los requerimientos a seguir.

#### **1.3.1 INEN** <sup>[5]</sup>

El Instituto Ecuatoriano de Normalización, es una entidad de servicio público, fundada el 28 de agosto de 1970. La parte operativa de la Institución está constituida de cuatro procesos:

- Normalización Técnica
- Verificación
- Certificación
- Servicios Tecnológicos:

Para realizar estos procesos el INEN cuenta con los siguientes laboratorios:

- Laboratorio Nacional de Metrología
- Laboratorio de Ensayos Analíticos
- Laboratorio de Ensayos Físicos y Mecánicos

##### **1.3.1.1 Laboratorio de Metrología**

El Laboratorio Nacional de Metrología, fue fundado el 22 de marzo de 1973, realiza sus actividades como parte del proceso de Servicios Tecnológicos. Una de las principales funciones que realiza este Laboratorio es la de calibrar

equipos para pesar y medir, actividad que se encuentra facultada por la Ley del Sistema Ecuatoriano de la calidad publicada en el suplemento del Registro Oficial N°-26 en el 2007-02-22 en su artículo 35 y que designa al INEN como la entidad responsable de metrología en el país y como tal actúa en calidad de Organismo Nacional competente.

El fundamento legal que constituye esta Ley al momento de realizar las actividades metrológicas, y el resultado de la calibración, se refleja al momento de otorgar Certificados de Calibración en diferentes aspectos como: patrones instrumentos, elementos, máquinas y/o aparatos de pesar y medir en las magnitudes de masa, longitud, volumen, temperatura, presión y fuerza que tienen validez oficial y reconocimiento nacional. Estas calibraciones son consideradas como las de más alto nivel metrológico en el país, para lo que cuenta con:

- Personal calificado y entrenado internacionalmente.
- Patrones con trazabilidad.

Actualmente la oferta de servicios de calibración del Laboratorio Nacional de Metrología del INEN, dirigida al sector, oficial, comercial, educacional e industrial del Ecuador, en el que se describen por magnitudes los instrumentos, los rangos, las incertidumbres con las que el laboratorio está en capacidad de ofrecer sus servicios; también señalan los patrones, las Normas técnicas Nacionales o Internacionales utilizadas en el proceso de calibración.

El Laboratorio Nacional de Metrología certifica o no, respectivamente, la aptitud para el uso de los instrumentos mediante la emisión de:

- Certificados de Calibración para los instrumentos que cumplen con los requisitos de algún documento normativo.
- Informes Técnicos de Calibración para los instrumentos que no cumplen con los requisitos de algún documento normativo.

### 1.3.1.2 Requisitos que exigen el INEN para el taxímetro

Para obtener del INEN el certificado de aprobación de modelo de taxímetro se debe realizar el siguiente procedimiento:

1.- Presentar la solicitud de aprobación del modelo, identificando el instrumento y la empresa solicitante.

2.- Cumplir y presentar la documentación pertinente que corresponde a los requisitos establecidos en las regulaciones:

- RG 34 APROBACIÓN DE MODELO DE TAXÍMETROS (Registro Oficial No 226 de 1982-04-21); y
- RG 43 REQUISITOS PARA LA INSTALACIÓN Y USO DE TAXÍMETROS (Registro Oficial No 314 de 1982-08-25). Los ensayos de laboratorio para la verificación de cumplimiento de estos requisitos los debe realizar un Instituto de Educación Superior y los resultados de los ensayos se los debe presentar en un informe técnico, el que debe acompañar a la documentación establecida en la Regulación RG 34.

3.- El INEN revisará la documentación solicitada y luego coordinará con la empresa la fecha de realización del ensayo de campo en el taxímetro instalado en un vehículo, el que deberá tener fijadas las tarifas vigentes.

4.- Luego de cumplir satisfactoriamente los requisitos de las Regulaciones referidas, el INEN emite un Certificado de Aprobación de Modelo mediante una Resolución que es publicada en el Registro Oficial.

#### **1.3.1.2.1 DESCRIPCIONES DE LAS REGULACIONES <sup>[8], [9]</sup>**

Para cumplir con la Regulación RG34 APROBACIÓN DEL MODELO DE TAXÍMETROS se deberá presentar en el INEN en idioma español los siguientes documentos:

- Planos de construcción.
- Planos de funcionamiento.
- Memoria técnica de las partes y del funcionamiento.
- Descripción de los servicios técnicos de mantenimiento, reparación y de ajuste garantizados por el vendedor.

El INEN verificará, mediante ensayos de laboratorio y pruebas de campo, el comportamiento del taxímetro. El cual debe cumplir con las tolerancias y requisitos de funcionamiento especificadas en las regulaciones respectivas.

Para cumplir con la Regulación RG43 REQUISITOS PARA INSTALACIÓN Y USO DEL TAXÍMETRO, se observa que existen algunos artículos incompletos para taxímetros de nueva generación, debido a que esta Ley fue creada en 1983 para taxímetros de esa época. En el artículo de terminología no existe nada sobre definición de nuevas tecnologías como la tecnología GPS, pero si se incluye definiciones sobre constantes de corrección, para la toma de medidas de distancia, la cual realiza básicamente un conteo del número de vueltas de la rueda del vehículo, siendo este sistema muy conocido y manipulado.

A continuación los puntos más importantes que el taxímetro puede cumplir sin modificar la regulación vigente, para luego indicar cuales puntos de la regulación se debe tomar en cuenta para una actualización. Para diseñar el prototipo de taxímetro se cuenta con los parámetros que describe posteriormente.

#### ***1.3.1.2.2 TERMINOLOGÍA***

Taxímetros: Instrumentos de medida instalados en un taxi que progresivamente suman e indican en todo instante el valor que debe pagar el pasajero en términos de distancia recorrida y tiempo de funcionamiento, independiente de cualquier valor extra autorizado.

Velocidad crítica: Es aquella que establece el punto de equilibrio entre las tarifas por distancia recorrida y tiempo transcurrido, dando iguales valores a pagar.

Se calculará de la siguiente manera.

$$Velocidad\ de\ cruce = k \times \left( \frac{tarifa\ por\ tiempo\ [dolares/min]}{tarifa\ por\ distancia\ [dolares/km]} \right) \quad (ec\ 1.1)$$

Para taxímetro de nueva generación se puede incluir los siguientes aspectos:

Mecanismo de medición de distancia: Equipo eléctrico o electrónico que mide o calcula la distancia recorrida que describe el taxi según su desplazamiento en carretera, cuando éste se encuentra en operación. Utilizado para aportar el incremento del costo por distancia recorrida cuando el taxímetro se encuentra en el estado de trabajo.

Mecanismo de medición de tiempo: Equipo eléctrico o electrónico que mide el tiempo transcurrido cuando el taxi se encuentra en servicio u operación.

#### ***1.3.1.2.3 CONDICIONES NORMALES DEL VEHÍCULO PARA ENSAYO***

Como condiciones normales de ensayo se establece que: la carga en el vehículo corresponda al peso de dos personas adultas, incluyendo al chofer; esté en buenas condiciones eléctricas y mecánicas de operación; completo en sus partes básicas; y que marche en línea recta, a una velocidad de 35 a 40 km/h.

#### ***1.3.1.2.4 UNIDADES DE MEDICIÓN***

Las unidades de medición autorizadas para el taxímetro son:

- metro o kilómetro para distancias.
- segundo, minuto u horas para tiempo.
- dólares, como unidad monetaria.

### ***1.3.1.2.5 SISTEMA DE MEDICIÓN Y CÁLCULO***

El taxímetro calculará y marcará el valor a pagar únicamente en base a la distancia recorrida, cuando el vehículo viaje a una velocidad mayor a la velocidad crítica; y al tiempo transcurrido, cuando el vehículo viaje a una velocidad menor a la velocidad crítica o se haya detenido debido a una señal, congestión u otro obstáculo.

El sistema de indicación del valor a pagar será susceptible de avanzar con respecto al mecanismo de distancia recorrida, únicamente a la distancia tomada debido al cambio de posición del vehículo, el cual será medido y activado solo por el mecanismo interno del taxímetro.

El sistema de indicación del valor a pagar será susceptible de avanzar con respecto al mecanismo de tiempo, únicamente por la acción del reloj de trabajo, el cual será activado solo por el mecanismo interno del taxímetro.

Si el reloj de trabajo es de tipo electrónico y la medida de distancia es de cualquier tipo de tecnología electrónica, deben funcionar perfectamente.

El valor de arranque deberá ser incluido al inicio de la carrera, y corresponderá a una distancia recorrida o a un tiempo transcurrido, cualquiera que se cumpla primero. Los mecanismos de distancia y tiempo comenzarán a actuar sobre el sistema de indicación a pagar, solo después de haber cumplido la distancia o el tiempo especificados en las regulaciones de tarifas. Los siguientes aumentos del sistema de indicación del valor a pagar corresponderán a iguales distancias o tiempos iguales de incremento dependiendo del mecanismo que esté actuando sobre el sistema.

Independiente de la tarifa usada, la relación entre la distancia inicial de arrancada y los siguientes intervalos de distancia será la misma entre el tiempo inicial de arrancada y los siguientes intervalos de tiempo. El ajuste tarifario solo podrá realizar la entidad delegada para tal efecto.

### ***1.3.1.2.6 MECANISMO DE CONTROL***

Los componentes del taxímetro se activarán únicamente al acoplarse a un solo mecanismo de control, en una de las siguientes posiciones autorizadas:

Posición “**Libre**”: En esta posición no habrá indicación de ningún valor a ser pagado, o si la hay, debe marcar cero (0). Los mecanismos de medición de distancia y tiempo no incrementarán este indicativo. El totalizador que indica la distancia recorrida debe permanecer apagado y el indicador del valor correspondiente a “extras” debe estar vacío o indicar cero.

Posición de “**Trabajo**”: El mecanismo de control debe estar diseñado de tal manera que comenzando en la posición LIBRE, pueda ser puesto sucesivamente en las siguientes posiciones de trabajo, correspondientes a las diferentes tarifas en vigencia, de acuerdo al orden de magnitud. La secuencia de las diferentes posiciones de trabajo podría ser efectuada automáticamente, como función de cierta distancia recorrida, o de cierto tiempo transcurrido, especificados por las regulaciones de tarifas. En esta posición, los mecanismos de tiempo y distancia estarán conectados y también los extras, si los hay.

Posición “**Pagar**”: En esta posición se debe indicar el valor final del alquiler que pagará el pasajero, independiente de otros extras en esta posición, el mecanismo de tiempo debe ser desconectado.

### ***1.3.1.2.7 OPERACIÓN DEL MECANISMO DE CONTROL***

La operación del mecanismo de control está sujeta a las siguientes restricciones:

Iniciando desde la posición de TRABAJO para cualquier tarifa, no será posible poner el taxímetro en posición LIBRE, sin ir a la posición PAGAR. Iniciando desde la posición PAGAR, no será posible poner el taxímetro en posición de TRABAJO sobre alguna tarifa, sin ir a través de la posición LIBRE. Los cambios de tarifas

efectuados a través de la posición LIBRE, será posible cuando se cumplan las condiciones de encerado de los sistemas de indicación del mecanismo de control para dicha posición; y no será posible colocar el mecanismo de control en otra posición que no sea una de las señaladas en los literales anteriores. Los cambios de tarifas (diurna o nocturna) podrán ser automáticos.

#### ***1.3.1.2.8 SISTEMA DE INDICACIÓN***

El dial o la carátula de lectura del taxímetro debe estar diseñado de tal manera que el usuario pueda leer fácilmente el tipo de tarifa, el valor a pagar y los extras autorizados. El valor a ser pagado, independientemente de extras, será la simple lectura de los caracteres numéricos del sistema de indicación que tendrá un tamaño mínimo de 10 milímetros. Tan pronto como el taxímetro sea puesto en operación desde la posición LIBRE, la tapa del indicador del valor a pagar, si la hay, debe retraerse y mostrar un valor fijo, correspondiente al valor de arranque del vehículo. El indicador del valor a pagar se incrementará sucesivamente en un valor monetario constante, tan pronto como el valor fijado para el inicio de la carrera haya sido igualado.

El taxímetro será provisto de un mecanismo de indicación que permita en cualquier momento leer el valor a pagar e incluirá totalizadores de una altura mínima de 4 milímetros, para indicar: la distancia total recorrida por el vehículo; la distancia recorrida en alquiler; el número total de carreras; y, el monto en dólares del total de extras cobrados.

El taxímetro debe estar provisto de un adecuado sistema de iluminación que facilite leer las indicaciones que aparecen sobre la carátula e instalado de tal manera que su cambio se realice sin abrir las partes selladas.

El taxímetro podrá estar equipado, entre otros, con aparatos adicionales como: indicadores de extras que automáticamente regresen a cero en la posición LIBRE; medidores de control a pedido de los propietarios de los vehículos; impresor del

valor a pagar; y, repetidores del mecanismo de control que indiquen en el exterior del vehículo la posición de trabajo o la tarifa usada, etc.

#### ***1.3.1.2.9 CONSTRUCCIÓN***

Las partes esenciales del taxímetro serán construidas de materiales resistentes. Las carcasas, el elemento de ajuste y la cubierta de piñón de transporte, deben ser herméticas, a fin de que las partes esenciales del mecanismo estén protegidas de manipulación no autorizada, del polvo y la humedad.

El taxímetro será diseñado de tal manera que permita el ajuste necesario, para ponerlo en conformidad con los cambios de tarifas impuestos por nuevas regulaciones. Cuando el número de indicadores de tarifas en el instrumento sea mayor que el de tarifas en vigencia, el excedente de indicadores de tarifas debe desconectarse.

#### ***1.3.1.2.10 IDENTIFICACIÓN***

Todo taxímetro debe tener obligatoriamente las siguientes inscripciones:

- nombre y dirección del fabricante y su marca registrada;
- modelo y número de producción;
- la marca INEN de aprobación del modelo;
- la constante K, en rev/km o imp/rev.; marca de receptor GPS.

Todo taxímetro debe llevar una placa que permita anotar:

- indicaciones relativas al instrumento o al vehículo;
- fijación de las marcas de verificación inicial y periódica.

Inscripciones Especiales: En las cercanías de los diales del sistema de indicación debe existir una leyenda en idioma castellano que identifique, en forma clara y legible, a qué corresponde cada indicación.

El signo dólares debe estar escrito junto a la indicación del valor a pagar por recorrido y extras.

#### ***1.3.1.2.11 TOLERANCIAS***

Las tolerancias para el taxímetro, como instrumento de medida en el momento de su calibración, serán las que se detallan a continuación: con el mecanismo de distancia operando, las indicaciones no deben exceder:

- el 2% del valor fijado de la distancia inicial correspondiente al valor de arranque,
- el 3% del valor de la distancia recorrida en los tiempos subsiguientes.

Tolerancias para taxímetros instalados: Para la verificación de taxímetros operando bajo condiciones normales de ensayo, las tolerancias serán las siguientes:

Para distancia:

- del 1% de tolerancia para valores mayores a la distancia de ensayo;
- del 2% de tolerancia para valores menores a la distancia de ensayo;

Para tiempo:

- es aceptable tener un error de 3 segundos adicionales por cada minuto;
- es aceptable tener un error de 6 segundos faltantes por cada minuto.

#### ***1.3.1.2.12 SELLOS DE PROTECCIÓN Y GARANTÍA***

Los mecanismos del taxímetro estarán contruidos de tal manera que permitan ser sellados con un sistema de pasador o por marcas de garantía:

- la carcasa que encierra el mecanismo interno del taxímetro;
- el casco del mecanismo de ajuste, si el aparato es exterior a la carcasa del taxímetro;
- las cubiertas y cables de los aparatos electrónicos o mecánicos que forman las conexiones entre la entrada del taxímetro y las correspondientes partes

provistas sobre el vehículo para conexiones con el instrumento, incluyendo las partes desechables del mecanismo de ajuste.

#### ***1.3.1.2.13 CONTROLES METROLÓGICOS***

El INEN realizará los siguientes controles, en los taxímetros a instalarse:

- aprobación de modelo y sus modificaciones;
- verificación inicial de los taxímetros nuevos;
- el sello de control, en lo que se refiere a material y a su colocación.

El INEN elaborará y aprobará los métodos y procedimientos para el control de la exactitud de las medidas que realiza el taxímetro.

Los taxímetros reparados o reajustados serán verificados de acuerdo a lo que establece el INEN.

Sello de Control: los resultados de los controles serán autenticados con uno o más sellos de control que se colocarán en los instrumentos que cumplan con los requisitos establecidos en esta Regulación. Estos sellos serán fijados únicamente por funcionarios autorizados por el INEN.

#### ***1.3.1.2.14 INSTALACIÓN DEL TAXÍMETRO***

El taxímetro debe estar colocado de tal manera que el pasajero, sentado en el asiento posterior del vehículo, tenga visibilidad directa al sistema de indicación y de los mecanismos de control.

El taxímetro se sujetará adecuadamente a partes fijas del vehículo, de tal manera que no sea afectado por cualquier otro movimiento que no sea el movimiento del mismo vehículo; el sistema de indicación estará protegido de la incidencia directa de la luz solar que dificulte la lectura de los valores; será ubicado en un lugar que reúna condiciones adecuadas de: iluminación, temperatura, humedad y vibración.

### 1.3.2 CNTTTSV <sup>[6]</sup>

El Consejo Nacional de Tránsito y Transporte Terrestre es una entidad de Derecho Público, adscrita al Ministerio de Gobierno y Policía, con jurisdicción nacional y es la autoridad máxima de tránsito y transporte terrestre en el país:

Actualiza las tarifas de la transportación colectiva terrestre tomando en cuenta la elevación de los costos de operación que inciden directamente, en la determinación de las mismas, conforme se desprende de los estudios realizados por el Consejo Nacional de Tránsito y Transporte Terrestre;

#### 1.3.2.1 Descripción de la resolución N° 001-DIR-2003-CNTTT

Art.1.- Fijar las tarifas del transporte público en sus diferentes modalidades.

En la Figura 1.6 la Comisión Nacional de Tránsito, Transporte Terrestre y Seguridad Vial, presenta el siguiente cuadro tarifario para taxis convencionales normales en el Ecuador:

<b>CUADRO TARIFARIO DE TAXIS</b>		
	<b>DIURNO (\$)</b>	<b>NOCTURNO (\$)</b>
ARRANCADA	0.35	0.40
KM. RECORRIDO	0.26	0.30
MINUTO DE ESPERA	0.06	0.06
CARRERA MINUTO	1.00	1.10
EL HORARIO NOCTURNO COMPRENDE DESDE LAS 22H00 HASTA LAS 05H00		
El Consejo Nacional de Tránsito, en virtud de lo que dispone el Literal g) del Art. 27 de la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre en concordancia con el Literal b) del Art. 113, del Reglamento de Aplicación a la Ley de Tránsito y Transporte Terrestre, determina el uso de los taxímetros de última tecnología en los vehículos de transporte público de pasajeros para el servicio de taxis, inicialmente en las ciudades de Quito, Guayaquil y Cuenca, el control lo efectuará la Dirección Nacional de Tránsito, Subjefaturas de Tránsito y la Jefatura de Tránsito de la Comisión de Tránsito de la Provincial del Guayas		

Figura 1.6 Cuadro tarifario de taxis en el Ecuador <sup>[6]</sup>

### 1.3.3 EL SRI <sup>[4]</sup>

El Servicio de Rentas Internas (SRI) es una entidad técnica y autónoma que tiene la responsabilidad de recaudar los tributos internos establecidos por Ley mediante la aplicación de la normativa vigente. Su finalidad es la de consolidar la cultura tributaria en el país a efectos de incrementar sostenidamente el cumplimiento voluntario de las obligaciones tributarias por parte de los contribuyentes.

#### 1.3.3.1 Documentación emitida por el SRI referente a taxímetros <sup>[10]</sup>

El Servicio de rentas Internas no cuenta con una regulación o documento legal donde indique las atribuciones que le corresponden normalizar referente a los taxímetros; sin embargo, presenta un documento donde compara al taxímetro con lo más parecido a un equipo similar como es una caja registradora, donde se toman algunas características, ya que el taxímetro por ningún motivo cumple con todas las características de caja registradora. Y presenta los siguientes enunciados:

Lo que busca el SRI referente a este documento está más detallado en el reglamento correspondiente TAXÍMETROS SRI.

Requisitos que se deberían estipular por parte de la Administración Tributaria para autorizar un taxímetro:

DATOS DEL EQUIPO.

- Taxímetro: Marca, Modelo y Numero de Serie.
- Impresora: Marca, Modelo y Numero de Serie

Tipo de Impresión (se deberá tomar en cuenta lo señalado en el artículo 42 y 43 del Reglamento de comprobantes de venta, retención y documentos complementarios).

- Térmico (especificar si es o no aceptado)
- Matricial
- Transferencia de calor (laser)

Tipo de memoria que maneja el equipo y capacidad de almacenamiento tanto en tiempo como en datos.

- Tipo.
- Modelo.
- Forma de reseteo.
- Capacidad de almacenamiento.

Esta memoria deberá conservar en forma permanente, por lo menos los siguientes datos:

- RUC (13 DIGITOS);
- Razón social;
- N° de autorización;
- Fecha de autorización;
- Fecha de caducidad;
- Porcentaje de IVA;
- Dirección domicilio del emisor; y
- El valor total de la prestación del servicio como también la cantidad de espacio recorrido por la unidad de servicio.

El taxímetro deberá estar en la capacidad de expedir reportes:

- Parciales del servicio (arqueos);
- Reportes totales del servicio (fin turno);
- Grandes totales (reporte con toda la información);
- Reporte con número propio de secuenciamiento;
- Capacidad de imprimir reporte (información fiscal) diaria, semestral y anual.

Los tiquetes emitidos por la impresora del taxímetro, autorizadas por el SRI, deberán contener los siguientes requisitos:

- Número de registro único de contribuyentes, nombre o razón social y el domicilio del emisor, completo o en forma abreviada, según conste en el RUC, permitiendo su identificación y ubicación. Adicionalmente, podrá incluirse el lugar de emisión y el nombre de la cooperativa.
- Numero secuencial auto generado por la impresora del taxímetro que deberá constar de al menos cuatro dígitos, pudiendo omitirse la impresión de los ceros a la izquierda. Deberá emplearse hasta el último número de la máquina, antes de reanudar la numeración.
- Marca, modelo de fabricación y número de serie de la máquina registradora.
- Número de autorización otorgada por el SRI, incluido mediante cualquier mecanismo.
- Descripción o concepto del bien vendido o del servicio prestado que podrá ser expresado en letras o códigos numéricos predefinidos.
- Importe de la venta o del servicio prestado, pudiendo constar de manera desglosada el impuesto.
- Fecha y hora de emisión.
- Destino opcional de los ejemplares: original para el adquiriente o usuario y copia para el emisor, debiendo emitirse conjuntamente el original y sus copias.
- Opcionalmente, la denominación del documento, esto es “Tiquete”.

Para este caso de manera opcional los comprobantes podrán contener la cantidad de kilómetros recorridos.

En el caso de la impresora está deberá estar en la capacidad de generar una tirilla auditora, de no poderlo hacer de esta manera se tendrá que generar la impresión de un original para el cliente y una copia obligatoria del documento, misma que se considerara como cinta testigo; en ambos casos las tirillas que actúan como cintas testigo o de auditoría deberán mantener información tanto de la emisión del tiquete como de la obtención de reportes.

Todos los taxímetros una vez parametrizados deberán contar con un sello que asegure e impida la reprogramación sin la debida autorización, de esto se debería encargar el ente regulador del gremio y la Administración tributaria de acuerdo al caso que se presente.

Sin perjuicio de lo anterior, en criterio de la Administración Tributaria, la única información que puede reprogramarse es el número de autorización al existir un trámite de renovación, el valor del Gran total, el RUC y la Razón Social cuando exista cambio de propietario del taxímetro, el número de secuencia de las transacciones realizadas cuando se llegue al límite máximo permitido por el equipo y la información relacionada con valores de carrera, éste último debe ser autorizado por el ente regulador del gremio.

Se deberá verificar que no permitan o no se acepten transacciones cuando se detecte desconexión o ausencia de la impresora y falta de papel.

Por último, el SRI informa que se encuentra analizando el caso de los taxímetros ya que al no ser máquinas registradoras consecuentemente tampoco sistemas cerrados, se necesita establecer parámetros claros de revisión que definan estos nuevos equipos.

#### **1.4 CATEGORIZACIÓN DE TAXIS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO <sup>[29]</sup>**

El servicio de taxi se clasifica generalmente en convencional y ejecutivo. La manera más sencilla de identificar los diferentes tipos de taxis existentes en la ciudad, es mediante la franja utilizada por estas unidades, en las que cada color representa un territorio específico al cual han sido designadas a cada vehículo para brindar su servicio. Dicha clasificación se detalla a continuación:

De acuerdo a consideraciones tomadas en cuenta por el Concejo Metropolitano de Quito, el servicio de taxi convencional se divide en:

**Taxi con servicio convencional normal.-** Este tipo de taxis están dentro del transporte comercial de personas, caracterizándose por realizar carreras o fletes dentro de todo el ámbito territorial del Distrito Metropolitano de Quito, sin restricción territorial, y que visualmente son de color amarillo, con capacidad para cinco pasajeros incluido el conductor y que debe contar con los permisos necesarios otorgados por la autoridad competente. En la figura 1.7 se muestra la fotografía de un taxi convencional normal identificado por su color amarillo sin franjas.



Figura 1.7 Fotografía de taxi convencional normal

**Taxi convencional rural.-** Estos vehículos están autorizados para transportar pasajeros a las zonas rurales, con capacidad para cinco personas incluido el conductor, son de color amarillo con la particularidad de tener franjas verdes y que la principal prohibición es trabajar en el Centro Histórico o zona urbana de Quito. En la figura 1.8 se muestra el taxi convencional rural identificador por color amarillo con franjas verdes.



Figura 1.8 Taxi convencional rural

**Taxi convencional periférico.-** Es un automóvil de color amarillo con franjas rojas, destinado al transporte comercial de hasta cinco personas incluido el

conductor, autorizado para transportar pasajeros desde y hacia las zonas marginales sectores periféricos, quedándoles prohibido circular y/o trabajar en el Centro Histórico o Zona Urbana de Quito. En la figura 1.9 se muestra el taxi convencional rural identificador por color amarillo con franjas rojas.



Figura 1.9 Taxi convencional periférico

Adicionalmente se destaca que los taxis convencionales pueden ser autorizados para realizar servicio ejecutivo, mediante la obtención del permiso correspondiente, sin incrementar la flota vehicular de la operadora

**Taxi con servicio ejecutivo.-** Están destinados al transporte comercial de hasta cinco personas incluido el conductor, son de color amarillo, diferenciándose de los anteriores por tener franjas negras, prestar su servicio a través de llamadas telefónicas a una central, quedando prohibido hacer servicio ambulatorio, estacionarse en lugares públicos o recorrer la ciudad para recoger pasajeros y que como principal requerimiento deben obtener un permiso de operación, tener establecimiento privado y oficinas con los servicios necesarios para atender a sus clientes. En la figura 1.10 se presenta el taxi ejecutivo identificado por su color amarillo con franjas negras.



Figura 1.10 Taxi ejecutivo

Con relación a la categorización de taxis existentes en la ciudad de Quito, se ha tomado como referencia a los TAXIS CONVENCIONALES NORMALES, desarrollando el prototipo de taxímetro orientado únicamente a esta categoría, debido a que son los únicos que cumplen con el cuadro tarifario establecido por La Comisión Nacional de Transito, Transporte Terrestre y Seguridad Vial. Ver Figura 1.6.

## 1.5 FUNDAMENTOS TEÓRICOS <sup>[3], [11], [15]</sup>

### 1.5.1 INTRODUCCIÓN AL GPS <sup>[3]</sup>

El GPS (*Global Position System*) Sistema de posicionamiento global o también llamado NAVSTAR-GPS, es un sistema satelital de navegación global GNSS (*Global Navigation System Satellite*) que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona o un vehículo con una precisión hasta de centímetros (si se utiliza GPS diferencial). En Sudamérica no se cuenta con un GPS diferencial por lo que este sistema habitualmente tiene una precisión de pocos metros. El sistema fue desarrollado, instalado y actualmente operado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos. En la figura 1.11 se presenta el satélite NAVSTAR GPS en el espacio.

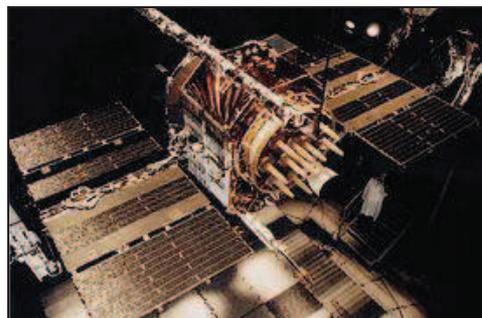


Figura 1.11 Satélite NAVSTAR GPS <sup>[3]</sup>

El GPS funciona mediante una red de 24 satélites en órbita sobre el globo, a 20.200 km, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello

localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la identificación y la hora del reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el tiempo que tardan en llegar las señales al equipo, y de tal modo mide la distancia al satélite mediante "triangulación" (método de trilateración inversa), la cual se basa en determinar la distancia de cada satélite respecto al punto de medición. Conocidas las distancias, se determina fácilmente la propia posición relativa respecto a los tres satélites. En la figura 1.12 se muestra una operadora monitoreando y controlando la constelación NAVSTAR-GPS, mientras en la figura 1.13 se presenta el lanzamiento de un satélite para la constelación NAVSTAR-GPS.



Figura 1.12 Monitoreo del sistema NAVSTAR-GPS [3]



Figura 1.13 Lanzamiento de satélites [3]

En la antigua Unión Soviética se construyó un sistema similar llamado GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*) Sistema Satelital de Navegación Global, ahora gestionado por la Federación Rusa. La Unión Europea está desarrollando su propio sistema de posicionamiento por satélite, denominado Galileo. Y a su vez, la República Popular China está implementando su propio sistema de navegación, el denominado Beidou, que preveen contará entre 12 y 14 satélites para los años 2014 y 2015. Para 2020, ya plenamente operativo deberá contar con 30 satélites.

### 1.5.1.1 Características técnicas <sup>[3]</sup>

En la figura 1.14 se observa el Sistema NAVSTAR-GPS está constituido por tres segmentos: segmento espacial, segmento de control y segmento de usuario.

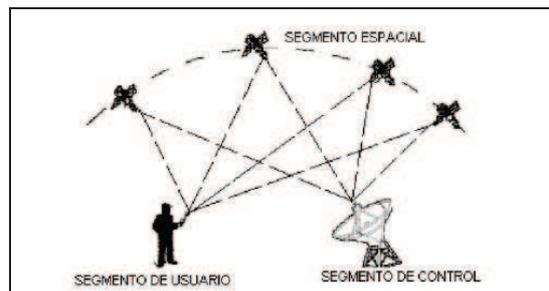


Figura 1.14 Segmentos del sistema GPS <sup>[3]</sup>

#### 1.5.1.1.1 Segmento espacial

Los satélites de la constelación no son geosincrónicos, giran en torno a la tierra en órbitas circulares inclinadas 55 grados (respecto a la línea ecuatorial) y tienen una elevación promedio de 20200 km. El período orbital es de 11 horas 58 minutos (12 horas sidéreas<sup>1</sup>), completando de esta forma dos órbitas diarias a una velocidad de 13920 Km/h aproximadamente. La vida útil promedio de los satélites es de 7,5 años aproximadamente.

<sup>1</sup>Horas sidéreas.- El tiempo que se mide por el movimiento aparente de las estrellas y más especialmente del primer punto de Aries.

Los satélites transmiten la información en dos frecuencias:

- Frecuencia portadora L1: a 1575.42 MHz, transmite los códigos *C/A*(*Coarse/Acquisition*) y *P*(*Precision Code*).
- Frecuencia portadora L2: a 1227.60 MHz, transmite información militar modulada en código *P*.
  - Nivel de potencia de la señal:  $-160$  dBW (en superficie tierra).
  - Polarización: circular dextrógira<sup>2</sup>.

En la figura 1.15 se muestra una representación de la constelación de satélites.

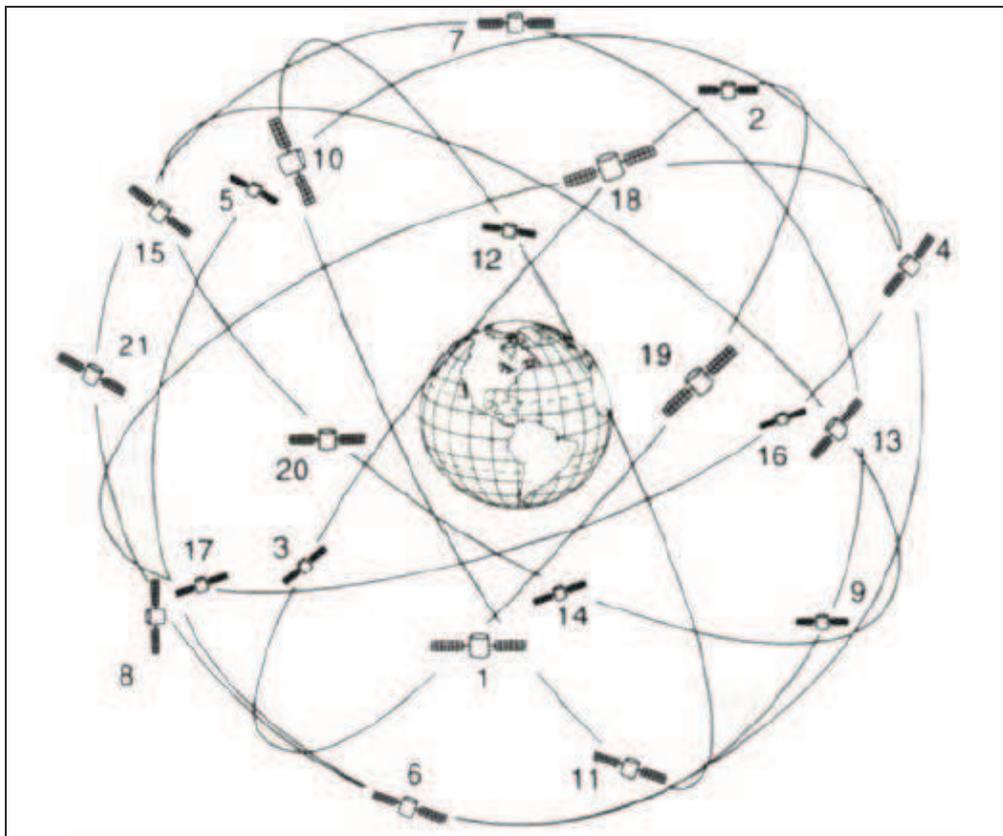


Figura 1.15 Constelación de satélites <sup>[3]</sup>

El código pseudo-aleatorio transmitido se compone de tres tipos de cadenas:

- El código de Adquisición Aproximada (*C/A*) *Coarse/Acquisition Code*, con frecuencia 1.023 MHz., utilizado por los usuarios civiles.

<sup>2</sup>Circular dextrógira.-Que gira en forma circular el mismo sentido de las agujas del reloj

- El código de Precisión (P) *Precision Code*, con una frecuencia 10 veces superior al código C/A, de uso militar y puede ser encriptado. Cuando esta encriptado se llama código Y, activando el modo de operación anti-engaños, es más difícil de captar por los receptores.

Cada satélite lleva dos relojes atómicos de Cesio y dos de Rubidio, siendo los primeros más estables para períodos cortos de tiempo y los últimos más estables para períodos largos. La sincronización de los relojes y de las frecuencias del sistema GPS se realiza desde el Segmento de Control.

El Mensaje de Navegación (la información que el satélite transmite al receptor GPS) contiene la órbita del satélite y la información de reloj. Las señales de los satélites están cronometradas usando un reloj atómico muy exacto.

#### 1.5.1.1.2 Segmento de control

Es el enlace de control que tienen los satélites y es utilizado para rastrearlos, suministrando con ello una órbita correcta en tiempo exacto. En la figura 1.16 se muestra el proceso que sigue el segmento de control.

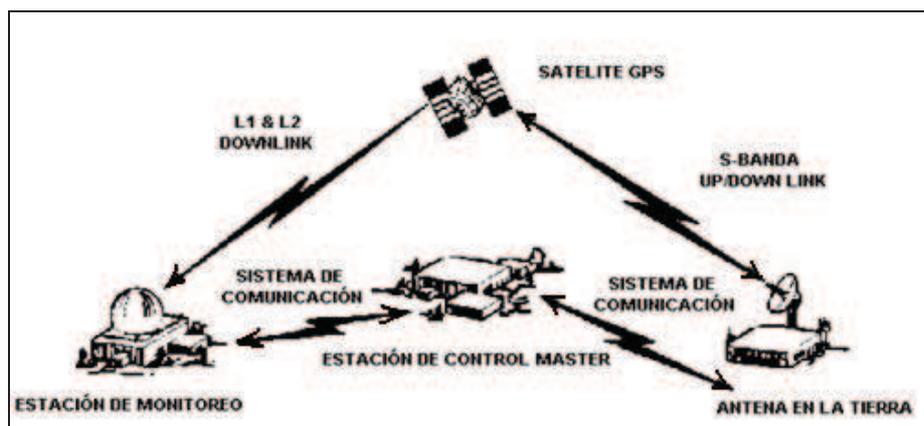


Figura 1.16 Segmento de control [3]

Las estaciones de monitoreo reciben continuamente las señales de los satélites, obteniendo la información necesaria para establecer la órbita de los mismos con

alta precisión. Los datos obtenidos por las estaciones se envían a la MCS (*Master Control Station*) Estación de Control Máster, donde son procesados para calcular datos de ajuste de órbita, los estados de los relojes y toda la información a transmitir a los satélites utilizando para ello las antenas de la tierra. Además, tienen capacidad para enviar correcciones de reloj, comandos de telemetría y otros mensajes.

En la Figura 1.17 se puede observar como ejemplo cinco estaciones de control situadas alrededor del mundo, de las cuales cuatro son estaciones de monitoreo y una es estación de control máster (MCS).



Figura 1.17 Estaciones de control [3]

#### 1.5.1.1.3 Segmento de usuario

El segmento de usuario consiste en una variedad de receptores/procesadores civiles y militares específicamente diseñados para recibir o sintonizar la señal emitida por los satélites, decodificar el mensaje de navegación, medir los tiempos de retardo y procesar los códigos que envía el satélite.

La estructura general de un receptor consta de 3 bloques funcionales: una antena para recibir la señal transmitida por el satélite, un radio receptor fase modulada PM (*Phase Modulated*) que traslada la señal a FI (Frecuencia Intermedia) y realiza el procesamiento de la señal y la demodulación del mensaje de navegación, y la unidad de control o interfaz de usuario que permite la comunicación entre el usuario y el microprocesador. Éste último controla toda la operación del receptor y realiza el procesamiento de software requerido.

En la Figura 1.18 está expuesto un ejemplo de receptor GPS que fue diseñado para dos niveles de usuarios: los que usan el SPS (*Standard Positioning Service*) Servicio de Posicionamiento Normal y los que utilizan el PPS (*Precise Positioning Service*) Servicio de Posicionamiento Preciso. El PPS está reservado para uso militar y el SPS para otros usos. La diferencia entre ambos es la precisión conseguida.



Figura 1.18 Receptores GPS [3]

A continuación se detalla las características básicas de los Receptores GPS:

- Exactitud
  - En la Posición: Teóricamente tiene una precisión aproximada de 15 m. (en el 95% del tiempo). En la realidad, un equipo GPS portátil monofrecuencia de 12 canales paralelos, ofrece una precisión de 2,5 a 3 metros en más del 95% del tiempo, y la precisión asciende de 1

a 2 metros con uno de los siguientes sistemas activados WAAS/EGNOS/MSAS (*Wide Area Augmentation System / European Geostationary Navigation Overlay Service / Multi-functional Satellite Augmentation System*).

- Hora: Se tiene una precisión de 1 nanosegundo referente a la hora atómica de los satélites.
- Cobertura: Tiene cobertura mundial
- Capacidad de usuarios: Su capacidad es ilimitada
- Sistema de coordenadas:
  - Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS84<sup>3</sup>).
  - Punto Fijo desde el centro de la Tierra.
- Integridad: Tiempo de notificación de 15 minutos o más.
- Disponibilidad: De 24 satélites el 70% y de 21 satélites el 98%. No es suficiente como medio primario de navegación.

### 1.5.1.2 Historia del GPS <sup>[3]</sup>

En 1957, la Unión Soviética lanzó al espacio el satélite Sputnik I, que era monitorizado mediante la observación del Efecto Doppler<sup>4</sup> de la señal que transmitía. Debido a este hecho, se comenzó a pensar que, de igual modo, la posición de un observador podría ser establecida mediante el estudio de la frecuencia Doppler de una señal transmitida por un satélite cuya órbita estuviera determinada con precisión.

La armada estadounidense rápidamente aplicó esta tecnología, para proveer a los sistemas de navegación de sus flotas de observaciones de posiciones actualizadas y precisas. Así surgió el sistema TRANSIT, que quedó operativo en 1964, y hacia 1967 estuvo disponible, además, para uso comercial. Las

---

<sup>3</sup> WGS84: Sistema Geodésico Mundial 1984: Es un sistema de coordenadas geográficas mundial que permite localizar cualquier punto de la Tierra

<sup>4</sup>Efecto Doppler: es la variación de la longitud de onda recibida por un observador en reposo de un emisor en movimiento o viceversa

actualizaciones de posición, en ese entonces, se encontraban disponibles cada 40 minutos y el observador debía permanecer casi estático para poder obtener información adecuada. Posteriormente, en esa misma década y gracias al desarrollo de los relojes atómicos, se diseñó una constelación de satélites, portando cada uno de ellos uno de estos relojes y estando todos sincronizados con base en una referencia de tiempo determinado.

En 1973 se combinaron los programas de la Armada y el de la Fuerza Aérea de los Estados Unidos (este último consistente en una técnica de transmisión codificada que proveía datos precisos usando una señal modulada con un código de PRN (*Pseudo-Random Nois*, ruido pseudo-aleatorio), en lo que se conoció como *Navigation Technology Program* (programa tecnológico de navegación), posteriormente renombrado como NAVSTAR GPS.

Entre 1978 y 1985 se desarrollaron y lanzaron once satélites prototipo experimentales NAVSTAR, a los que siguieron otras generaciones de satélites, hasta completar la constelación actual, a la que se declaró con «capacidad operacional inicial» en diciembre de 1993 y con «capacidad operacional total» en abril de 1995.

En 2009, este país ofreció el servicio normalizado de determinación de la posición para apoyar las necesidades de la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) y ésta aceptó el ofrecimiento.

### **1.5.1.3 Proceso de localización del GPS <sup>[3]</sup>**

La situación de los satélites puede ser determinada de antemano por el receptor con la información del llamado almanaque (un conjunto de valores con 5 elementos orbitales), parámetros que son transmitidos por los propios satélites. La colección de los almanaques de toda la constelación se completa cada 12-20 minutos y se guarda en el receptor GPS, En la figura 1.19 se presenta la fotografía de un receptor GPS en funcionamiento.

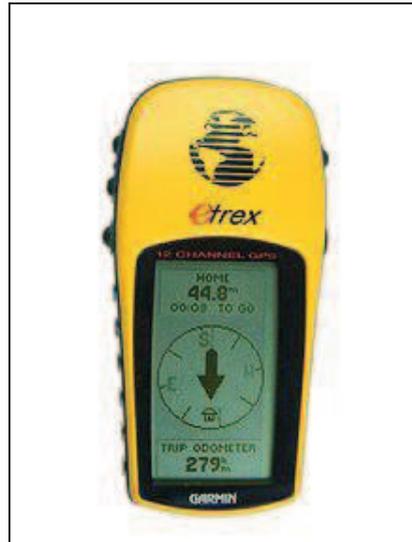


Figura 1.19 Receptor GPS [3]

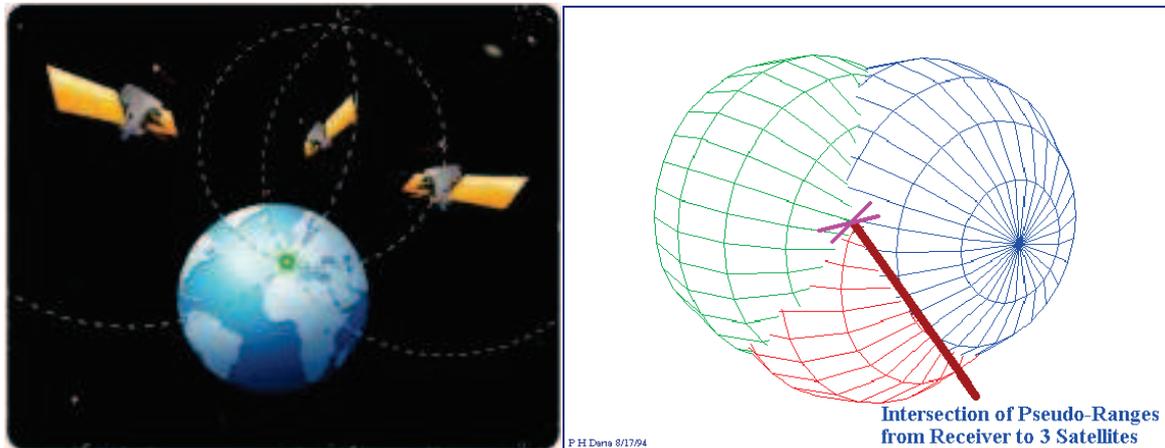
La información que es útil al receptor GPS para determinar su posición se llama efemérides. En este caso cada satélite emite sus propias efemérides, en la que se incluye la salud del satélite (si debe o no ser considerado para la toma de la posición), su posición en el espacio, su hora atómica, información doppler, etc.

El receptor GPS utiliza la información enviada por los satélites (hora en la que emitieron las señales y localización de los mismos) y trata de sincronizar su reloj interno con el reloj atómico que poseen los satélites. La sincronización es un proceso de prueba y error que en un receptor portátil ocurre una vez cada segundo. Una vez sincronizado el reloj, puede determinar su distancia hasta los satélites, y usa esa información para calcular su posición en la tierra.

Cada satélite indica que el receptor se encuentra en un punto específico sobre la superficie de la esfera, con centro en el propio satélite y como radio la distancia total hasta el receptor. Obteniendo información de dos satélites se indica que el receptor se encuentra sobre la circunferencia que resulta cuando se intersecan las dos esferas.

Si se adquiere la misma información de un tercer satélite se nota que la nueva esfera sólo corta la circunferencia anterior en dos puntos. Uno de ellos se puede descartar porque ofrece una posición absurda. De esta manera se tendría la

posición en 3D, Sin embargo, dado que el reloj que incorporan los receptores GPS no está sincronizado con los relojes atómicos de los satélites GPS, los dos puntos determinados no son precisos. En la figura 1.20 se muestra la identificación de un punto en tierra teniendo tres satélites en órbita.



**Figura 1.20 Intersección pseudo-aleatoria recibida de 3 satélites en el espacio** <sup>[19]</sup>

Teniendo información de un cuarto satélite, el inconveniente de la falta de sincronización entre los relojes de los receptores GPS y los relojes de los satélites, se elimina, y es en este momento cuando el receptor GPS puede determinar una posición 3D exacta (latitud, longitud y altitud). Al no estar sincronizados los relojes entre el receptor y los satélites, la intersección de las cuatro esferas con centro en estos satélites es un pequeño volumen en vez de ser un punto. La corrección consiste en ajustar la hora del receptor de tal forma que este volumen se transforme en un punto.

#### **1.5.1.4 Fiabilidad de datos y fuentes de error** <sup>[3]</sup>

Debido al carácter militar del sistema GPS, el Departamento de Defensa de los EE.UU. se reservaba la posibilidad de incluir un cierto grado de error aleatorio en la localización, que podía variar de los 15 a los 100 m. La llamada disponibilidad selectiva (S/A) fue eliminada el 2 de mayo de 2000. Aunque actualmente no aplique tal error inducido, la precisión intrínseca del sistema GPS depende del número de satélites visibles en un momento y posición determinados.

Con un elevado número de satélites siendo captados (7, 8 o 9 satélites), y si éstos tienen una geometría adecuada (están dispersos), pueden obtenerse precisiones inferiores a 2,5 metros en el 95% del tiempo. Si se activa el sistema DGPS llamado SBAS (WAAS-EGNOS-MSAS), la precisión mejora siendo inferior a un metro en el 97% de los casos. Estos sistemas SBAS no se aplican en Sudamérica, ya que esa zona no cuenta con este tipo de satélites geoestacionarios. En la figura 1.21 se muestra la constelación del sistema de posicionamiento global en conjunto con la rotación de la Tierra.

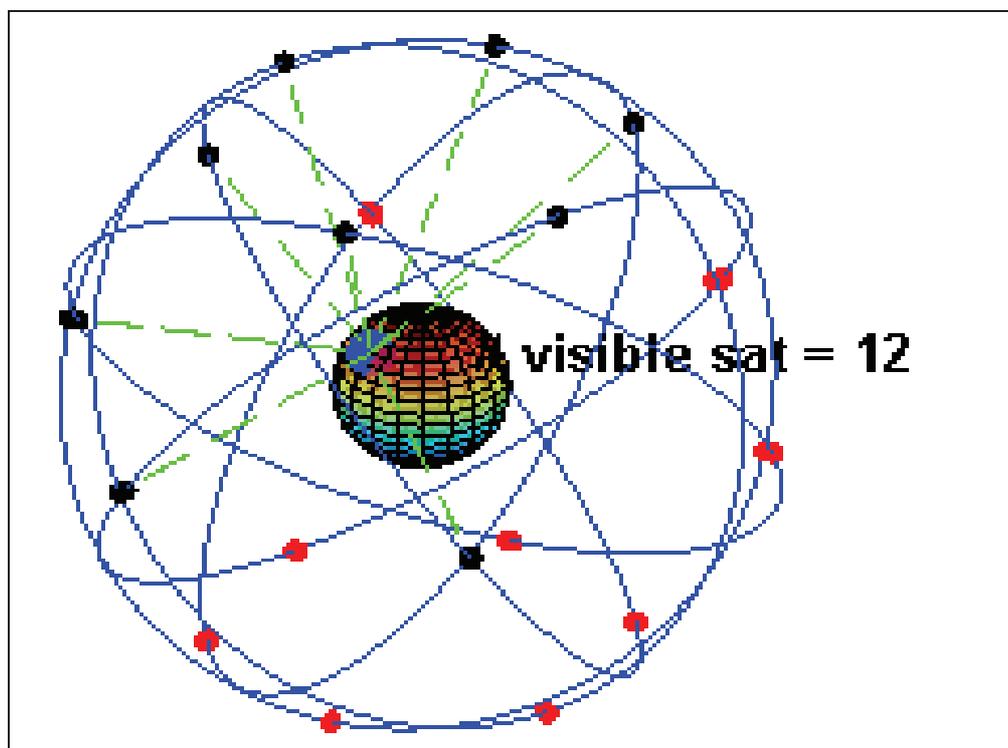


Figura 1.21 Constelación GPS en conjunción con la rotación de la Tierra <sup>[3]</sup>

La posición calculada por un receptor GPS requiere el instante actual, la posición del satélite y el retraso medido de la señal recibida. La precisión es dependiente de la posición y el retraso de la señal como se representa en la figura 1.21.

Al introducir el retraso, el receptor compara una serie de bits (unidad binaria) recibida del satélite con una versión interna. Cuando se comparan los límites de la serie, se puede fijar la diferencia al 1% de un tiempo BIT, o aproximadamente 10 nanosegundos por el código C/A. Desde entonces las señales GPS se propagan

a la velocidad de luz, que representa un error de 3 metros. Este es el error mínimo posible usando solamente la señal GPS C/A. En la tabla 1.1 se detallan varias razones que perjudican la precisión dependiendo de la fuente.

**Tabla 1.1 Pérdidas de precisión dependiendo de la fuente** <sup>[3]</sup>

Fuente	Efecto
Ionosfera	± 5 m
Efemérides	± 2,5 m
Reloj satelital	± 2 m
Distorsión multibandas	± 1 m
Troposfera	± 0,5 m
Errores numéricos	± 1 m o menos

- Retraso de la señal en la ionosfera y la troposfera.
- Señal multiruta, producida por el rebote de la señal en edificios y montañas cercanos.
- Errores de orbitales, donde los datos de la órbita del satélite no son completamente precisos.
- Número de satélites visibles.
- Geometría de los satélites visibles.
- Errores locales en el reloj del GPS.

#### **1.5.1.5 DGPS o GPS diferencial** <sup>[3]</sup>

El DGPS (*Differential GPS*), o GPS diferencial, es un sistema que proporciona a los receptores de GPS correcciones de los datos recibidos de los satélites GPS, con el fin de suministrar una mayor precisión en la posición calculada. Se concibió fundamentalmente debido a la introducción de la disponibilidad selectiva (SA).

En la figura 1.22 se muestra la estación Leica de referencia sobre el sistema de posicionamiento global diferencial.



**Figura 1.22 Estación Leica de referencia DGPS <sup>[3]</sup>**

El fundamento radica en el hecho de que los errores producidos por el sistema GPS afectan por igual (o de forma muy similar) a los receptores situados próximos entre sí. Los errores están fuertemente correlacionados en los receptores próximos.

Un receptor GPS fijo en tierra (referencia) que conoce exactamente su posición basándose en otras técnicas, recibe la posición dada por el sistema GPS, y puede calcular los errores producidos por el sistema GPS, comparándola con la suya, conocida de antemano. Este receptor transmite la corrección de errores a los receptores próximos a él, y así éstos pueden, a su vez, corregir también los errores producidos por el sistema dentro del área de cobertura de transmisión de señales del equipo GPS de referencia.

En suma, la estructura DGPS quedaría de la siguiente manera:

- Estación monitorizada (referencia), que conoce su posición con una precisión muy alta. Esta estación está compuesta por:
  - Un receptor GPS.

- Un microprocesador, para calcular los errores del sistema GPS y para generar la estructura del mensaje que se envía a los receptores.
- Transmisor, para establecer un enlace de datos unidireccional hacia los receptores de los usuarios finales.
- Equipo de usuario, compuesto por un receptor DGPS (GPS + receptor del enlace de datos desde la estación monitorizada).

Existen varias formas de obtener las correcciones DGPS. Las más usadas son:

- Recibidas por radio, a través de algún canal preparado para ello, como el RDS (Radio Data System) en una emisora de FM (Frecuencia Modulada).
- Descargadas de Internet, o con una conexión inalámbrica.
- Proporcionadas por algún sistema de satélites diseñado para tal efecto. En Estados Unidos existe el WAAS (Wide Area Augmentation System) Sistema de Aumentación de Área Ampliada, en Europa el EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay Service*) Servicio Complementario de Navegación Geoestacionario Europeo, y en Japón el MSAS (*Multi-functional Satellite Augmentation System*) Sistema Satelital de Aumentación Multifuncional, todos compatibles entre sí.

En los mensajes que se envían a los receptores próximos se pueden incluir dos tipos de correcciones:

- Una corrección directamente aplicada a la posición. Esto tiene el inconveniente de que tanto el usuario como la estación monitorea deberán emplear los mismos satélites, pues las correcciones se basan en esos mismos satélites.
- Una corrección aplicada a las pseudo distancias de cada uno de los satélites visibles. En este caso el usuario podrá hacer la corrección con los 4 satélites de mejor relación señal-ruido (S/N). Esta corrección es más flexible.

El error producido por la disponibilidad selectiva (SA), varía incluso más rápido que la velocidad de transmisión de los datos. Por ello, junto con el mensaje que

se envía de correcciones, también se envía el tiempo de validez de las correcciones y sus tendencias. Por tanto, el receptor deberá hacer algún tipo de interpolación para corregir los errores producidos.

Si se deseara incrementar el área de cobertura de correcciones DGPS y, al mismo tiempo, minimizar el número de receptores de referencia fijos, será necesario modelar las variaciones espaciales y temporales de los errores. En tal caso se estaría hablando del GPS diferencial de área amplia.

Con el DGPS se pueden corregir en parte los errores debidos a:

- Disponibilidad selectiva (eliminada a partir del año 2000).
- Propagación por la ionosfera - troposfera.
- Errores en la posición del satélite (efemérides).
- Errores producidos por problemas en el reloj del satélite.

Para que las correcciones DGPS sean válidas, el receptor tiene que estar relativamente cerca de alguna estación DGPS; generalmente, a menos de 1000 km. Las precisiones que manejan los receptores diferenciales son centimétricas, por lo que pueden ser utilizados en ingeniería.

#### **1.5.1.6 Tipos de coordenadas (UTM Y geográficas) <sup>[7]</sup>**

En la navegación GPS existen dos tipos de Coordenadas a tener en cuenta:

- El Sistema de Coordenadas Universal Transversal de Mercator (UTM).
- El Sistema de Coordenadas Geográficas.

##### ***1.5.1.6.1 Sistema de coordenadas UTM***

Expresadas en X, Y, el número del huso y la letra de la zona de localización, el sistema de coordenadas UTM se basa en la proyección geográfica transversa de Mercator<sup>5</sup>, que se construye como la proyección de Mercator normal, pero en vez

---

<sup>5</sup>Mercator: Nombre procedente del matemático y geógrafo llamado Gerardus Mercator.

de hacerla tangente al Ecuador, se la hace tangente a un meridiano. A diferencia del sistema de coordenadas tradicional, expresadas en latitud y longitud, las magnitudes en el sistema UTM se expresan en metros únicamente al nivel del mar que es la base de la proyección del elipsoide de referencia. Actualmente se usa el elipsoide WGS84 como modelo de base para el sistema de coordenadas UTM. El WGS84 (*World Geodetic System 1984*) es un sistema de coordenadas mundiales, que data de 1984, que es la base para sistemas de posicionamiento globales como el GPS. Es un elipsoide que tiene los siguientes parámetros:

- Semieje Mayor a: 6 378 137 m
- Semieje Menor b: 6 356 752,3142 m
- Achatamiento f: 1/298,257223563
- Producto de la Constante Gravitacional (G) y la Masa de la Tierra (M):  $GM = 3,986004418 \times 10^{14} \text{ m}^3/\text{s}^2$
- Velocidad Angular de la Tierra  $\omega$ :  $7,292115 \times 10^{-5} \text{ rad/s}$ .

En la figura 1.23 se muestra el mapa de la Tierra en husos y zonas UTM que se divide en cuadrículas representadas por coordenadas.

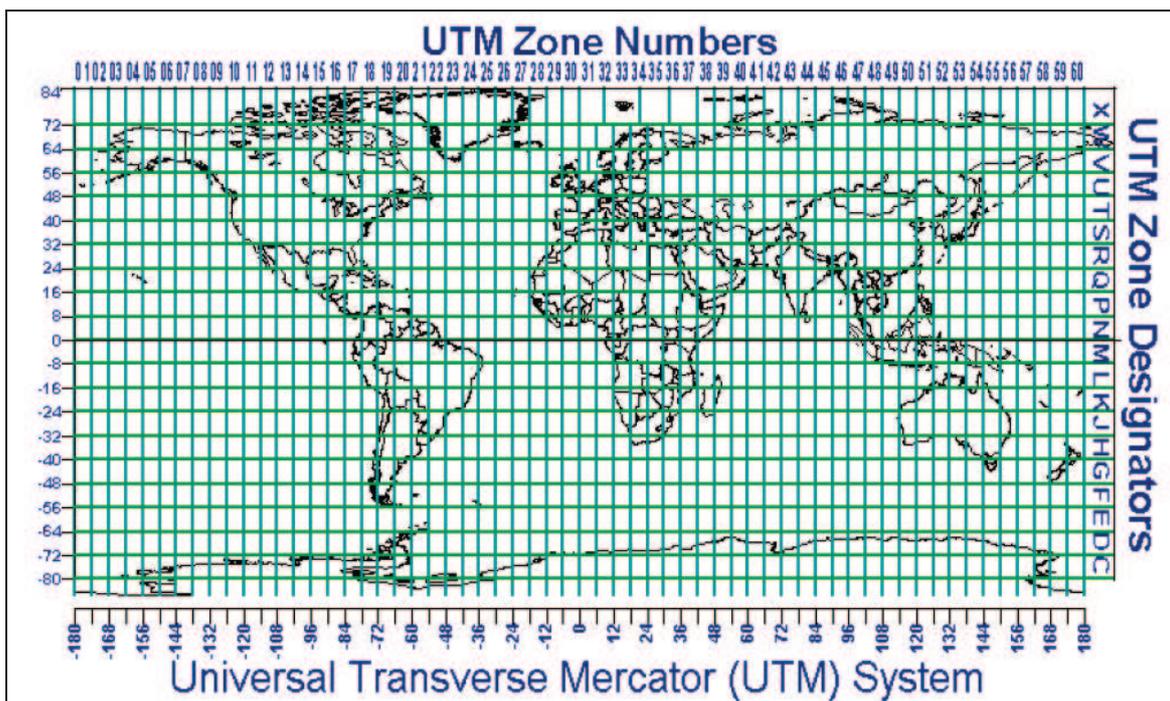


Figura 1.23 Mapa de distribución de las zonas UTM [3].

Los husos se dividen en 60 de 6° de Longitud, la zona de proyección de la UTM se define entre los paralelos 80°S y 84°N. Los husos se numeran del 1 al 60, estando el primer huso limitado entre las longitudes 180° y 174° W y centrado en el meridiano 177° W. Cada huso tiene asignado un meridiano central, que es donde se sitúa el origen de coordenadas, junto con el Ecuador. Los husos se numeran en orden ascendente hacia el este.

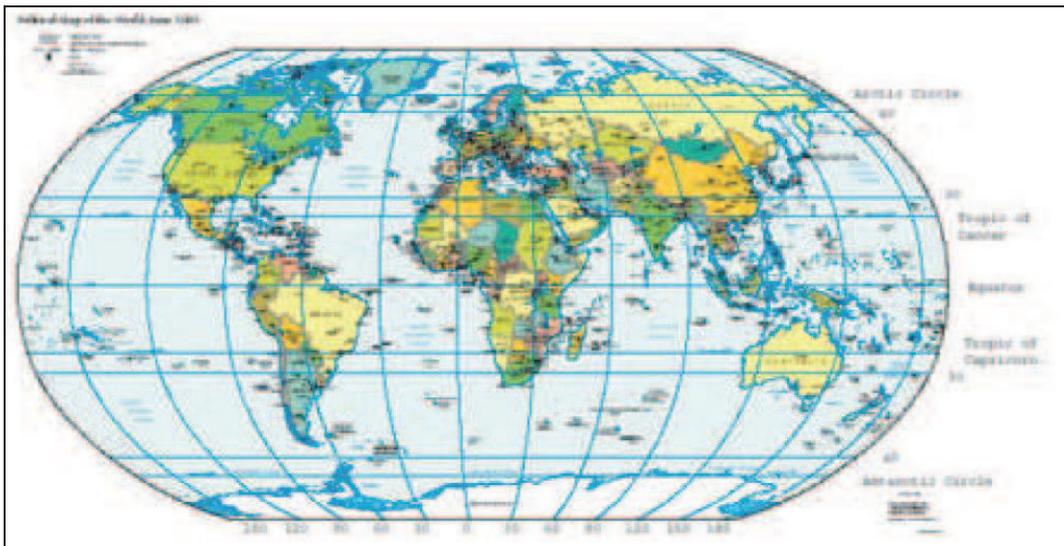
Las zonas se divide en 20 de 8° de Latitud, que se denominan con letras desde la C hasta la X, excluyendo las letras "I" y "O", por su parecido con los números uno (1) y cero (0), respectivamente. Puesto que es un sistema norteamericano (estadounidense), tampoco se utiliza la letra "Ñ". La zona C coincide con el intervalo de latitudes que van desde 80° S (o -80° latitud) hasta 72° S (o -72° latitud). Las zonas polares no están consideradas en este sistema de referencia. Para definir un punto en cualquiera de los polos, se usa el sistema de coordenadas UPS (*Universal Polar Stereographic*). Si una zona tiene una letra después o igual a la "N", la zona está en el hemisferio norte, mientras que está en el hemisferio sur si su letra esta antes de la "N".

Una coordenada UTM tiene el aspecto 30T 567890 45123566. El 30T indicaría en que cuadrícula UTM se está, el 567890 la coordenada 'Norte' y el 45123566 la coordenada 'Este', desde la posición que se tiene dentro de la cuadrícula. Estas dos coordenadas normalmente vienen en metros, con una precisión de 1m, pero UTM puede definir además de puntos, regiones con tan sólo eliminar cifras de precisión de las coordenadas.

#### ***1.5.1.6.2 Sistema de coordenadas geográficas***

El sistema de coordenadas geográficas se representan en latitud (coordenada horizontal) y longitud (coordenada vertical), y se expresan en grados (°), minutos (') y segundos ("). El sistema determina todas las posiciones de la superficie terrestre utilizando las dos coordenadas angulares de un sistema de coordenadas esféricas que está alineado con el eje de rotación de la Tierra. Éste define dos ángulos medidos desde el centro de la Tierra.

La latitud mide el ángulo entre cualquier punto y el Ecuador. Las líneas de latitud se llaman paralelos y son círculos paralelos al Ecuador en la superficie de la Tierra. La longitud mide el ángulo a lo largo del Ecuador desde cualquier punto de la Tierra, siendo círculos máximos que pasan por los polos y se llaman meridianos, características que se reflejan en la figura 1.24 donde se muestra las líneas de latitud y longitud del mapa de la Tierra.



**Figura 1.24** Mapa de la Tierra mostrando las líneas de latitud y longitud <sup>[3]</sup>

Combinando estos dos ángulos, se puede expresar la posición de cualquier punto de la superficie de la Tierra. Una coordenada geográfica sería, Lat.: 28°31'36" N (Norte o Sur), Long.: 7°16'7" E (Este u Oeste-W).

La línea ecuatorial es un elemento importante de este sistema de coordenadas; representa el cero de los ángulos de latitud y el punto medio entre los polos. Es el eje fundamental del sistema de coordenadas geográficas.

#### **1.5.1.7 Norma NMEA 0183**

El receptor GPS usado en este proyecto cumple con la norma NMEA 0183, esta norma es una especificación de datos electrónicos y combinados para la comunicación entre dispositivos electrónicos marinos, tales como: ecosondas,

sonares, piloto automáticos, girocompás, anemómetros, en este caso GPS receptores y muchos otros instrumentos. Ha sido definido y es controlado por la estadounidense *National Marine Electronics Association* del cual lleva sus iniciales.

En la actualidad está vigente la versión 4.0, una copia completa de este estándar está disponible para su compra en la página web de la NMEA; o, en el caso de ser una empresa constructora de estos equipos GPS receptores es gratuita siempre y cuando la empresa sea legal y se registre con anterioridad.

La comunicación de los receptores GPS se define dentro de esta especificación, ya que la mayoría de los programas computacionales que proporcionan información de la posición en tiempo real, se entiende y espera que los datos estén en formato NMEA. Estos datos incluyen el PVT completo (posición, velocidad, tiempo) que es la solución calculada por el receptor GPS.

La idea de NMEA es el envío de una línea de datos llamada trama que es totalmente autónoma e independiente de otros datos. Hay tramas estándar para cada categoría de dispositivos, y también existe la posibilidad de definir tramas de propiedad para su uso por la empresa en cuestión. Todas las líneas de datos estándar tienen un prefijo de dos letras, que define el dispositivo que utiliza ese tipo de trama. Para los receptores GPS es el prefijo GP. Seguido por una secuencia de tres letras que define el contenido de la sentencia.

Además NMEA permite fabricar hardware para definir sus propias tramas de propiedad con cualquier fin, puesto que lo consideran necesario. Todas las frases de propiedad comienzan con la letra P y son seguidas con tres letras que identifican al fabricante para controlar esa trama. Por ejemplo, una trama de un equipo Garmin comenzaría con PGRM mientras que la de un equipo Magellan inicia con PMGN.

Cada trama comienza con el símbolo "\$" y termina con un retorno de carro o secuencia de salto de línea y puede haber hasta 80 caracteres de texto visible

más los terminadores de línea. Los datos están contenidos dentro de una única línea y separados por comas, siendo sólo de texto ASCII y extendiéndose durante varias tramas, normalmente contenido en una trama de longitud variable. Estos datos pueden variar en la cantidad de precisión contenida en el mensaje receptado. Por ejemplo, el tiempo podría estar indicado por partes decimales de un segundo o la ubicación puede mostrarse con 3 o 4 dígitos después del punto decimal.

Los programas que leen los datos sólo deben utilizar las comas para determinar los límites del campo y no tomar el dato usando las posiciones de la columna. Hay una suma de comprobación al final de cada trama, que pueden o no ser controladas por la unidad que lee los datos. El checksum consiste en un '\*' y dos dígitos hexadecimales que representan un OR exclusivo de 8 bits realizado entre todos los caracteres, excluyendo, el '\$' y '\*', siendo necesario en algunas tramas.

Algunos receptores GPS ofrecen la posibilidad de configurar un conjunto de tramas personalizadas, mientras que otros pueden ofrecer un conjunto de tramas fijas. Muchos receptores GPS de salida son simplemente un conjunto fijo de tramas que no se puede cambiar por el usuario.

A continuación un ejemplo de la norma NMEA conjunto de tramas o datos emitidos por el equipo receptor GPS de marca Garmin eTrex Vista versión 2.42, donde resaltaremos la trama RMC.

```
$GPRMC,123519,A,4807.038,N,01131.000,E,0.224,084.4,230394,003.1,W*6A
$ GPRMB,un,,,,,,,,,A,A*0B
GPGGA $, 023042,3907.3837,N,12102.4684, W,1,04,2.3,507.3,M,-24.1,M,,*75
GPGSA $,A,3,04,05,,,09,24,,,,,2.8,2.3,1.0*36
$ GPGSV,3,2,11,09,47,229,42,10,04,157,00,14,00,305,00,24,70,154,33,*79
$ GPGLL,3907.3837,N,12102.4684,W,023.042,A,A5E *M
$ GPBOD,T,,, *47
$ GPVTG,156.1,T,140.9,H,0.0,N,0.0,K*41
PGRME $,8.4,M,23.8,M,25.7,M*2B
PGRMZ $,1735,f*34
$ PGRMM,WGS84*06
$ HCHDG,,,15.3,E*30
GPRTE $,1,1,c,*37
```

\$ GPRMC,023044,A,N,3907,3840,12102.4692,W,0.0,156.1,131102,15.3,E,A\*37

NMEA tiene su propia trama de datos GPS básica de PVT (posición, velocidad, tiempo), Esta es llamada RMC (Recommended Minimum Sentence C), datos mínimos recomendados, la cual lucirá de la siguiente manera:

Donde:

RMC	Datos Mínimos recomendados.
123519	Hora 12:35:19 UTC ( <i>Universal Time Clock</i> )
A	Estado de la trama "A" activa, "V" no valida
4807.038,N	Latitud 48 grados 07.038' Norte
01131.000,E	Longitud 11 grados 31.000' Este
022.4	Velocidad sobre la tierra en nudos
084.4	Seguimiento del ángulo en grados
230394	Fecha 23 de Marzo 1994
003.1,w	variación magnética
*6A	Datos de Checksum, siempre inicia con "**"

#### ***1.5.1.7.1 Hardware de conexión***

La interfaz de hardware para los receptores GPS está diseñado para satisfacer los requisitos NMEA. También son compatibles con la mayoría de los puertos seriales de un computador a través de protocolos RS-232, sin embargo en sentido estricto la norma NMEA no es RS232 y se recomienda el uso de la norma EIA-422. La velocidad de la interfaz se puede ajustar en algunos modelos, pero el estándar NMEA es de 4800 bps (bits por segundo) con 8 bits de datos, sin paridad y un bit de parada. Todas las unidades que soportan NMEA deben soportar esta velocidad. Note que en una velocidad en bps de 4800, se puede fácilmente enviar suficientes datos dentro de un segundo de tiempo pero no todos. Por esta razón, algunas unidades sólo envían actualizaciones cada dos segundos, o pueden enviar datos cada segundo, mientras que reserva otros datos que se envían con menos frecuencia.

Con 4800 bps sólo se puede enviar 480 caracteres en un segundo, y utilizando una trama de datos NMEA puede ser tan largo como 82 caracteres que se puede limitar a menos de 6 datos diferentes. El límite real es determinado por las instrucciones específicas utilizadas, pero esto demuestra que es fácil de rebasamiento de la capacidad si desea respuesta rápida. NMEA está diseñado para ejecutarse como un proceso en el fondo de indicar a cabo las instrucciones que son capturadas, según sea necesario por el programa que utiliza. Algunos programas no pueden hacer esto y muestran la secuencia de datos, utilizándolos para la visualización de la pantalla y, a continuación muestra nuevamente dichos datos. Dependiendo del tiempo necesario para utilizar la información, no se puede indicar fácilmente un desfase de 4 segundos en la capacidad de respuesta a los datos modificados. Esto puede estar bien en algunas aplicaciones, pero totalmente inaceptable en otros. Por ejemplo, un automóvil que viaja a 100 km/h, recorrerá 28 metros en un segundo y varios segundos de retraso podrían hacer que todo el sistema parezca que no responde y podría causar pérdidas.

El estándar NMEA ha existido desde el año 1983 y ha sufrido varias revisiones. El protocolo ha cambiado y el número y tipos de tramas pueden ser diferentes dependiendo de la revisión. La mayoría de los receptores GPS entienden la norma 0183 versión 2. Esta norma propone una velocidad de transferencia de 4800 bps. Algunos receptores también entienden las normas más antiguas, siendo el más antiguo estándar de 0180 seguido por el 0182 que transfiere los datos a 1200 bps. Una versión anterior de 0183 y la versión 1.5 es también entendida por algunos receptores, algunas unidades de Garmin y otras marcas se pueden establecer en 9600 para la salida NMEA o incluso superiores, pero esto sólo se recomienda si se ha determinado que 4800 funciona bien y entonces se puede tratar de establecer con mayor rapidez. Si se configura la comunicación para trabajar tan rápido como sea posible, puede mejorar la capacidad de respuesta del programa.

Para poder utilizar la interfaz de hardware se requiere un cable, en general, es único en el modelo de hardware por lo que se necesitará un cable fabricado especialmente para la marca y el modelo de la unidad de su propiedad. Algunas

de las últimas computadoras ya no incluyen un puerto serial, sólo usan un puerto USB. Por lo que la mayoría de los receptores GPS trabajan con adaptadores seriales a USB y los puertos seriales se comunican a través de la PCMCIA (Tarjeta de PC). Para uso general NMEA de un receptor GPS sólo se necesita de dos conductos en el cable, los datos desde el GPS y datos desde la tierra. Un tercer cable, sirve para el ingreso de datos, que se necesita si se espera que el receptor ingrese información como cargar puntos referenciales (*waypoints*) o enviar información desde la torre DGPS.

Los receptores GPS se pueden utilizar para interactuar con otros dispositivos NMEA como pilotos automáticos, localizadores, o incluso otros receptores GPS. También puede utilizar receptores diferenciales Beacon, que pueden enviar datos utilizando el RTCM SC-104 estándar. Estos datos son consistentes con los requisitos de hardware para los datos de entrada NMEA.

#### ***1.5.1.7.2 Tipos de tramas NMEA***

La NMEA se compone de tramas, la primera mediante un tipo de datos que define la interpretación del resto de tramas. Cada tipo de datos tiene su propia interpretación y se define en el estándar NMEA. La sentencia GGA muestra un ejemplo que proporciona la corrección a los datos esenciales. Otras tramas pueden repetir la misma información, pero también son una fuente de nuevos datos. Cualquier dispositivo o programa que lee los datos, puede ver la trama de la información que está interesado y simplemente ignorar otras tramas que no le sirven. En el estándar NMEA no hay comandos para indicar que el GPS debe hacer algo diferente ya que el receptor sólo envía todos los datos. Algunos receptores tienen comandos dentro de la unidad en donde se puede seleccionar un subconjunto de todas las tramas o, en algunos casos las tramas individuales para enviar. No hay forma de indicar nada nuevo a la unidad en cuanto a la correcta lectura de la sentencia o para solicitar un nuevo envío de algunos datos que no recibió. En cambio, la unidad receptora sólo verifica la suma de

comprobación e ignora las referencias incorrectas, calculando los datos que serán enviados posteriormente.

Hay muchas tramas en el estándar NMEA para todo tipo de dispositivos que pueden utilizarse en un entorno marino. Algunos tienen aplicabilidad a los receptores GPS, utilizando los siguientes términos: (Todos los mensajes comienzan con GP). A continuación se presenta un listado:

*AAM Waypoint Arrival Alarm* – Alarma de llegada de un punto de referencia.

*ALM Almanac Data* – Datos de Almanaque

*APA Auto Pilot A sentence* – Piloto automático tipo A

*APB Auto Pilot B sentence* – Piloto automático tipo B

*BOD Bearing Origin to Destination* – Ruta de origen al destino

*BWC Bearing Using Great Circle Route* – Ruta usando Gran círculo para llegar al destino

*DTM Datum Being Used* – Datos están siendo utilizados

*GGA Fix Information* – Información para corrección

*GLL Lat/Lon Data* – Datos Latitud/Longitud

*GRS GPS Range Residuals* – Rangos Residuales GPS

*GSA Overall Satellite Data* – Datos generales para satélite

*GST GPS Pseudorange Noise Statistics* – Estadísticas ruido pseudorange GPS

*GSV Detailed Satellite Data* – Datos detallados por satélite

*MSK Send Control for a Beacon Receiver* – Señal de control para receptor Beacon

*MSS Beacon Receiver Status Information* – Información estado de receptor Beacon

*RMA Recommended Loran Data* – Datos Loran recomendados

*RMB Recommended Navigation Data for GPS* – Datos navegación recomendados a GPS

*RMC Recommended Minimum Data for GPS* – Datos mínimos recomendados para GPS

*RTE Route Message* – Mensaje de ruta

*TFR Transit Fix Data* – Datos Fijos de Tránsito

*STN Multiple Data ID* – Múltiples Datos de identificación

*VBW Dual Ground / Water Speed* – Velocidad dual del suelo/agua

*VTG Vector Trackan Speed Over the Ground* – Seguimiento vector velocidad en el suelo

*WCV Waypoint Closure Velocity* – Puntos de referencia de velocidad de cierre.

*WPL Waypoint Location information* – Información de localización de puntos de interés

*XTC Cross Track Error* – Error vía transversal

*XTE Measured Cross Track Error* – Medida del error vía transversal

ZTG *Zulu time and time to go (to destination)* – Tiempo en el meridiano y de llegada al destino

ZDA Date and Time- Fecha y hora

Algunos receptores de GPS tienen capacidades especiales de salida para estos mensajes especiales.

HCHDGHCHDG – Salida de la brújula

PSLIBPSLIB – Control remoto para un receptor DGPS

Además, algunos receptores GPS pueden imitar a receptores Loran-C adicionando el prefijo CL en lugar del prefijo GP en algunos de sus mensajes enviados para poder conectar a equipos que esperan y entienden estos prefijos.

La última versión 2 de la norma NMEA fue la 2.3 en donde se agregó un indicador de modo que en varias tramas sea utilizado para indicar el tipo de receptor que tiene actualmente. Esta indicación es parte de la información necesaria y de la integridad de la señal. El valor puede ser A = autónomo, D = diferencia, E = estimado, N = no es válida, S = simulador. A veces puede haber un valor nulo también. Sólo los valores A y D corresponden a una instrucción activa y fiable. Este modo de caracteres ha sido añadido a las tramas de datos de RMC, RMB, VTG, y GLL y, opcionalmente en algunos otras tramas de datos incluyendo BWC y XTE.

### **1.5.1.8 Aplicaciones del sistema GPS**

#### ***1.5.1.8.1 Aplicaciones civiles***

Dentro de estas aplicaciones, se detallan los siguientes conceptos:

- Navegación terrestre incluyendo la peatonal, marítima y aérea. Bastantes automóviles lo incorporan en la actualidad, siendo de especial utilidad para encontrar direcciones o indicar situaciones.
- Teléfonos móviles.

- Topografía y geodesia.
- Localización agrícola (agricultura de precisión), ganadera y de fauna.
- Salvamento y rescate.
- Deporte, acampada y ocio.
- Para localización de enfermos, discapacitados y menores.
- Aplicaciones científicas en trabajos de campo (ver geomática).
- Geocaching, actividad deportiva consistente en buscar "tesoros" escondidos por otros usuarios.
- Para rastreo y recuperación de vehículos.
- Navegación deportiva.
- Deportes aéreos: parapente, ala delta, planeadores, etc.
- Existe quien dibuja usando tracks o juega utilizando el movimiento como cursor (común en los GPS Garmin).
- Sistemas de gestión y seguridad de flotas.

En la figura 1.25, se presenta la Pantalla de un Navegador GPS de pantalla táctil con información sobre la ruta, distancias y tiempo de llegada.



Figura 1.25 Navegador GPS<sup>[3]</sup>

#### 1.5.1.8.2 Aplicaciones militares

Las opciones en las que se emplea estas aplicaciones son:

- Navegación terrestre, aérea y marítima.
- Guiado de misiles y proyectiles de diverso tipo.
- Búsqueda y rescate.
- Reconocimiento y cartografía.
- Detección de detonaciones nucleares.

## 1.5.2 COMUNICACIÓN SERIAL RS232 <sup>[15]</sup>

El estándar EIA/TIA 232 de la EIA, originalmente denominado **RS232** (*Recommended Standard 232*), describe los aspectos eléctricos, niveles de las señales, formato de los datos y mecanismos. Es un interfaz que designa una norma para el intercambio serial de datos binarios entre un DTE (*Data Terminal Equipment*, Equipo terminal de Datos) y un DCE (*Data Communication Equipment*, Equipo de Comunicación de datos).

El RS-232 dispone de un conector tipo DB-25 (de 25 pines), aunque es normal encontrar la versión de 9 pines (DB-9), más barato, por menor tamaño e incluso más extendido para cierto tipo de periféricos. En la figura 1.26 se muestra el conector DB9 hembra utilizado para el cable cruzado de la interfaz de comunicación serial entre el prototipo y el computador.



Figura1.26 Conector RS-232 (DE-9 hembra) <sup>[15]</sup>

### 1.5.2.1 Características eléctricas de las señales <sup>[16]</sup>

Los siguientes criterios son los que se aplican a las características eléctricas de cada una de las líneas:

- La magnitud de un voltaje en circuito abierto no excederá los 25 V.
- El conductor será apto para soportar un corto con cualquier otra línea en el cable sin daño a sí mismo o a otro equipamiento, y la corriente de cortocircuito no excederá los 0,5 A.

- Las señales se considerarán en el estado de MARCA, (nivel lógico “1”), cuando el voltaje sea más negativo que - 3 V con respecto a la línea de Signal Ground<sup>6</sup>. Las señales se considerarán en el estado de ESPACIO, (nivel lógico “0”), cuando el voltaje sea más positivo que +3 V con respecto a la línea Signal Ground. La gama de voltajes entre -3 V y +3 V se define como la región de transición, donde la condición de señal no está definida.
- La impedancia de carga tendrá una resistencia a DC de menos de 7000  $\Omega$  al medir con un voltaje aplicado de entre 3 a 25 V pero mayor de 3000  $\Omega$  cuando se mida con un voltaje de menos de 25 V.
- Cuando la resistencia de carga del terminal encuentra los requerimientos de la regla 4 anteriormente dicha, y el voltaje del terminal de circuito abierto está a 0 V, la magnitud del potencial de ese circuito con respecto a Signal Ground estará en el rango de 5 a 15 V.
- El driver de la interfaz mantendrá un voltaje entre -5 a -15 V relativos a la Signal Ground para representar una condición de MARCA. El mismo driver mantendrá un voltaje de entre 5 V a 15 V relativos a Signal Ground para simbolizar una señal de ESPACIO. Obsérvese que esta regla junto con la Regla 3, permite 2 V de margen de ruido. En la práctica, se utilizan -12 y 12 V respectivamente.
- El driver cambiará el voltaje de salida hasta que no se excedan 30 V/ $\mu$ s, pero el tiempo requerido por la señal para pasar de -3 V a +3 V de la región de transición no podrá exceder 1 ms, o el 4% del tiempo de un bit.

En la tabla 1.2 se presenta las conversiones de los niveles lógicos a los rangos de voltaje para el estándar RS232.

**Tabla 1.2 Niveles de voltajes de COM RS232** <sup>[15]</sup>

Voltaje	Señal	Nivel Lógico	Control
+3 a +15	Espacio	0	On
-3 a -15	Marca	1	Off

<sup>6</sup>Signal Ground: todos los voltajes están con respecto a la señal de tierra

### 1.5.2.2 Comunicación asincrónica <sup>[16]</sup>

A diferencia de la comunicación serial sincrónica, en la comunicación serial asincrónica no se necesitan señales de reloj. La duración de cada bit está determinada con anterioridad por la velocidad de transmisión con la cual se realiza la transferencia de datos. En la figura 1.27 se muestra un ejemplo con la estructura de un carácter que se transmite en forma serial asincrónica con niveles TTL.

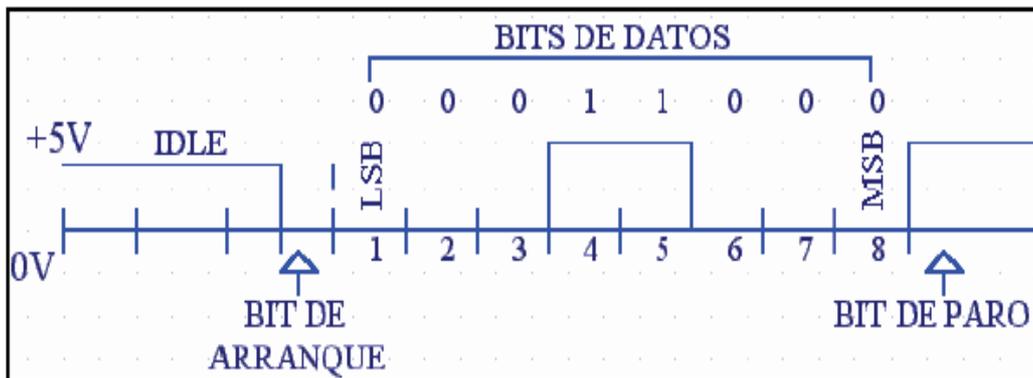


Figura 1.27 Estructura de un carácter en comunicación asincrónica <sup>[16]</sup>

Normalmente cuando no se realiza ninguna transferencia de datos, la línea del transmisor se encuentra en estado alto.

Para iniciar la transmisión de datos, el transmisor coloca esta línea en bajo durante determinado tiempo, lo cual se lo conoce como bit de inicio (start bit) y a continuación empieza a transmitir con un intervalo de tiempo los bits correspondientes al dato, empezando siempre por el bit menos significativo (LSB) y terminando con el bit más significativo (MSB).

Por lo tanto el transmisor y el receptor deberán tener los mismos parámetros de velocidad, paridad, número de bits del dato transmitido y del bit de parada. En nuestro proyecto utilizamos la velocidad de transmisión de 4800 bps con 8 bits de datos, un bit de parada y sin bit de paridad.

### 1.5.2.3 Conector tipo DB9

En la figura 1.28 se observa los 2 tipos de conectores DB9 (Macho y Hembra) con la numeración de sus pines.

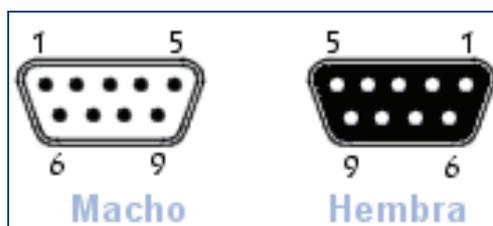


Figura 1.28 Conectores DB9 (Macho y Hembra)

La interfaz DB9 es un conector analógico de 9 pines, de la familia de conectores D-Subminiature (D-Sub o Sub-D). Se utiliza principalmente para conexiones en serie, ya que permite una transmisión asíncrona de datos según lo establecido en la norma RS-232 (RS-232C). En la tabla 1.3 se detalla los pines del conector DB9 y su identificación.

Tabla 1.3 Pines del conector DB9

Número de pines	Nombre
1	CD: Detector de transmisión
2	RXD: Recibir datos
3	TXD: Transmitir datos
4	DTR: Terminal de datos lista
5	GND: Señal de tierra
6	DSR: Ajuste de datos listo
7	RTS: Permiso para transmitir
8	CTS: Listo para enviar
9	RI: Indicador de llamada

La interfaz RS-232 está diseñada para transmitir a distancias cortas, de hasta 15 metros de longitud, suficiente para la comunicación entre el microcontrolador y los periféricos (receptor GPS e impresora), óptimo para velocidades de comunicación

bajas, de no más de 20 Kbps (para el prototipo se trabajó a 4800 bps, considerando la velocidad de transmisión del módulo GPS). La interfaz puede trabajar en comunicación asíncrona o síncrona y tipos de canal simplex, half dúplex o full dúplex.

#### 1.5.2.4 Longitud del cable

En la norma original, se establece que la longitud máxima del cable es de 15 metros. Esta parte fue modificada en la versión “D”, en lugar de especificar la longitud máxima, se especifica una carga mínima. De esta manera, la longitud máxima del cable dependerá de la capacidad por unidad de longitud del mismo. Esto implica que si utiliza un cable con una capacidad más baja, se podrá cubrir una distancia mayor.

La longitud del cable depende también de la velocidad de transmisión. El valor citado en la parte anterior, es para la máxima velocidad de transmisión. Si la velocidad se reduce, se incrementa la longitud máxima del cable. En la tabla 1.4 se presenta una tabla con algunos los valores de longitudes máximas dependiendo de la velocidad de transmisión.

**Tabla 1.4 Distancia máxima en función de la Velocidad**

Velocidad de tx (Baud Rate)	Longitud máxima (pies/metros)
19200	50/17
9600	500/167
4800	1000/333
2400	3000/1000

#### 1.5.2.5 Circuito integrado MAX-232

Generalmente cuando se requiere conectar un microcontrolador (con señales típicamente entre 3.3 y 5 V) con un puerto RS-232 estándar se utiliza un driver de

línea, típicamente un MAX232 o compatible, el cual mediante dobladores de voltaje positivos y negativos permite obtener la señal bipolar (típicamente alrededor de +/- 6V) requerida por el estándar.

Es un circuito integrado que regula los niveles de voltaje cuando se requiere enviar señales digitales sobre una línea RS-232. Este integrado se utiliza en aquellas aplicaciones donde no se dispone de fuentes bipolares de 12 y -12 voltios. El MAX-232 necesita solamente una fuente de +5v para su operación, internamente tiene un elevador de voltaje que convierte el voltaje de +5v al de doble polaridad de +12v y -12v.

El circuito integrado lleva internamente 2 conversores de niveles TTL a RS232 y otros 2 de RS232 a TTL, con lo que en total se maneja 4 señales del puerto serial del computador, pero en este caso sólo se utilizará un par para el prototipo.

Para que el MAX232, funcione correctamente se debe colocar condensadores externos de 1uF a 25v, cableando las líneas de Tx y Rx para niveles TTL del microcontrolador y para niveles RS232 de los periféricos.

### **1.5.3 MICROCONTROLADOR AVR ATEMGA324P <sup>[11]</sup>**

Un microcontrolador es una pequeña computadora, es decir, es un integrado que posee en su interior un procesador, memoria de programa, memoria de datos y puertos para comunicarse con el exterior.

El microcontrolador dispone de los siguientes componentes:

- Procesador o CPU (Unidad Central de Proceso).
- Memoria RAM para contener los datos.
- Memoria para programa tipo ROM/EPROM/EEPROM/Flash.
- Líneas de E/S para comunicarse con el exterior.

También posee otros bloques de apoyo que flexibilizan aún más su uso, tales como:

- Módulos para el control de periféricos: temporizadores, puertos serie y paralelo, conversores, etc.
- Generador de impulsos de reloj que sincronizan el funcionamiento de todo el sistema.
- Sistemas de protección de sobre corriente o cortocircuito.

En el ANEXO 2.1 se incluye un resumen del datos del microcontrolador ATMEGA 324P, lo que viene a continuación se revisará en breve sus características más relevantes de acuerdo al presente proyecto. En la figura 1.29 se presenta el diagrama de la distribución de pines del microcontrolador ATMEGA324P.

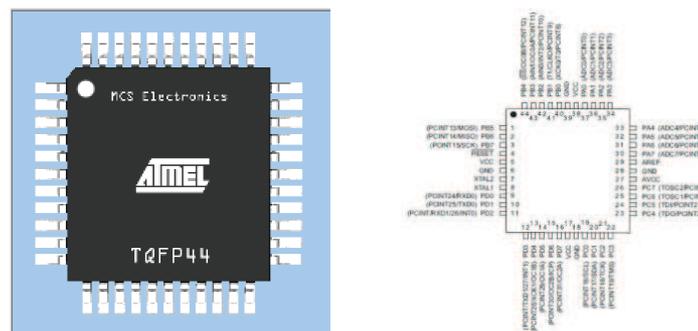


Figura 1.29 Diagrama del Atmega324P y distribución de pines

### 1.5.3.1 Características del microcontrolador

El Atmega324P es un microcontrolador CMOS de 8 bits a baja potencia basado en arquitectura RISC de AVR. Ejecutando las instrucciones en un solo ciclo de reloj, el ATMEGA324P alcanza un desempeño de 1 MIPS<sup>7</sup> por MHz, permitiendo el diseño de consumo de potencia contra la velocidad del procesamiento, lo cual lo hace muy superior a los anteriormente utilizados PICs. Las características generales del ATEMG324P son:

- 32k bytes de flash programable con la característica de lectura y escritura.
- 1k byte de EEPROM, 2k bytes de SRAM.

<sup>7</sup> MIPS: Millones de Instrucciones Por Segundo. Forma de medir la potencia de los procesadores

- 32 líneas I/O de propósito general.
- 32 registros de propósito general.
- Interrupciones internas y externas.
- 8 canales A/D de 10 bits.
- Un puesto serial SPI.
- Dos USART<sup>8</sup> seriales programables.
- Voltajes operables de 2.7-5.5 V.
- Un watchdog timer con oscilador interno.
- Contador en Tiempo Real (RTC) con oscilador externo propio.
- Consumo de Energía a 8MHz, 5V, 25°C, modo activo 8mA.

A continuación se detalla las características y componentes del microcontrolador ATMEGA324P.

### **1.5.3.2 Arquitectura del microcontrolador**

Los AVR utilizan una arquitectura Harvard, con el bus de datos y el bus de memorias separadas. Mientras una instrucción se ejecuta, la próxima instrucción está lista para ser ejecutada en la memoria de programa. El programa está en la memoria flash, es decir no se borra por falta de alimentación. La función del procesador es garantizar la correcta ejecución del programa, es decir, acceder a memorias, realizar cálculos, controlar periféricos y manejar las interrupciones.

### **1.5.3.3 Memoria de programa y datos del ATMEGA324P**

Cada programa que se desarrolla para los AVR, se almacena en una región de la memoria no volátil, es decir, permanece al apagar el dispositivo. El ATMEGA324P cuenta con 32 KB de memoria flash reprogramable para almacenar el programa. La Flash organiza en 16000 palabras x 16 bits. La memoria Flash se divide en dos. La primera sección es donde se carga la aplicación o se almacena el

---

<sup>8</sup> USART: Universal sincrónico asincrónico receptor transmisor. Características de comunicación

programa que se escribió para el AVR. La segunda sección se llama: '*Boot Flash Section*', o sección de carga de inicio y se puede configurar para que funcione una vez que el dispositivo se prende o se enciende. Parte de la memoria de datos es volátil, del tipo RAM y está organizada en registros de 8-bits.

#### **1.5.3.4 Registros**

La totalidad de la información en el microcontrolador, desde la memoria de programa, la información del temporizador, hasta el estado de los pines en los puertos de entrada y salida, se almacena en registros de memoria. Los registros son como cajones en un gabinete. En un procesador de 8-bits, se usan cajones que pueden guardar por ejemplo ocho 8 tarjetas y en donde cada tarjeta almacena un número binario de un bit, un cero (0) o un uno (1). Cada cajón posee una dirección asignada para poder ser encontrado por el microcontrolador.

Algunos registros, como por ejemplo los de RAM, se utilizan para almacenar datos en general. Otros tienen configuraciones específicas para controlar los convertidores análogo-digitales.

Un byte, se compone de 8-bits con 256 valores solamente. El microcontrolador almacena toda la información en pedazos del tamaño de un byte cada uno. Para facilitar la comprensión y operación con números binarios en el formato de unos y ceros, cada byte de información se representa con un número hexadecimal de dos dígitos.

#### **1.5.3.5 Puertos o registros**

Los puertos o registros especiales en el microcontrolador son compuertas desde la Unidad Central de Procesamiento a los componentes de software y hardware internos como externos. La comunicación del CPU con estos componentes es para leer o escribir en ellos.

### **1.5.3.6 Ejecución de programas**

Código hexadecimal es lo que se almacena en la región de programas, memoria Flash. Al iniciar el programa con el código hexadecimal, las instrucciones son direccionadas por un contador. Este procedimiento a la vez carga la siguiente instrucción a un registro especial de instrucciones. Los operandos de cada instrucción son subsecuentemente transferidos a la unidad de lógica aritmética, mientras que la instrucción está siendo decodificada y posteriormente ejecutada por la unidad ALU.

### **1.5.3.7 Interfaz serial**

Permite una alta velocidad de transferencia de datos sincrónicos entre el ATMEGA324P y dispositivos periféricos, o entre dos dispositivos AVR. Es full dúplex, opera de forma Maestro Esclavo, la transferencia se hace a partir del bit menos significativo al más significativo posee tres líneas de comunicaciones sincrónicas y bandera de fin de la transmisión.

La comunicación entre el microcontrolador y la memoria serial es maestro-esclavo mediante la interconexión de sus señales SPI, así como la programación del firmware en el microcontrolador desde el computador.

### **1.5.3.8 Convertir análogo-digital**

Cuenta con un conversor análogo-digital de diez bits de aproximación sucesiva ADC, es decir, analiza valores de 0 a 1023, referenciado de 0 a AVcc del microcontrolador, cuenta con ocho canales ADC. Tiene un tiempo de conversión de 13 a 260 us, tiene ganancia seleccionable de modo diferencial de 1x, 10x, o 200x. Esta característica sería útil en caso de añadir más características al sistema, como sensores de temperatura, niveles de voltaje de las baterías, etc.

## CAPÍTULO II

### DISEÑO DEL PROTOTIPO

#### 2.1 INTRODUCCIÓN

Una vez obtenido los requerimientos de los organismos reguladores descritos en el capítulo anterior, así como los conceptos básicos y características de los principales elementos que utiliza un taxímetro, se diseñó el prototipo de taxímetro facturador con tecnología GPS, con el objetivo de eliminar los fraudes por manipulación que se da en la gran mayoría de los equipos existentes.

En este capítulo se incluye las cualidades del microcontrolador ATEMGA324P, la distribución de los puertos del microcontrolador, el motivo de la selección del módulo GPS, el tipo de pantalla y las funciones de la mini-impresora, así como también se presentan los diagramas de flujo del desarrollo del firmware para este microcontrolador y el algoritmo de operación. Incluye también el tratamiento de los datos que brinda el módulo receptor GPS: posición, velocidad y tiempo; para cumplir con los estados del servicio de taxi: LIBRE, OCUPADO, IMPRIMIR, detallando los pasos que sigue el firmware para observar en las pantallas características como: fecha, hora, velocidad del auto-taxi, y además describe las fórmulas de cálculo de distancia recorrida, tiempo de espera y finaliza con la fórmula del costo del servicio de carrera de taxi. En la figura 2.1 se presenta un diagrama de bloques del diseño del prototipo.

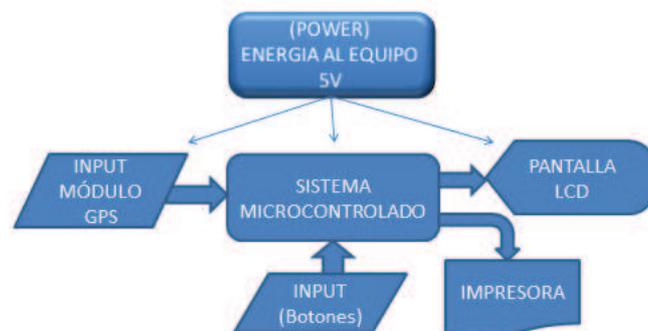


Figura 2.1 Diagrama de bloques del prototipo taxímetro

Para el diseño de este proyecto se requiere:

- Un módulo receptor GPS, para obtener parámetros de velocidad, distancia y tiempo.
- Una pantalla que indique todo el tiempo: la hora, la fecha, el estado del servicio, el tipo de tarifa y el costo, que se mostrará en forma clara y ubicado en un lugar muy visible mientras transcurre la carrera.
- La impresora deberá ser de preferencia matricial para poder imprimir en una factura prediseñada autorizada por el SRI con detalles de la carrera como: tipo de tarifa aplicada, hora y fecha, etc., con el fin de adquirir estos documentos y realizar las correspondientes declaraciones.
- Un microcontrolador ATEMGA324P de la familia AVR, para que realice el procesamiento de datos del módulo receptor GPS, así como los cálculos de costo de la carrera y muestre en la pantalla LCD todos los mensajes dependiendo del estado de servicio u operación que se encuentre ejecutando.
- Una fuente de energía que abastezca las necesidades de todos los equipos a instalar.

En la figura 2.2 se presenta el diagrama completo de los elementos que se utilizó en el prototipo.

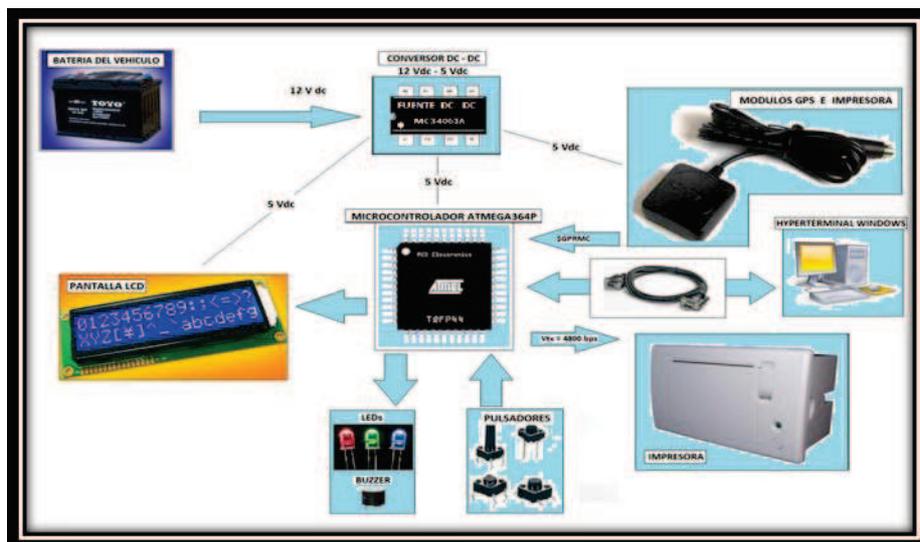


Figura 2.2 Diagrama de elementos del prototipo

- Un firmware en un microcontrolador para el procesamiento de los datos del módulo GPS de velocidad, distancia y tiempo para el cálculo del costo del servicio; todo esto mostrado en una pantalla y comunicado con una impresora matricial para la facturación del servicio, comunicación serial con clave para cambios de tarifarios.

## 2.2 DISEÑO DEL HARDWARE DEL TAXÍMETRO <sup>[11]</sup>

El prototipo cuenta con el microcontrolador ATMEGA324P como elemento principal, que en conjunto con un firmware realiza el procesamiento de datos y el manejo de los periféricos, el mismo que fue utilizado debido a su bajo consumo de potencia, a su rápido procesamiento, a su estabilidad, a su sistema de protección de sobre corriente o cortocircuito, a que cuenta con un Contador en Tiempo Real (RTC) *Real Time Counter* con oscilador independiente, entre otros.

Con las características del microcontrolador mejor descritas en el capítulo anterior se procede a detallar los puertos asignados a cada uno de los periféricos, como son: el módulo de la pantalla, el puerto de comunicación para módulo GPS, el puerto para los botones, pulsadores y buzzer, el puerto para los leds indicadores, etc.

### 2.2.1 DESCRIPCIÓN DE LOS PUERTOS USADOS DEL MICROCONTROLADOR

Descripción de la distribución de los pines usados por el microcontrolador ATMEGA324P:

- Puerto B configurado para la pantalla LCD.- utiliza las cuatro líneas superiores para trasmisión de datos en paralelo, se conectó los pines <B7-B4> del microcontrolador a los pines <D7-D4> del LCD, el pin D3 del

microcontrolador al pin E del LCD, el pin D2 del microcontrolador al pin RS del LCD.

- Del Puerto D. Las líneas de los pines D0 y D1 para la comunicación USART (transmisión y recepción).
- Para los botones B1, B2 y B3 se usa las líneas de los pines D2, D3, D4 del puerto D como entradas.
- Para el buzzer la línea del pin D1 del puerto D.
- Para los leds indicadores se usa el puerto C, las líneas de los pines C0, C1 y C2.
- El cristal de 20MHz conectado a las líneas de los pines 7 y 8.
- El cristal para el RTC se conecta a las líneas 25 y 26, pines C6 y C7 del puerto C.
- Para suspender la energía del LCD y de su back light se usa las líneas del puerto A, los pines A0 y A1.

En la figura 2.3 se presenta el diagrama del microcontrolador y la distribución de los pines de cada uno de los puertos utilizados.

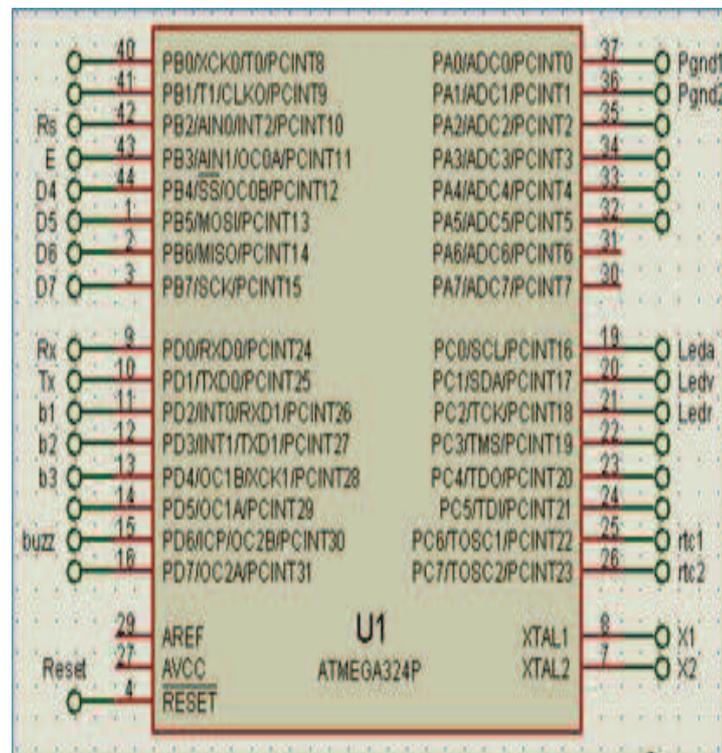


Figura 2.3 Distribución de los puertos del microcontrolador

### 2.2.2 SELECCIÓN DEL MÓDULO GPS <sup>[17]</sup>

El objetivo principal del módulo receptor GPS es obtener la posición y velocidad del automóvil “taxi” en tiempo real, es decir, la adquisición de los parámetros de velocidad y posición con la fecha y hora en el momento que son tomados. Para el propósito del prototipo, se requiere que la información (velocidad, posición, fecha, hora, etc.) sea desplegada en algún puerto de salida serial en especial con niveles de RS232 o TTL, con el fin de facilitar el manejo y procesamiento de estos datos.

También se requiere que el módulo receptor GPS pueda ser instalado en el interior del taxi y operado sin problemas en relación a las velocidades desarrolladas por el auto-taxi desde 0 km/h hasta un límite de 100 Km/h, tomando en cuenta la Ley Orgánica de Transporte Terrestre, Tránsito y Seguridad Vial sobre “LOS LIMITES DE VELOCIDAD” en el Ecuador, impuesta desde marzo del 2011, que para este tipo de vehículos permiten como máximo: 50 km/h en perímetro urbano, 90km/h en vías perimetrales, 100 km/h en carretera.

Además el receptor GPS debe trabajar a un voltaje adecuado que sea compatible con los niveles de voltaje de operación del microcontrolador ATEMAGA324P, se necesita escoger un equipo que tenga un bajo consumo de potencia debido a que va estar conectado a una fuente limitada de corriente como es la batería de auto-taxi. El equipo debe trabajar sin problema a la altura del Distrito Metropolitano de Quito que es de 2850m sobre el nivel del mar.

Se encontraron varios tipos de receptores con similares características que cumplen las particularidades anteriores, y se realizó una comparación con las propiedades más relevantes de los módulos GPS disponibles en el mercado. En la tabla 2.1 se muestra la comparación de los modelos de receptores GPS, tomando en cuenta sus características principales de operación y niveles de potencia, voltaje de trabajo y el costo en el mercado.

Tabla 2.1 Tabla comparativa de los módulos receptores GPS en el mercado [17]

Marca/fabricante	Modelo	T. Adquisición			Precisión WAAS			Sensibilidad		Dinámica de Operación			Satélites	Potencia	Precio
		Cold	Hot	Warm	Posición	Velocidad	Tiempo	Adquisición	Rastreo	Altitud máx	Veloc máx	a.máx			
Oncore/Motorola	M12	70seg	15seg	45seg	100 m	0,36 km/h	1 useg	-110 dBm	-110 dBm	18000 m	1854 km/h	4g	12 satélites	2,8 a 3,2 V	\$ 200,00
Lassen	LP	150seg	20seg	45seg	25 m	0,36 km/h	1 useg			18000 m	1854 km/h	4g	12 satélites	3,3 V	\$ 650,00
PARALLAX	Parallax	40seg	2 seg	32seg	5 m	0,36 km/h	1 useg	-139 dBm	-152 dBm	18000 m	1854 km/h	4g	12 satélites	5 V	\$ 80,00
POLSTAR	PMB-648	42seg	1 seg	38seg	5 m	0,36 km/h	1 useg	-148 dBm	-159 dBm	18000 m	1854 km/h	4g	20 satélites	3,3 a 5 V	\$ 50,00
POLSTAR	PMB-688	42seg	1 seg	38seg	5 m	0,36 km/h	1 useg	-148 dBm	-159 dBm	18000 m	1854 km/h	4g	20 satélites	3,3 a 5 V	\$ 60,00
Link Technologies	RXW-SG	35seg	2 seg	15seg	5 m	0,36 km/h	1 useg	-148 dBm	-159 dBm	18000 m	1854 km/h	4g	20 satélites	3,3 a 5 V	\$ 40,00
Navilock	NL-402U	30seg	1 seg	30seg	5 m	0,36 km/h	1 useg	-145 dBm	-160 dBm	18000 m	1854 km/h	4g	50 satélites	5 V	\$ 126,00
Garmin	Delux 18	45seg	2 seg	15seg	3 a 15 m	0,36 km/h	1 useg	-135 dBm	-135 dBm	18000 m	1854 km/h	4g	12 satélites	5 V	\$ 192,00
GlobatSat	EW-408	42seg	1 seg	38seg	10 m	0,36 km/h	1 useg		-159 dBm	18000 m	1854 km/h	4g	20 satélites	3,3 V	\$ 128,00
POLSTAR	ET-312	42seg	8 seg	38seg	10 m	0,36 km/h	1 useg	-142 dBm	-159 dBm	18000 m	1854 km/h	4g	20 satélites	3,3 a 5 V	\$ 34,00
FALCOM	JP-18	35seg	1 seg	35seg	10 m	0,36 km/h	1 useg		-159 dBm	18000 m	1854 km/h	4g	20 satélites	3,4 a 5,5 V	\$ 59,00
POLSTAR	EW-408	42seg	8 seg	38seg	10 m	0,36 km/h	1 useg		-159 dBm	18000 m	1854 km/h	4g	20 satélites	4,5 a 6,5 V	\$ 49,00
LEADTEK	LR9101LP	42seg	1 seg	38seg	10 m	0,36 km/h	1 useg	-155 dBm	-159 dBm	18000 m	1854 km/h	4g	20 satélites	3,2 a 5 V	\$ 40,00
POLSTAR	EM-410	42seg	1 seg	38seg	10 m	0,36 km/h	1 useg		-159 dBm	18000 m	1854 km/h	4g	20 satélites	3,3 V	\$ 52,00
<b>POLSTAR</b>	<b>PGM-111</b>	<b>50seg</b>	<b>2 seg</b>	<b>35seg</b>	<b>5 m</b>	<b>0,36 km/h</b>	<b>1 useg</b>	<b>-139 dBm</b>	<b>-152 dBm</b>	<b>18000 m</b>	<b>1800 km/h</b>	<b>4g</b>	<b>12 satélites</b>	<b>5 a 9 V</b>	<b>\$ 40,00</b>

Se escogió el receptor GPS modelo PGM-111 Polstar, porque trabaja con facilidad con el microcontrolador del prototipo, al contar con comunicación serial asincrónica a 4800 bps a niveles TTL y/o RS232, con voltaje de operación 5V similar al voltaje utilizado para los elementos del prototipo; por su bajo consumo de potencia, permeabilidad ante la humedad y por sus buenas propiedades de precisión y adquisición de datos con la constelación de satélites, todas estas características se detallan en el ANEXO 2.2 “datasheet del receptor GPS”, donde más adelante se describen y resaltan las propiedades más significativas de este equipo utilizado.

### 2.2.2.1 Características del receptor GPS utilizado

El módulo de coordinación con GPS (*Global Positioning System*: sistema de posicionamiento global), multipuerto, es un dispositivo totalmente microprocesado. En su interior posee un procesador de 16 bits de alta prestación y un módulo GPS de 20 canales con un Chipset sony de cuarta generación basado en SiRF III<sup>9</sup>, además de dos puertos seriales. El módulo GPS posee una alta sensibilidad para detectar hasta 20 satélites y realizar la localización geográfica. El módulo usado en el proyecto es un receptor GPS Polstar. En la figura 2.4 se observa la fotografía del módulo receptor GPS, de modelo PGM-111 de marca Polstar.



**Figura 2.4 Receptor GPS usado en el Proyecto**

---

<sup>9</sup> SiRF starIII.- Es un rango de microcontroladores de alta sensibilidad para interpretar señales de satélites, insertados en receptores GPS, fabricado por SiRF Technology.

### **2.2.2.2 Dinámica de operación**

Para su correcto funcionamiento con las señales emitidas por los satélites, el módulo receptor puede ser utilizado para una altitud de hasta 18.000m, siendo capaz de realizar un seguimiento de un móvil que viaje hasta 1800 km/h y como máximo soportar una aceleración de 4G, esto debido a diferentes circunstancias como puede ser la velocidad de procesamiento del chip en su interior, el sistema de codificación, el tamaño de datos estándar, la ubicación de los satélites, así como la banda en la que opera, pudiendo realizar mejoras en el futuro.

### **2.2.2.3 Interfaz de comunicación**

El receptor GPS posee una interfaz de Entrada y Salida serial a niveles TTL y RS232. La velocidad de transmisión es de 4800bps, suficiente velocidad para que el módulo GPS pueda enviar datos completos y el microcontrolador los pueda procesar, los datos de posición son WGS-84, el módulo transmite datos asincrónicamente en formato NMEA0183 versión 2.2, cuenta con los siguientes tipos de mensajes: GGA, GSA, GSV, RMC, (opcional VTG y GLL) de los cuales interesa el formato RMC, ya que cuenta con los datos mínimos requeridos para navegación y además tiende a estandarizarse como una trama de datos GPS para equipos con aplicaciones de rastreo satelital y navegación.

Para optimizar los recursos se diseñó el circuito utilizando un conector DB9, un conector terminal simple de 4 pines y un solo puerto de comunicaciones en el microcontrolador como se muestra en la figura 2.5. El conector de la placa para el módulo GPS tiene cuatro pines, el pin 1 para la alimentación de 5 V, el pin 2 para la recepción de datos del módulo GPS (el selector debe estar conectado de tal forma que interrumpa la comunicación con el DB9 y permita la comunicación con el terminal del GPS), el pin 3 está inactivo y el pin 4 para tierra o masa del circuito.

En la figura 2.5 muestra el diagrama de comunicaciones entre el conector para el receptor GPS, el conector DB9 para la impresora y el microcontrolador cambiando los niveles TTL a niveles RS232 mediante el circuito integrado MAX232.

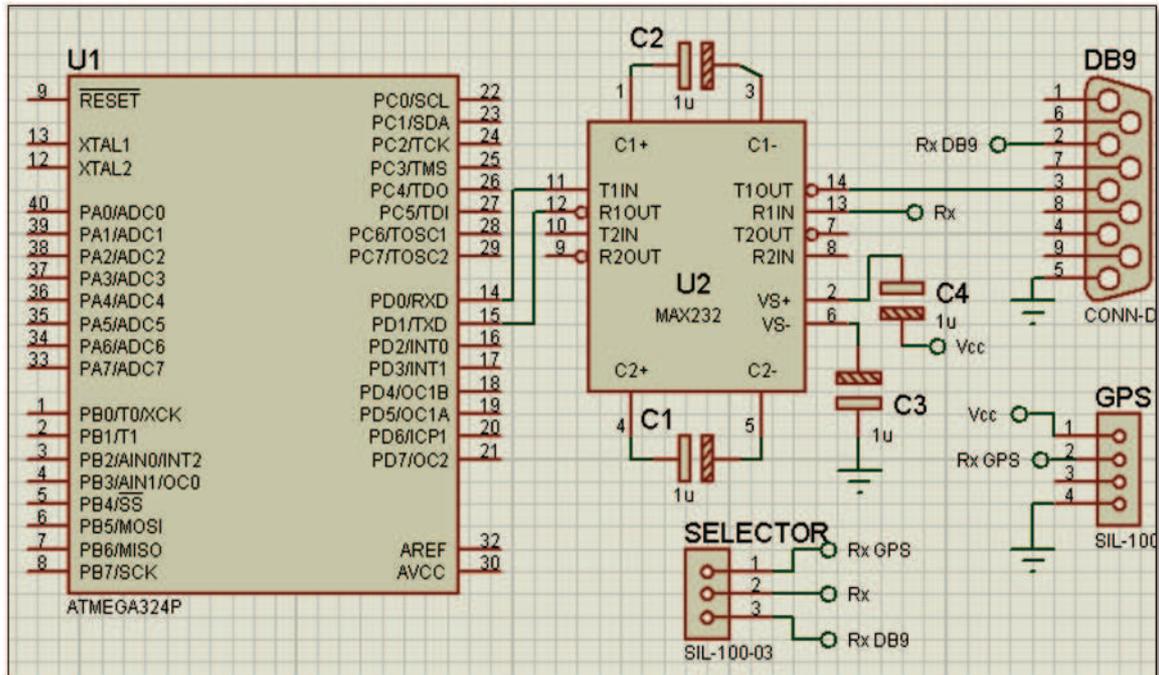


Figura 2.5 Comunicaciones entre el receptor GPS, impresora y el microcontrolador

#### 2.2.2.4 Características de energía

El módulo GPS se puede energizar con niveles de voltajes desde 5 hasta 9 voltios DC. El consumo típico de energía del módulo GPS, trabajando a 5V para la parte inicial, es de 400mW (80mA@5V), consumo que incluye localización de satélites visibles, enganche con los satélites con mayores niveles de potencia, procesamiento de datos y cálculo de su posición, para luego pasar a un consumo mínimo de energía de 120mW en operación normal, debido a que cuenta con un proceso de ahorro de energía automático (standby). Tiene un LED indicador de navegación encendido/apagado que funciona parpadeando cuando está enganchando o procesando; y, totalmente encendido cuando se encuentra estable en su navegación.

### 2.2.2.5 Características físicas

Las dimensiones físicas del módulo receptor GPS Delux son de 41x41x18mm, con un peso de 75gr. con un imán en la parte posterior para adherirse a la carcasa del vehículo. Opera a una temperatura de -40°C a +85°C y una temperatura de almacenamiento de -55°C a +100°C, soportando una humedad de 5 ~ 95%, teniendo características de impermeabilidad.

### 2.2.2.6 Características de funcionamiento

Siendo un módulo receptor GPS comercial, trabaja en la banda portadora L1 a la frecuencia de 1575,42MHz, con un sistema de codificación C/A (*Coarse/Acquisition*), teniendo una potencia de sensibilidad para adquisición de datos de -139dBm y sensibilidad de seguimiento de -152dBm. El tiempo de adquisición de datos se basa en tres formas: Arranque en frío (*Cold Start*) 50seg. Promedio, Arranque en Caliente1 (*Warm Start*) 35seg. Promedio y Arranque en Caliente2 (*Hot Start*) 2seg. Promedio. Con una exactitud de la posición de 2m, tiempo de precisión de  $\pm 1\mu\text{Seg}$ , precisión de posición de 5m, precisión de velocidad 0.1m/s, tasa de actualización una vez por segundo.

A continuación se describe las formas del tiempo de adquisición de datos.

**Hot Start** - El receptor GPS recuerda su última posición calculada y los satélites que estaban visibles, el almanaque utilizado y el tiempo UTC. A continuación, realiza un restablecimiento y los intentos de obtener señales de los satélites y calcular una nueva posición basada en la información anterior. Ésta es la forma más rápida de volver a la adquisición datos para una estabilidad del módulo GPS.

**Warm Start** - El receptor GPS recuerda su última posición calculada, almanaque utilizado y sabe la hora UTC, pero no que satélites estaban visibles. A continuación, realiza un restablecimiento y los intentos para obtener las señales de los satélites y calcular una nueva posición. El receptor tiene una idea general

de los satélites a buscar porque sabe que su última posición, y el almanaque ayuda a identificar qué satélites son visibles en el cielo. Esto toma más tiempo que el de un Hot Start, pero no tanto como un arranque en frío.

**Cold Start** - El receptor GPS pierde toda la información y se restablece. A continuación, intenta localizar los satélites y luego calcular la estabilidad de GPS. Esto toma más tiempo porque no hay información conocida. El receptor GPS tiene que intentar procesar la señal de cada uno de los satélites, básicamente como sondeo, tiene mucho más que saber de los satélites que se busca. Esta nueva adquisición de datos para estabilidad del módulo GPS lleva más tiempo.

En resumen se escogió el modelo PG-111 Polstar para el diseño de prototipo de taxímetro, por todas las cualidades descritas del módulo receptor GPS, en especial las siguientes características como son: por su tamaño, facilidad de manipulación y utilización, porque posee ahorro automático de energía, fácil instalación, porque brinda la trama de datos GPRMC, que cuenta con los campos de estado de la trama, la fecha, la hora, la velocidad y la posición; datos importantes y necesarios para cumplir con el prototipo de taxímetro teniendo tolerancias algunas aceptables y otras muy precisas.

Y como último por el bajo costo en el mercado. Sin embargo se tuvo disponibilidad del módulo receptor GPS gracias a la colaboración de la empresa PERCOMSERV PCSERVICIOS S.A. mediante el préstamo del equipo, sin costo alguno.

### 2.2.3 SELECCIÓN DE LA PANTALLA LCD <sup>[13]</sup>

Para la elección de la pantalla se tomó en consideración una clara visualización de datos, tanto en el día como en la noche, letras de un tamaño adecuado que cumpla con lo establecido por el INEN para pantallas para taxímetros, que son de tamaño mínimo de 10 milímetros; facilidad de comunicación con el microcontrolador ATMEGA324P, utilizando el mínimo de pines del

microcontrolador para el manejo de la pantalla, y reduciendo en lo máximo el consumo de potencia.

En la tabla 2.2 se muestra la comparación de las opciones de pantallas para el prototipo taxímetro. Para la selección se tomó en cuenta las características de voltaje de operación, dimensiones del carácter y corriente de consumo. Teniendo las siguientes opciones: 4 displays 7 segmentos, LCD 16X2, LCD 20x4, LCD gráfica.

**Tabla 2.2 Tabla comparativa de pantallas para el prototipo**

Pantalla	Precio	Voltaje	Corriente	Dimensiones	Temperatura	Tamaño del carácter
4 Display 7 Seg	\$ 6,50	9 V	200mA	12,7x28,8 mm	-40 a 85 °C	6,3x10 mm
LCD 16x2 normal	\$ 7,00	5 V	152 mA	44x84 mm	-20 a 70 °C	3x5,2 mm
LCD 20x4 normal	\$ 18,00	5 V	240 mA	99x60,5 mm	-20 a 70 °C	3x4,8 mm
LCD Grafica240*128	\$ 38,00	5 V	148 mA	78x160 mm	-20 a 70 °C	7x16 mm
<b>LCD 16x2 Big</b>	<b>\$ 12,00</b>	<b>5 V</b>	<b>175 mA</b>	<b>44x122 mm</b>	<b>-20 a 70 °C</b>	<b>5,2x10 mm</b>

Al final se optó por una pantalla LCD 16x2 big, siendo una interfaz óptima para aplicaciones con microcontroladores, que permite visualizar 32 caracteres alfanuméricos de gran tamaño en dos líneas de 16 caracteres. Este display 2x16 BIG fondo azul, con backlight se utilizó para la clara visualización de información durante el día y la noche, pudiendo tener siempre visible: el estado del servicio, el costo mientras transcurre la carrera, el tipo de tarifa, en los 16 caracteres de la parte superior, y datos como: velocidad, distancia recorrida, tiempo de espera, fecha y hora, mostrados opcionalmente en los 16 caracteres de la parte inferior.

### 2.2.3.1 Características de la pantalla LCD

Las pantallas de cristal líquido LCD o display LCD para mensajes tienen la capacidad de mostrar cualquier carácter alfanumérico, permitiendo representar la información que genera cualquier equipo eléctrico de una forma fácil y económica. La pantalla consta de una matriz de caracteres de 5x7 puntos por carácter,

distribuidos en dos líneas de 16 caracteres cada una. En la figura 2.6 se tiene la imagen del módulo LCD 16x2 BIG pantalla azul.



Figura 2.6 Display LCD 16x2 BIG pantalla azul <sup>[12]</sup>

El proceso de visualización es gobernado por un microcontrolador incorporado a la pantalla, siendo el Hitachi 44780 el modelo de controlador más utilizado.

Las características generales de un módulo **LCD 16x2** son las siguientes:

- Consumo muy reducido, del orden de 7.5mW.
- Pantalla de caracteres ASCII, además de los caracteres japoneses Kanji, caracteres griegos y símbolos matemáticos.
- Desplazamiento de los caracteres hacia la izquierda o a la derecha.
- Memoria de 40 caracteres por línea de pantalla, visualizándose 16 caracteres por línea.
- Movimiento del cursor y cambio de su aspecto.
- Permite que el usuario pueda programar 8 caracteres.
- Para el envío de datos se tiene 2 opciones:
  - Conexión con bus de 4 bits.
  - Conexión con bus de 8 bits.

El módulo LCD ejecuta automáticamente una secuencia de inicio interna en el instante de aplicarle la tensión de alimentación, esto consiste en que el tiempo que tarde en estabilizarse la tensión desde 0.2V hasta los 4.5V mínimos necesario sea entre 0.1ms y 10ms. Igualmente el tiempo de desconexión debe ser como mínimo de 1 ms antes de volver a conectar.

La secuencia de inicio ejecutada es la siguiente:

- CLEAR DISPLAY.- El flag Busy se mantiene a “1” (ocupado) durante 15ms hasta que finaliza la inicialización.
- FUNTION SET.- Elige por defecto el tamaño del bus de datos a 8bits (DL=1) y el número de regiones del display en 1 (N=0).
- DSIPLAY ON/OFF CONTROL.- Se elige por defecto display en OFF (D=0), cursor en OFF (C=0) y parpadeo del cursor en OFF (B=0).
- ENTRY MODE SET.- Se elige por defecto incremento del cursor (I/D=1) y modo normal, no desplazamiento, del display (S=0).
- Se selecciona la primera posición de la DD RAM.

Si no se satisfacen las condiciones de alimentación, la secuencia de inicialización habría que realizarla por software, donde las instrucciones que aplica el usuario podrían ser las expuestas anteriormente o cualquier otra, según sus propias necesidades.

Es importante que la primera instrucción que se envíe realice una espera de 15ms o mayor para la completa reinicialización interna del módulo LCD.

Los pines de conexión de un módulo LCD son estandarizados. Sin embargo es de suma importancia localizar exactamente, cual es el pin número 1 ya que en algunos módulos se encuentra hacia la izquierda y en otros módulos se encuentra a la derecha.

#### 2.2.3.2 Descripción de los pines del LCD <sup>[14]</sup>

- **Pin número 1 y 2:** están destinados para conectar los 5V que requiere el módulo para su funcionamiento, para polarización.
- **Pin número 3:** es utilizado para ajustar el contraste de la pantalla; es decir colocar los caracteres más oscuros o más claros para mejor apreciación.
- **Pin número 4:** denominado “RS” trabaja paralelamente al bus de datos del módulo LCD (el bus de datos son los pines del 7 al 14). Este bus es

utilizado de dos formas, ya sea para colocar un dato que representa una instrucción o un carácter alfanumérico; pero para que el módulo LCD pueda entender la diferencia entre un dato o una instrucción, se utiliza el pin número 4. El pin número 4 en 0L le dirá al módulo LCD que está presente en el bus de datos una instrucción; por lo contrario, si el pin número 4 está en 1L le indica al módulo LCD que está presente un símbolo o un carácter alfa numérico.

- **Pin número 5:** denominado “R/W” trabaja paralelamente al bus de datos del módulo LCD. Si el pin número 5 está en 0L, el módulo LCD escribe en la pantalla el dato que está presente en el bus; pin número 5 en 1L, significa que se necesita leer el dato que está presente en el bus del módulo LCD. Este caso se emplea, cuando se requiere que el LCD lea un dato que es exclusivamente de control, como por ejemplo, encender o apagar el cursor, etc.
- **Pin número 6:** denominado “E” que significa habilitación del módulo LCD tiene una finalidad básica: conectar y desconectar el módulo. Esta desconexión no estará referida al voltaje que le suministra la corriente al módulo; la desconexión significa tan solo que se hará caso omiso a todo lo que esté presente en el bus de datos de dicho módulo LCD.
- **Pines desde el número 7 hasta el número 14:** representan 8 líneas, que se utilizan para colocar el dato, que indican una instrucción para el módulo LCD o un carácter alfa numérico. El bus de datos es de 8 bits de longitud y el bit menos significativo corresponde al pin número 7, el pin más significativo es el pin número 14. Se puede emplear 8 bits o solamente 4 bits, la diferencia está en el tiempo que se demora; pero esto no es un inconveniente, si se considera que el LCD trabaja en micro segundos, lo que será imperceptible en la pantalla, pues, en la comunicación a 4 bits, primero se envía los 4 bits más significativos y luego los 4 bits menos significativos. Para este caso se empleó solamente bus de datos de 4 bits.
- **Los pines número 15 y 16:** Son destinados para suministrar la corriente al backlight o retro-iluminación. Es importante conocer que no todos los módulos LCD disponen del backlight, aunque tengan los pines de conexión en el circuito impreso.

En la tabla 2.3 se presenta la distribución de pines del módulo LCD 16x2 seleccionado, en ella se pueda ver una breve descripción de los diferentes contactos.

Tabla 2.3 Pines del módulo LCD <sup>[14]</sup>

PIN	SIMBOLO	Nombre y función
1	VSS	GND (Tierra 0V)
2	VDD	Alimentación +5V
3	Vo	Ajuste del contraste
4	RS#	Selección DATO/CONTROL
5	RW#	Lectura o escritura en LCD
6	E	Habilitación
7	D0	D0 bit menos significativo
8	D1	D1
9	D2	D2
10	D3	D3
11	D4	D4
12	D5	D5
13	D6	D6
14	D7	D7 bit más significativo
15	LED+	Ánodo de LED backlight
16	LED-	Cátodo de LED backlight

Nota: # significa negado

### 2.2.3.3 Conexión del LCD al microcontrolador Atmega324P

En la figura 2.7 se presenta el diagrama de conexión de los pines del módulo LCD 16x2 BIG a los pines del microcontrolador ATMEGA324P.

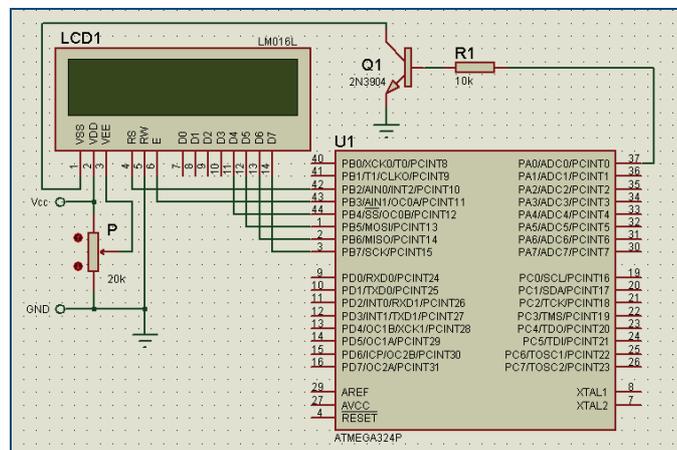


Figura 2.7 Conexión del módulo LCD al microcontrolador ATMEGA 324P

Las conexiones son:

- Los pines <D7-D4> del módulo LCD, se conectan a las cuatro líneas superiores del puerto B del microcontrolador ATMEGA324P, pines <PB7-PB4>.
- El pin E del LCD a la línea del pin PB3 del microcontrolador.
- El pin RS del LCD a la línea del pin PB2 del microcontrolador.
- El pin R/W a tierra.
- El pin Vss del LCD al colector del transistor 1N3904 que actúa en corte y saturación y conectado a la línea del pin PA0.
- El pin Vdd del LCD a Vcc, 5V.
- El pin Vee del LCD al potenciómetro para el ajuste del contraste.

#### **2.2.4 DESCRIPCIÓN DE LA COMUNICACIÓN SERIAL EN LA PLACA**

En la placa del proyecto de taxímetro con GPS se tiene los siguientes componentes para la comunicación serial: los terminales Rx/Tx del microcontrolador, el circuito integrado MAX232, conector DB9.

El microcontrolador transmite y recibe datos con niveles TTL, por lo que necesita del circuito integrado MAX232 para cambiar a niveles RS232 y poder tener la comunicación mediante terminales de la placa a los periféricos: puerto COM1 de la PC, al conector del módulo receptor GPS y al puerto de la Impresora.

Se usó las siguientes características para la transmisión de datos, comunicación asincrónica, con un bit de parada, 8 bits de datos, sin bit de paridad (8-N-1), y a velocidad de transmisión de 4800 bps.

Se cuenta con un selector (*switch*) en la placa, con el cual en la posición 1 del switch se tiene un canal simplex que comunica desde el microcontrolador hacia la impresora y otro canal simplex desde el módulo receptor GPS hacia el microcontrolador, y en la posición 2 del switch se tiene un canal full dúplex para la comunicación entre el microcontrolador y la computadora con el programa

hyperterminal con la que se puede ingresar para el cambio de datos de tarifas vigentes, permitiendo el acceso mediante una clave de ingreso. En la figura 2.8 se muestra las conexiones del MAX232 con el microcontrolador ATMEGA324P y los terminales para los periféricos (receptor GPS e impresora).

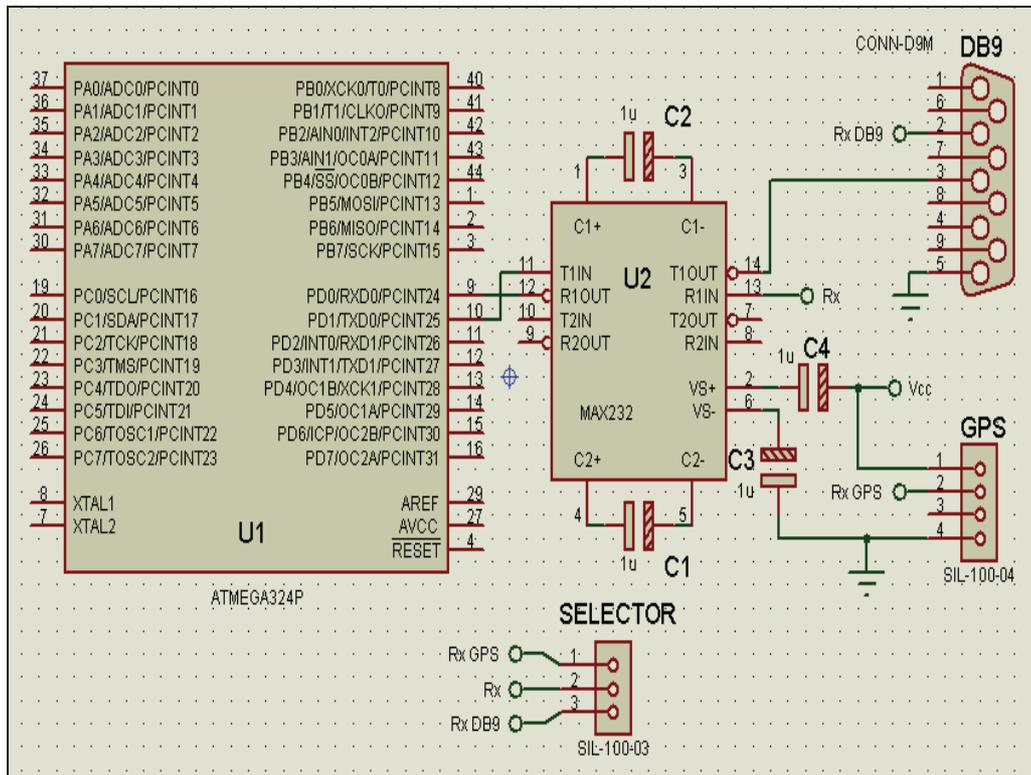


Figura 2.8 Conexión del MAX232 con el microcontrolador y los terminales

El microcontrolador ATMEGA324P posee dos puertos de comunicación RS232, de los cuales al inicio del diseño se pensó utilizar ambos puertos, uno para recepción de los datos del módulo receptor GPS en forma simplex y otro para transmisión de datos hacia la impresora de igual forma comunicación simplex, éstos deben estar conectados todo el tiempo, sin embargo para servicio técnico se tiene que el puerto de la impresora es compartido para conexión con el computador y así utilizar momentáneamente el puerto para la configuración inicial de las constantes de las tarifas vigentes a través de una transmisión full duplex con este. Al final se utilizó solo un puerto serial, un conector DB9 que puede trabajar en forma simplex o full dúplex con un selector y un conector terminal de 4 pines adicional solo para la recepción simplex de datos del módulo GPS.

## 2.2.5 SELECCIÓN DE LA IMPRESORA

Para la elección de la impresora se buscó que posea buenas características para emitir un documento legal, que sea claro e imprima por duplicado para chofer y cliente, que pueda ser instalada dentro del taxi, tomando en cuenta el consumo de potencia y la comunicación serial con el prototipo con niveles TTL o RS232 y por último que el costo sea factible para la comercialización.

En la tabla 2.4 se presenta una comparación tomando en cuenta el consumo de potencia y el costo entre una impresora mini-matricial y una impresora térmica, teniendo los siguientes modelos: Epson TM-U220A-890 y térmica modelo a2.

**Tabla 2.4 Comparación de impresora matricial vs impresora térmica**

<b>Impresora</b>	<b>Modelo</b>	<b>Voltaje</b>	<b>Potencia</b>	<b>Precio</b>	<b>Dimensiones</b>
Mini-Matricial	TM-U220A-890	24 V	2,2 W	\$ 210	286x160x158 mm
<b>Térmica</b>	<b>CASHINO a2</b>	<b>12 V</b>	<b>900 mW</b>	<b>\$ 70</b>	<b>111X65X57 mm</b>

Como se puede observar en la tabla 2.4, no es factible utilizar una impresora matricial aunque tiene buenas características para emitir un documento legal como lo es una factura y la puede realizar por duplicado automáticamente, sin embargo el consumo de potencia es demasiado alto para utilizarlo dentro de un vehículo, de igual manera debido al gran tamaño de la impresora, no es recomendable ya que no se cuenta con espacio suficiente dentro del taxi, en relación al precio es considerablemente mayor a la impresora térmica.

Por lo que se utilizó la impresora térmica modelo a2 para el prototipo teniendo las características de voltaje de alimentación de 5V similar al voltaje los elementos del prototipo, consumo bajo de potencia, un tamaño adecuado incluso para ocultarlo dentro de la bagueta del auto-taxi hasta el final de la carrera donde se imprimirá el detalle del servicio de taxi y realizando el impreso del documento por duplicado mediante programación.

En la figura 2.9 se observa el diagrama completo de conexiones de las conexiones entre el microcontrolador y los demás elementos en la placa, elementos que se encuentran identificados como terminales de conexión.

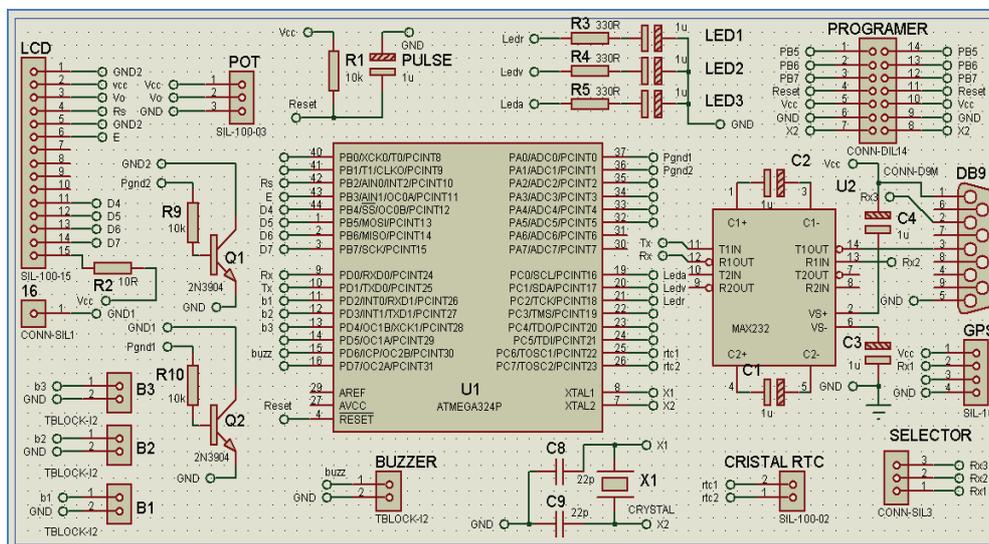


Figura 2.9 Diagrama completo de las conexiones en la placa

## 2.2.6 DISEÑO DE LA FUENTE DE ALIMENTACIÓN

En la tabla 2.5 se detalla el consumo de energía parcial de cada elemento y total del prototipo, parámetro que se consideró para la utilización de la fuente de alimentación.

Tabla 2.5 Consumo de energía parcial y total

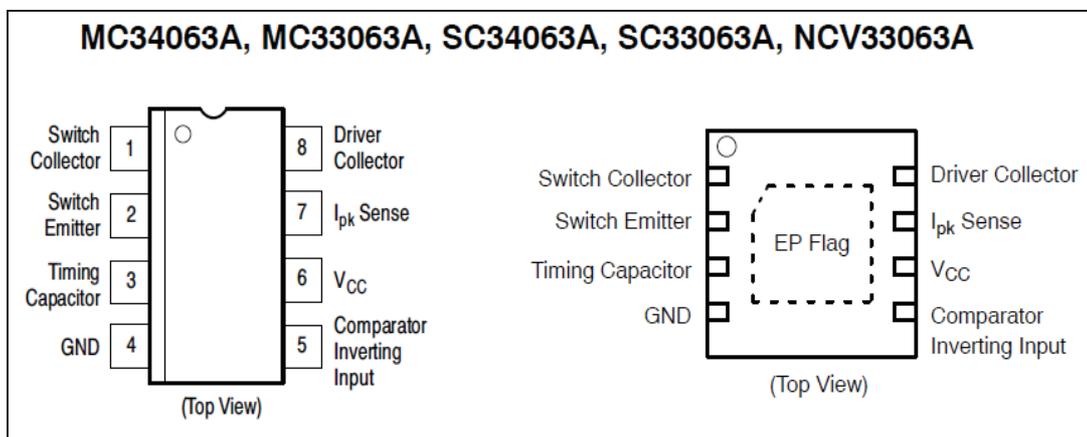
Equipos	P. típico [mW]	P. máximo [mW]	I. máxima [mA]
Pantalla LCD	150	650	130
Módulo GPS	120	400	80
Microcontrolador	720	800	200
MAX232	40	50	10
Led	12	24	20
<b>TOTAL</b>	<b>990</b>	<b>1850</b>	<b>440</b>

Para el diseño de la fuente de alimentación del prototipo se consideró el consumo máximo de cada uno de los elementos en la placa y sus periféricos como son:

principalmente el microcontrolador, la pantalla LCD16x2, el circuito integrado MAX232, el led y como periférico módulo receptor GPS. No se toma en cuenta la impresora debido a que se conecta directo a la batería por sus niveles de voltaje de alimentación de 12V.

### 2.2.6.1 Características de la Fuente Switching

Para la alimentación de energía del circuito en el taxi, se consideró utilizar la fuente switching por brindar las características necesarias para alimentación del prototipo, esta fuente cuenta con un circuito integrado que funciona principalmente como convertidor DC-DC, denominado fuente switching correspondiente a la numeración MC33063A, cuyas características principales son: soportar un voltaje de entrada de 3V a 40V, proveer una salida alta de corriente de hasta el 1.5A, obtener un voltaje de salida ajustable y un oscilador sobre los 100kHz. En la figura siguiente 2.10 se muestra la distribución de pines de la fuente MC33063A.



**Figura 2.10 Pines de conexión del MC33063A**

El MC33063A es fácil de usar, este dispositivo cuenta con toda la circuitería necesaria para diseñar convertidores DC. Estos dispositivos contienen una compensación de temperatura interna, un comparador, un oscilador y un controlador PWM con limitante de corriente.

### 2.2.6.2 Utilización de la Fuente Switching

La fuente Switching se utilizó en el prototipo como convertidor DC-DC, para alimentar el módulo receptor GPS, el MAX232, el microcontrolador ATMEGA324P y la pantalla LCD, por lo cual se sumó las cantidades de consumo de potencia de cada dispositivo electrónico, para satisfacer las necesidades de potencia de todo el circuito y proveer de energía a este taxímetro.

Para regular el voltaje de salida a 5V con una entrada de voltaje igual a 12V, se utilizó la ecuación 2.1 tomada del datasheet del integrado MC33063A, con lo cual el valor de las resistencias será  $R1=1.2k\Omega$  y  $R2=3.6k\Omega$ . La resistencia Rsc es inversamente proporcional a la corriente de salida  $I_o$ . Estas características del integrado MC33063A se detalle en el ANEXO 2.6 “datasheet de la fuente Switching”.

$$V_{out} = 1.25 \left( 1 + \frac{R2}{R1} \right) \quad (\text{ec 2.1})$$

$$V_{out} = 1.25 \left( 1 + \frac{3.6k\Omega}{1.2k\Omega} \right)$$

$$V_{out} = 5.0 \text{ voltios}$$

Como se observa en la figura 2.11 acerca de la fuente switching, se muestran las conexiones básicas del dispositivo para un voltaje de salida de 5V a 500mA y también se muestra la fórmula y los cálculos necesarios para obtener el voltaje de salida deseado.

El diodo Shockley 1N5819, es un dispositivo con dos terminales: ánodo y cátodo. Está constituido por cuatro capas semiconductoras que forman una estructura pnpn. Actúa como un interruptor: está abierto hasta que la tensión directa aplicada alcanza un cierto valor, entonces se cierra y permite la conducción. La conducción continúa hasta que la corriente se reduce por debajo de un valor específico. Tiene rápida respuesta. En la figura 2.11 se observa el diagrama funcional de la fuente

para la utilización en el prototipo, cumpliendo las necesidades de corriente y voltaje requerido por el circuito.

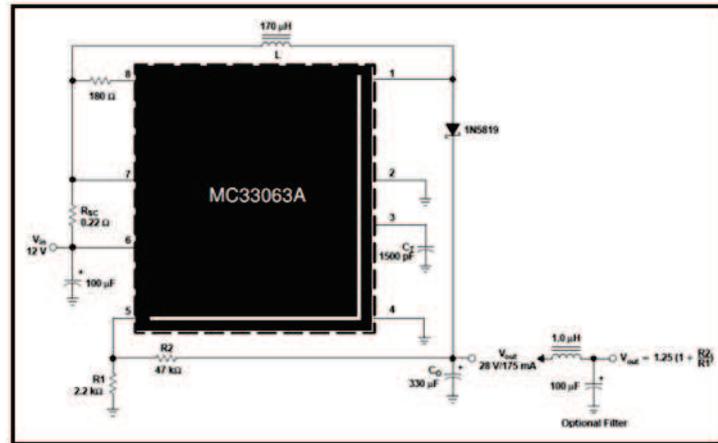


Figura 2.11 Diagrama funcional de la fuente

## 2.3 DISEÑO FIRMWARE DEL TAXÍMETRO

### 2.3.1 ESTADOS DEL SERVICIO

En la figura 2.12 se muestra el diagrama de estados que se desarrollará en el firmware desde INICIO o energización del equipo, pasando los estados del servicio secuenciales LIBRE, OCUPADO, IMPRIMIR y con opción de cambio de tarifas en el estado CONTROL.

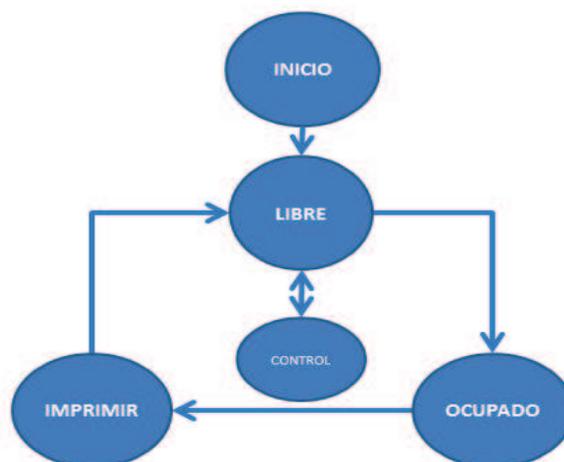


Figura 2.12 Diagrama de estados del servicio

El firmware del taxímetro, se diseñó cumpliendo algunas de las características de funcionamiento, que exigen los organismos de control, esto debido a que se utilizó una tecnología diferente y tomando en cuenta que las regulaciones son antiguas, fundamentalmente se basó en cumplir con los estados del servicio, como son: LIBRE, OCUPADO, IMPRIMIR y CONTROL; tal como se muestra en el diagrama de funcionamiento de los estados del servicio; además tomando en cuenta todos los dispositivos electrónicos usados en el proyecto, como son: el módulo LCD, el módulo receptor GPS, la comunicación serial para la impresora, los leds indicadores, los pulsadores, el buzzer y el microcontrolador ATMEGA324P.

El firmware para este microcontrolador fue desarrollado con la herramienta de programación BASCOM AVR versión 1.11.9.5, debido a su fácil aprendizaje y comandos muy sencillos, además por ser conocido y utilizado anteriormente, no se utilizó versiones más nuevas debido a que las nuevas versiones BASCOM AVR tienen deficiencias en RTC y memorias de programa dependiendo de la versión y del microcontrolador utilizado.

A continuación se describen las características básicas de esta herramienta de programación y se detalla la lógica de programación utilizada.

### **2.3.1.1 Lenguaje de programación en BASCOM AVR <sup>[18]</sup>**

El firmware desarrollado para el taxímetro se lo realizó en el lenguaje de programación BASIC con ayuda de la herramienta de programación BASCOM-AVR. Las características propias de este lenguaje de programación ayudan a desarrollar una estructura de programa más sencilla. Algunas de sus características son:

Permite utilizar las librerías para un rápido desarrollo de instrucciones de adquisición de datos, manejo de memorias, LCD's, conversión de números y datos, comunicación, entre otras características utilizadas para la programación de microcontroladores de la familia de ATMEL.

Permite tener un reporte gráfico del mapa de memoria RAM y ROM utilizada, estadísticas del código desarrollado y un listado de todas las rutinas creadas tanto por el usuario como las utilizadas por las diferentes librerías.

Para el desarrollo del programa es importante conocer los tipos de variables que pueden ser utilizadas en BASCOM-AVR. En la tabla 2.6 muestra detalle de los tipos de variables con sus características específicas.

**Tabla 2.6 Lista de variables de BASCOM-AVR**

Tipo de variable	Rango
Bit	0 ó 1
Byte	De 0 a 255
Integer	-32767 a +32767
Word	0 a 65535
Long	-2147483648 a +2147483647.
Single	$1.5 \times 10^{-45}$ a $3.4 \times 10^{38}$
Double	$5.0 \times 10^{-324}$ a $1.7 \times 10^{308}$
String	Hasta los 254 bytes.

El compilador Basic BASCOM-AVR© para microcontroladores de la familia AVR de Atmel es una excelente herramienta, por su ambiente de programación amigable y sencilla, con la cual se redujo los tiempos de desarrollo del firmware de forma drástica. En la figura 2.13 se tiene la fotografía del CD de la herramienta de programación BACOM-AVR



**Figura 2.13 CD de la herramienta BASCOM-AVR**

La carga de programas o transferencia de archivos ejecutables se puede realizar desde un computador al microcontrolador a través del bus SPI con el AVR-ISP (*in*

*system programming*) de Atmel por el puerto serial. En la figura 2.14 se observa los componentes para la transferencia del archivo hexadecimal al microcontrolador.



**Figura 2.14** Kit carga AVR

### **2.3.1.2 Características de BASCOM-AVR**

- BASIC es un compilador estructurado con etiquetas.
- Cuenta con las siguientes etiquetas básicas de programación: IF-THEN-ELSE-END IF, DO-LOOP, WHILE-WEND, SELECT- CASE.
- Código máquina compilado, mucho más rápido que los interpretados.
- Nombres de variables y etiquetas largos, hasta 32 caracteres de longitud.
- Variables Bit, Byte, Integer, Word, Long, Single y String.
- Los programas compilados trabajan con todos los microcontroladores AVR que tienen memoria RAM interna.
- Las instrucciones y comandos son en su mayoría compatibles con Microsoft's VB/QB
- Mezcla Assembler y Basic en la misma fuente.
- Puede generar librerías.
- Comandos especiales para displays-LCD, chips I2C y chips 1WIRE, teclado PC, teclado de matriz, recepción RC5, UART software y SPI.
- Variables locales, funciones de usuario, soporte de librería.
- Emulador de terminal integrado con opción de descarga.
- Simulador integrado para test.

- Soporta Programadores SPI y programadores STK200 y STK300.
- Editor con resalte de las instrucciones.
- Contexto de ayuda sensitivo.
- Trabaja perfectamente con los productos de Digital Micro Devices basados en AVR.
- La versión DEMO compila 2KB de código. Adecuada para el AT2313.
- Ayuda muy completa y documentada con ejemplos gráficos y demos.

### 2.3.1.3 Instrucciones que soporta BASCOM

#### **Decisión y estructuras:**

IF, THEN, ELSE, ELSEIF, END IF, DO, LOOP, WHILE, WEND, UNTIL, EXIT DO, EXIT WHILE, FOR, NEXT, TO, DOWNT0, STEP, EXIT FOR, ON...GOTO/GOSUB, SELECT, CASE.

#### **Entrada y salida:**

PRINT, INPUT, INKEY, PRINT, INPUTHEX, LCD, UPPERLINE, LOWERLINE, DISPLAY ON/OFF, CURSOR ON/OFF/BLINK/NOBLINK, HOME, LOCATE, SHIFTLCD LEFT/RIGHT, SHIFTCURSOR LEFT/RIGHT, CLS, DEFLCDCHAR, WAITKEY, INPUTBIN, PRINTBIN, OPEN, CLOSE, DEBOUNCE, SHIFTLIN, SHIFTOUT, GETATKBD

#### **Funciones numéricas:**

AND, OR, XOR, INC, DEC, MOD, NOT, ABS, BCD, LOG, EXP, SQR, SIN, COS, TAN, EXP.

#### **I2C:**

I2CSTART, I2CSTOP, I2CWBYTE, I2CRBYTE, I2CSEND and I2CRECEIVE.

#### **1WIRE:**

1WWRITE, 1WREAD, 1WRESET, 1WIRECOUNT, 1WSEARCHFIRST, 1WSEARCHNEXT.

#### **SPI:**

SPIINIT, SPIIN, SPIOUT, SPIMOVE.

**Interrupciones:**

ON INT0/INT1/TIMER0/TIMER1/SERIAL, RETURN, ENABLE, DISABLE, COUNTERx, CAPTUREx, INTERRUPTS, CONFIG, START, LOAD.

**Manipulación Bit:**

SET, RESET, ROTATE, SHIFT, BITWAIT, TOGGLE.

**Variables:**

DIM, BIT,BYTE,INTEGER, WORD, LONG, SINGLE, STRING, DEFBIT, DEFBYTE, DEFINT, DEFWORD.

**Varias:**

REM, ' , SWAP, END, STOP, CONST, DELAY, WAIT, WAITMS, GOTO, GOSUB, POWERDOWN, IDLE, DECLARE, CALL, SUB, END SUB, MAKEDEC, MAKEBCD, INP,OUT, ALIAS, DIM , ERASE, DATA, READ, RESTORE, INCR, DECR, PEEK, POKE, CPEEK, FUNCTION, READMAGCARD, SPC.

**Directivas del compilador:**

\$INCLUDE, \$BAUD and \$CRYSTAL, \$SERIALINPUT, \$SERIALOUTPUT, \$RAMSIZE, \$RAMSTART, \$DEFAULT XRAM, \$ASM-\$END ASM, \$LCD, \$EXTERNAL, \$LIB.

**Manipulación de cadenas:**

STRING, SPACE, LEFT, RIGHT, MID, VAL, HEXVAL, LEN, STR, HEX, LTRIM, RTRIM, TRIM, LCASE, UCASE, FORMAT, FUSING, INSTR.

Para desarrollar el firmware se siguió 5 pasos:

- Se realizó un diagrama flujo
- Se escribió el programa en BASIC.
- Se compilo a código máquina binario (ejecución rápida).
- Se probó el resultado con el simulador integrado.
- Se programó el chip con uno de los programadores integrados.

El firmware se escribió en un editor MDI (*Multiple Document Interface*) Interfaz de Múltiples Documentos de código en color, donde se puede tener varias ventanas de edición y en cada ventana fácilmente identificar tipos de variables, funciones y comandos. Además cuenta con características habituales para el editor soportando Undo, Redo, Bookmarks y Blocks, comandos que facilitan y agilitan la

interfaz de usuario. En la figura 2.15 se observa la ventana de BASCOM AVR para el desarrollo del firmware

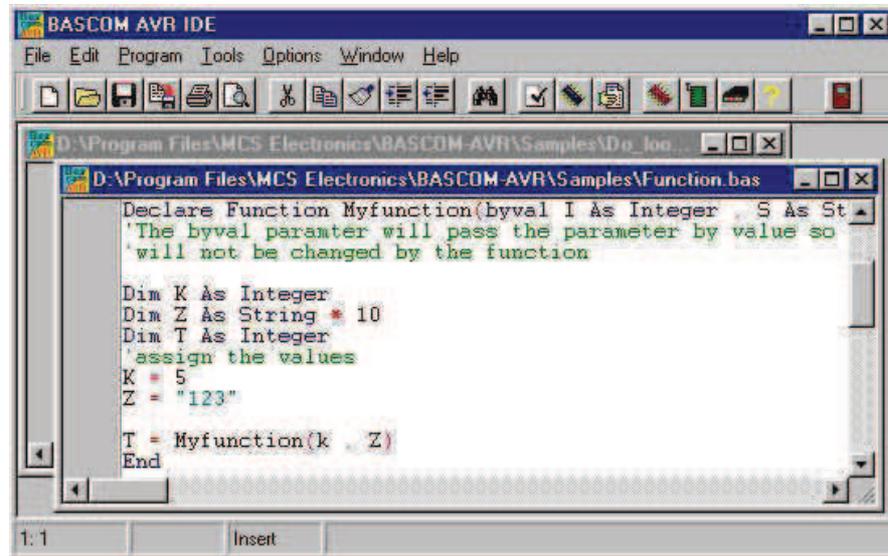


Figura 2.15 Ventana de BASCOM AVR para desarrollar firmware

Con el simulador se pudo probar el firmware antes de grabar al microcontrolador. Este es capaz de marcar las variables, ejecutar el firmware paso a paso o hasta una línea específica, también en la misma simulación se puede modificar registros y variables. Para ver el valor de una variable, basta colocar el puntero del ratón encima de esta. En la figura 2.16 se observa la ventana de simulación en la herramienta Bascom AVR.

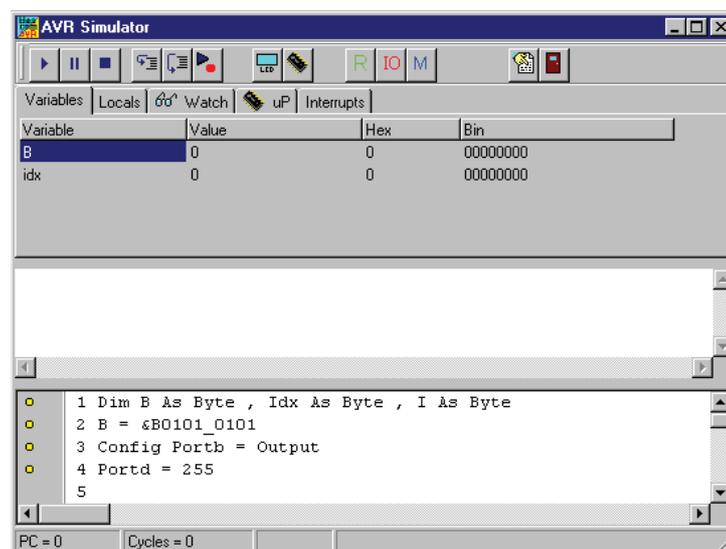


Figura 2.16 Ventana de simulación en Bascom AVR

Una característica interesante es el emulador de hardware del display LCD y los estados de los puertos. El emulador del LCD puede emular los caracteres diseñados a medida. En la figura 2.17 se muestra el simulador que cuenta con múltiples opciones para visualizar los datos del microcontrolador.

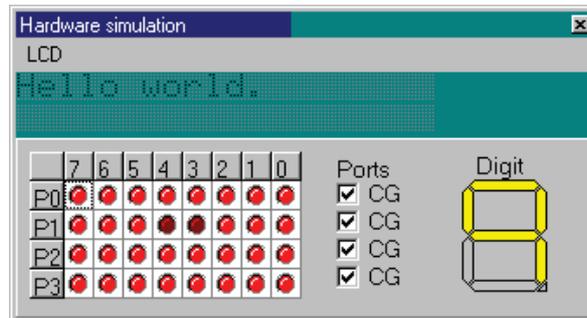


Figura 2.17 Ventana para emular los mensajes en el LCD

En la figura 2.18 se puede verificar el código hexadecimal del firmware antes de que se cargue o transfiera el ejecutable en las memorias Flash y EEPROM del microcontrolador, pudiendo chequear los espacios de memoria en la ventana del AVR ISP Programmer. Estando seguro del funcionamiento del firmware se pudo transferir al chip ATMEGA324P usando cualquiera de los drivers de programador soportados.

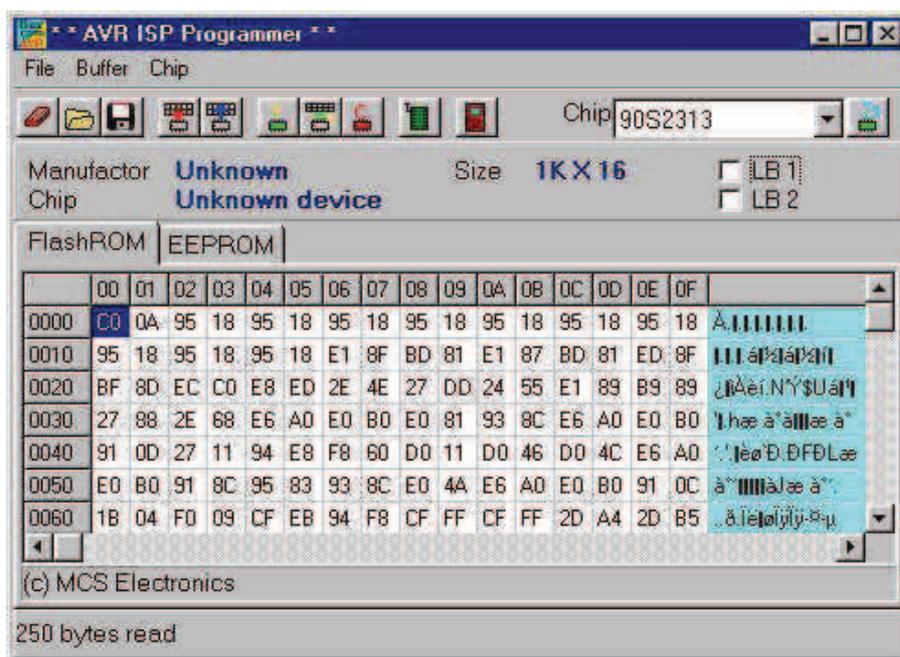


Figura 2.18 Ventana del programador ISP propio del BASCOM

### 2.3.2 INICIO DEL PROGRAMA

En la figura 2.19 se observa el detalle del diagrama de flujo del estado de inicio del firmware desarrollado.

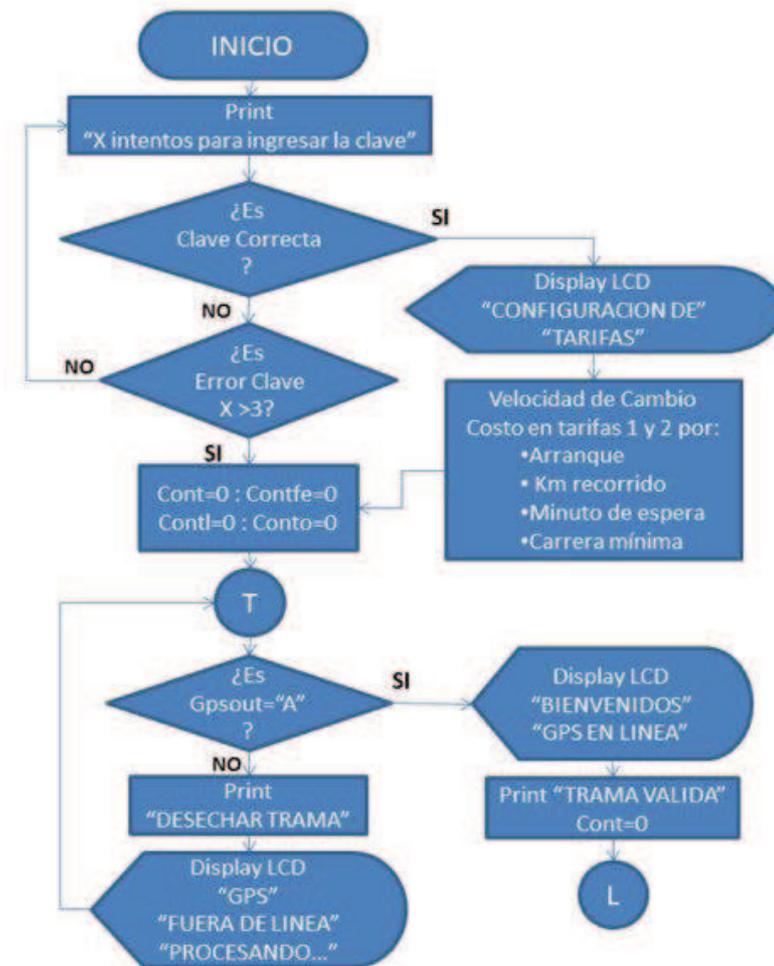


Figura 2.19 Diagrama de flujo del inicio

El programa INICIO se usa una sola vez después de alimentar o energizar el circuito, realizando algunas tareas como las siguientes:

- 1.- Permite ingresar una clave para cargar o cambiar constantes para nuevas tarifas en memoria EPROM teniendo solo tres intentos en un lapso de 6 segundos aproximadamente
- 2.- Muestra en la pantalla LCD el mensaje de "GPS FUERA DE LINEA", "PROCESANDO..." y así dar un tiempo para que el GPS pueda procesar sus datos y logre enganchar con los satélites

3.- Despliega el mensaje de “BIENVENIDA”, “GPS EN LINEA”, cuando el receptor GPS envía tramas validas o que el módulo GPS tiene comunicación con los satélites visibles y procese los datos correctamente, encerando variables de Inicialización

4.- Por último, mediante el doble pitazo del buzzer, confirma el correcto funcionamiento del equipo, e inmediatamente procede a la subrutina LIBRE.

### 2.3.3 RECEPCIÓN DE TRAMAS VÁLIDAS

En la figura 2.20 se muestra el diagrama de flujo del firmware para el tratamiento de tramas emitidas por el receptor GPS al microcontrolador.

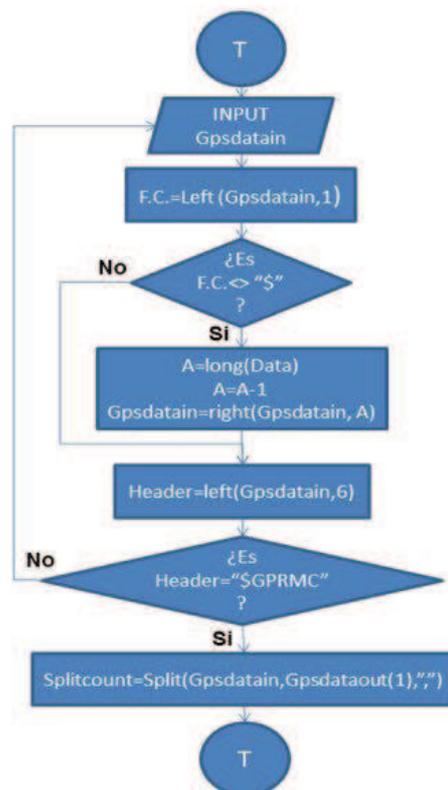


Figura 2.20 Diagrama de flujo de tramas validas

Esta parte del programa realiza un lazo que recibe continuamente datos que envía el módulo receptor GPS, descrito en el capítulo anterior. La subrutina TRAMA chequea en dos ocasiones los datos recibidos: la primera para recibir el

inicio de las tramas de datos GPS identificado con el símbolo hexadecimal "\$"; y la segunda para recibir la cabecera de la trama de datos, igual a los 6 primeros caracteres hexadecimales "\$GPRMC", sabiendo donde inicia la trama de datos \$GPRMC, después se realiza la separación de campos delimitados con la "," que van en el siguiente orden inicio y cabecera, "\$GPRMC"; la hora UTC, "080322"; tipo de trama (valida o no valida),"A" ó "V"; latitud y longitud en grados y minutos, "012.5821,S,7816.9928,W"; la fecha, "120611";etc. y por último realiza un checksum, identificado con un número después de un asterisco, ejemplo "\*32".

### 2.3.4 ESTADOS LIBRE, OCUPADO E IMPRIMIR

En la figura 2.21 se presenta el diagrama de flujo del firmware en el estado LIBRE

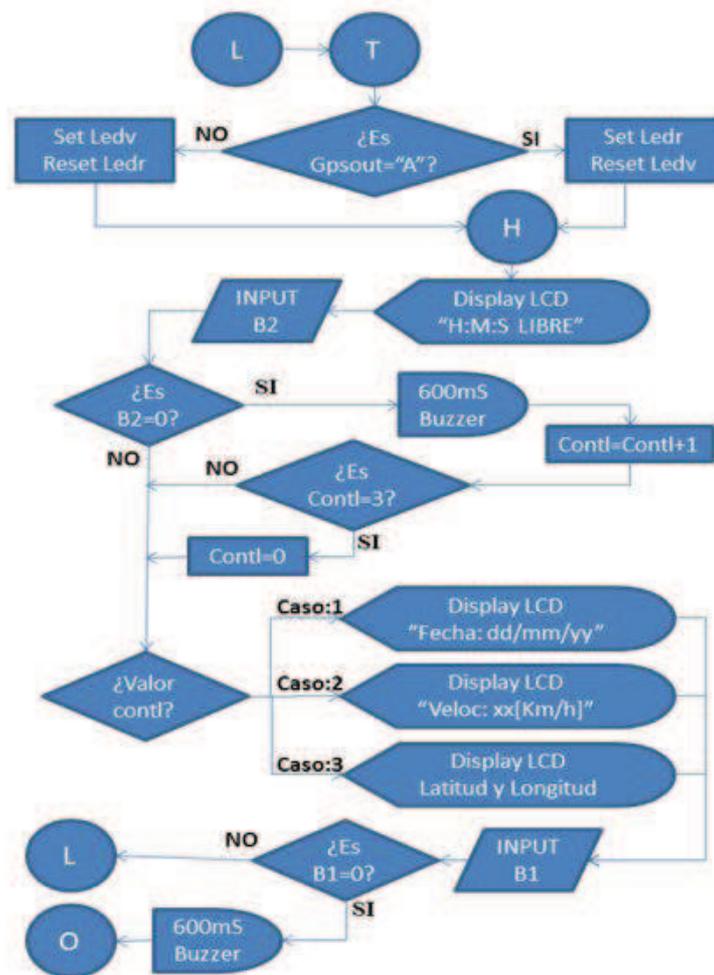


Figura 2.21 Diagrama de flujo del estado LIBRE

Inmediatamente después de chequear los datos GPRMC, en la parte del programa INICIO, llega hasta la subrutina LIBRE, donde vuelve a chequear si es una trama válida y verifica cada vez que envía tramas el módulo GPS para usar los datos correctos, se procede a otra subrutina importante, la subrutina HORA, ésta se encarga de corregir la fecha y hora para Ecuador. Luego el programa muestra siempre en la pantalla, en la parte superior del LCD, la hora y el estado actual, en este caso **"H:M:S LIBRE"**, además indica en la parte inferior del LCD los siguientes casos: caso 1, **"la fecha"**; caso 2, **"la velocidad"**; caso 3, **"Latitud y Longitud"** estas opciones se pueden cambiar presionando el botón B2 acompañado con un doble pitazo del buzzer. Terminado este proceso vuelve al inicio a recibir otra trama válida. En el caso de presionar el botón B1 el buzzer pita dos veces y pasa a la subrutina OCUPADO. En la figura 2.22 se observa el diagrama de flujo del firmware en el estado OCUPADO.

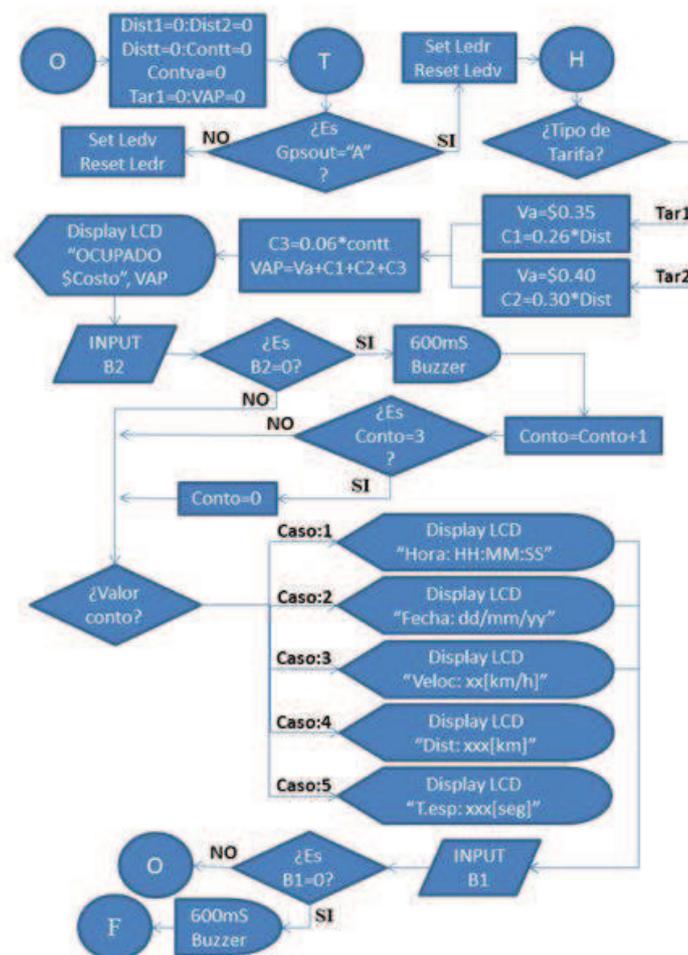


Figura 2.22 Diagrama del estado del OCUPADO

Esta subrutina OCUPADO empieza encerrando las variables de distancia, tiempo de espera y valor a pagar del servicio, para el inicio de una nueva carrera, luego toma una trama actual que envía el módulo GPS mediante la subrutina TRAMA, y se comprueba si es una trama válida e indica “mediante encendido de leds” el correcto funcionamiento del módulo GPS, al tener una trama válida vamos a la subrutina HORA, similar a la subrutina LIBRE descrita anteriormente, pero con un tratamiento de datos especial, que toma en cuenta en que tipo de tarifa horaria trabajará el taxímetro diurno o nocturno.

Sabiendo en que tipo de tarifa está, se carga los valores de las constantes de velocidad de cruce, costo de arranque, costo por distancia recorrida, costo por tiempo de espera y costo mínimo de la carrera, tomados de la memoria EPROM, anteriormente almacenados. Continúa tomando los datos actuales del módulo GPS y calcula el costo por distancia de la carrera y el costo de tiempo de espera según la velocidad de cambio decrita en el capítulo anterior 1.3 “Velocidad de cruce”, incrementando los valores en función del tipo de tarifa, la distancia recorrida y tiempo de espera de la carrera en cuestion.

En la parte superior de la pantalla LCD se indica siempre visible y continuamente el tipo de tarifa, el estado “OCUPADO”, y especialmente el costo del servicio en la moneda de dólares americanos; y en la parte inferior indica diferentes casos: caso 1, “Hora”; caso 2, “Fecha”; caso 3, “Velocidad”; caso 4, “Distancia recorrida”; caso 5, “Tiempo de espera”; para pasar de caso en caso se presiona el boton B2 que se indica con el doble pitazo del buzzer. Y cuando se presiona el boton B1 igualmente se indica con un doble pitazo del buzzer e inmediatamente pasa a la siguiente subrutina FACTURAR.

En la subrutina FACTURAR, tal como se muestra en el diagrama de flujo de la figura 2.23, en primer instancia se chequea el tipo de tarifa diurna o nocturna, para luego cargar los valores de los costos de tarifa mínima almacenados anteriormente en la memoria EPROM, estos valores se indicarán en la pantalla LCD junto con el mensaje “DESEA IMPRIMIR o IMPRIMIENDO”, igualmente se comunicará serialmente el detalle de la carrera como: total de kilómetros

recorridos, tiempo total de espera, valor del costo de arranque, costo total de la carrera, tipo de tarifa, hora de inicio, hora final de la carrera, latitud y longitud inicial y final. Terminado la impresión pasa automáticamente a la subrutina o estado LIBRE. En la figura 2.23 se muestra el diagrama de flujo del firmware en el estado IMPRIMIR.

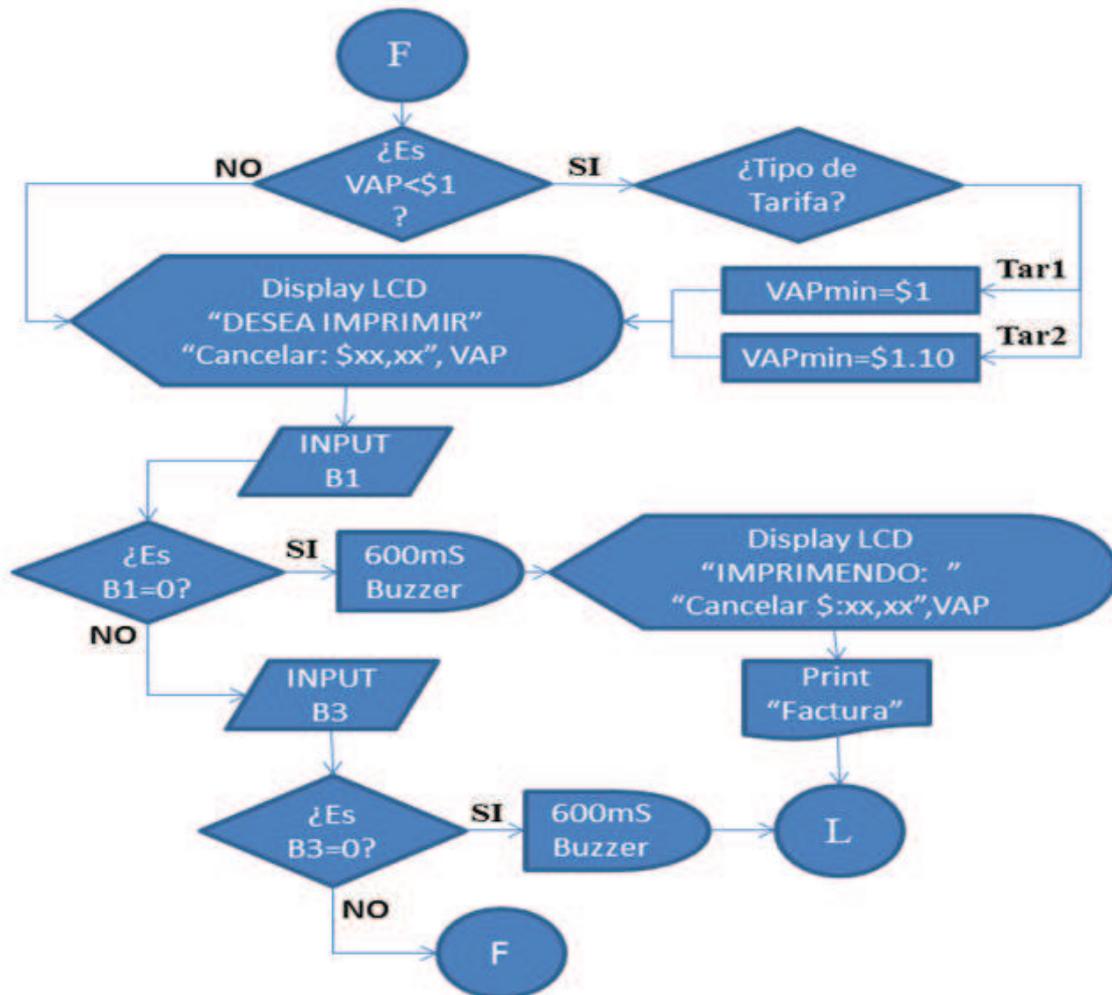


Figura 2.23 Diagrama de flujo de estado IMPRIMIR o FACTURAR

### 2.3.5 CÁLCULOS DE DISTANCIA Y TIEMPO PARA LA VELOCIDAD DE CAMBIO

Los cálculos de Distancia Recorrida y Tiempo de Espera, se generan siempre y cuando el taxímetro se encuentre en el estado OCUPADO. Se usó para realizar

los cálculos, la idea del modo de tarifa exigido por el INEN, que dice: que tomando en cuenta la velocidad de cruce, se tarificará por distancia recorrida a una velocidad mayor a la velocidad de cruce y por tiempo transcurrido a una velocidad inferior a la velocidad de cruce.

Los cálculos de Distancia Recorrida y Tiempo de Espera van a ser independientes del tipo de tarifa, lo que no es así referente a los costos por estos parámetros de Distancia Recorrida y Tiempo de Espera que si van a depender del tipo de tarifa.

En el ANEXO 2.7 código fuente del firmware desarrollado, se encuentra las líneas de programa definitivas para el microcontrolador ATMEGA324P para el prototipo de taxímetro.

#### **2.3.5.1 Cálculo de la distancia recorrida**

La distancia recorrida o desplazamiento del vehículo se expresa en un valor de kilómetros recorridos, se creó una función, que inicialmente pone sus variables en cero al pasar al estado OCUPADO, para luego ir incrementando el valor según sea el estado de la carrera o según el recorrido del auto-taxi. En el caso de ser la velocidad del taxi mayor a la velocidad de cruce de 12km/h, se incrementará el valor de la distancia en función del cambio de posición o de los parámetros de Latitud y Longitud que brinda el módulo GPS cada segundo. Existe un error de precisión de la posición de 4m hasta 100m en el peor de los casos, respecto a la posición real del vehículo, sin embargo este error es despreciable tomando en cuenta que se utiliza el parámetro desplazamiento, debido a que el error en la posición no es acumulativo, siendo así que se tiene una aproximación muy exacta entre la sumatoria total del desplazamiento calculada y los kilómetros reales recorridos por el vehículo.

A continuación se presenta la fórmula para el cálculo de la distancia recorrida, asumiendo que la curvatura de la tierra es despreciable para un servicio de carrera de taxi que recorra por las calles de la ciudad de Quito.

Se tiene:

$$Dt = \sum \left\{ K * \sqrt{[(L_{AT2} - L_{AT1})^2 + (L_{OG2} - L_{OG1})^2]} \right\} \quad (\text{ec 2.2})$$

Siendo:

$L_{AT1}$ : posición de latitud inicial (t-1) medido en grados y minutos.

$L_{AT2}$ : posición de latitud final (t) medido en grados y minutos.

$L_{OG1}$ : posición de longitud inicial (t-1) medido en grados y minutos.

$L_{OG2}$ : posición de longitud final (t) medido en grados y minutos.

$K$ : constante para cambio de variables de (') a km.

$Dt$ : distancia total igual a sumatoria de distancias parciales, medida en kilómetros.

Para el sector del planeta que se ubica Ecuador más específicamente en Quito, por cada minuto de distancia en coordenadas geográficas hay aproximadamente 1.85 km de distancia, valor que se le da a la constante  $K$ .

Para mayor comprensión se adjunta un ejemplo de cálculo:

$$L_{AT1}: 00^{\circ}12.1656'$$

$$L_{AT2}: 00^{\circ}12.1644'$$

$$L_{OG1}: 078^{\circ}29.6687'$$

$$L_{OG2}: 078^{\circ}29.6699'$$

$$A_{LAT} = L_{AT2} - L_{AT1} = 0.0012'$$

$$A_{LOG} = L_{OG2} - L_{OG1} = -0.0012'$$

$$A_{LAT}^2 = 0.00000144(^{\circ})^2$$

$$A_{LOG}^2 = 0.00000144(^{\circ})^2$$

$$Ad2 = A_{LAT}^2 + A_{LOG}^2 = 0.00000288 (^{\circ})^2$$

$$Ad = \sqrt{Ad2} = \sqrt{0.00000288(^{\circ})^2}$$

$$Ad = 0.00169706'$$

$$d = Ad * K$$

$$d = Ad * 1.85 \text{ [km]/}(\text{'})$$

$$d = 0.00313955 \text{ [km]}$$

$$\textit{Distancia Total: } Dt = \sum d_{\textit{parciales}} \quad (\textit{ec 2.2})$$

Siendo:

$A_{\text{LAT}}$ : incremento de desplazamiento de latitud en tiempo t=1 segundo.

$A_{\text{LOG}}$ : incremento de desplazamiento de longitud en tiempo t=1 segundo.

$A_{\text{LAT}}^2$ : incremento de desplazamiento de latitud al cuadrado.

$A_{\text{LOG}}^2$ : incremento de desplazamiento de longitud al cuadrado.

$Ad^2$ : incremento de desplazamiento al cuadrado longitud + latitud.

$Ad$ : desplazamiento en latitud y longitud, o incremento de distancia en tiempo t=1 segundo, medido en minutos (').

$d$ : incremento de distancia o distancia parcial, medido en kilómetros.

### 2.3.5.2 Cálculo del tiempo de espera

El cálculo de tiempo de espera es mucho más sencillo que el cálculo anterior de distancia recorrida. El valor de Minuto de Espera se lo obtiene incrementando un contador siempre y cuando la velocidad del taxi sea menor a la velocidad de cruce y el dato de la hora UTC en el módulo GPS sea diferente cada vez que se lea, es decir el contador incrementará cada segundo, cuando se encuentre en el estado OCUPADO y la velocidad sea menor a 12Km/h. Cada 60 segundos tenemos nuestro Minuto de Espera el cual añadirá un valor de 6 centavos por cada minuto al costo de la carrera.

### 2.3.6 FÓRMULA DEL CÁLCULO DEL COSTO DEL SERVICIO DE LA CARRERA

A continuación se describe todos los factores que influyen en el costo del servicio de la carrera.

Tipo de Tarifa: Éste es un factor numérico (1 ó 0) que va a depender de la hora en la que se encuentra el servicio. Existen dos tipos de tarifas la diurna y la nocturna. La diurna está en el horario de 05:00 de la mañana hasta las 22:00 de la noche y la nocturna desde las 22:00 hasta las 05:00 del día.

Costo por el Arranque: Ésta es una constante que se va a sumar una sola vez al costo total de la carrera, va a depender del tipo de tarifa al inicio de la carrera.

Valor mínimo de la Carrera: Éste es un valor en dólares que depende igualmente del tipo de tarifa al final de la carrera. Se utilizará cuando el costo total de la carrera sea inferior a este valor.

Factor de multiplicación por kilómetro recorrido: Éste es un valor numérico que representa el costo en dólares por cada kilómetro recorrido anteriormente descrito, se obtiene desde la EPROM que se almacena con anticipación por personal autorizado que posea la clave.

Factor de multiplicación por Minuto de Espera: Éste es un valor numérico que representa el costo en dólares por cada minuto de espera que se obtuvo anteriormente en el cálculo del tiempo de espera, igualmente se obtiene desde la EPROM donde se almacenó con anticipación por personal autorizado.

La fórmula es la siguiente:

$$C_T = C_A(T1,T2) + \left( \frac{C1}{km} * Dist + \frac{C1}{min} * Cont \right) * T1 + \left( \frac{C2}{km} * Dist + \frac{C2}{min} * Cont \right) * T2 \quad (ec 2.3)$$

y

$$\text{Si } C_T < C_{min}(T1,T2) \text{ entonces } C_T = C_{min}(T1,T2) \quad (ec 2.4)$$

En el caso de que el costo de la carrera sea menor al costo mínimo de la carrera entonces el costo total de la carrera se cargara con datos del costo mínimo del servicio dependiendo de tarifa horaria. En el caso del prototipo si marca un valor

de carrera menor a \$1,00 en tarifa diurna, y menor a \$1,10 en tarifa nocturna, el firmware cargara el valor a pagar con el valor mínimo del servicio.

Dónde:

$C_T$ :	Costo Total.
$C_A$ :	Costo por Arranque en función del tipo de Tarifa.
$C1/km$ :	Costo por Kilómetro recorrido Tarifa diurna.
$C1/min$ :	Costo por Minuto de Espera Tarifa diurna.
$C2/km$ :	Costo por Kilómetro recorrido Tarifa nocturna.
$C2/min$ :	Costo por Minuto de Espera Tarifa nocturna.
$T1$ :	Tarifa diurna.
$T2$ :	Tarifa nocturna.
Dist:	Kilómetros recorridos.
Cont:	Minuto de Espera.
$C_{min}(T1,T2)$ :	Valor mínimo de la carrera en función del tipo de Tarifa.

Donde  $T1$  y  $T2$  son complementarios.

Si  $T1=1$  entonces  $T2=0$ .

Si  $T2=1$  entonces  $T1=0$ .

# CAPÍTULO III

## CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

### 3.1 INTRODUCCIÓN

Este capítulo detalla todos los pasos que se llevaron a cabo para la construcción del prototipo de taxímetro con GPS e impresora, como son: el desarrollo de los diagramas esquemáticos y circuitales, haciendo uso de las herramientas ISIS y ARES de Proteus; la elaboración física de la placa del circuito impreso PCB (*Printed Circuit Board*) y el poblado de los elementos en la misma; y el montaje de los diferentes componentes en una caja mecanizada adecuada, así como las conexiones de la tarjeta con los dispositivos de entrada y salida (impresora, display, receptor GPS). Además se presenta algunas sugerencias al momento de la instalación en el vehículo y la necesidad de utilizar una batería de respaldo. A continuación en la figura 3.1 un diagrama de bloques del proceso de construcción.

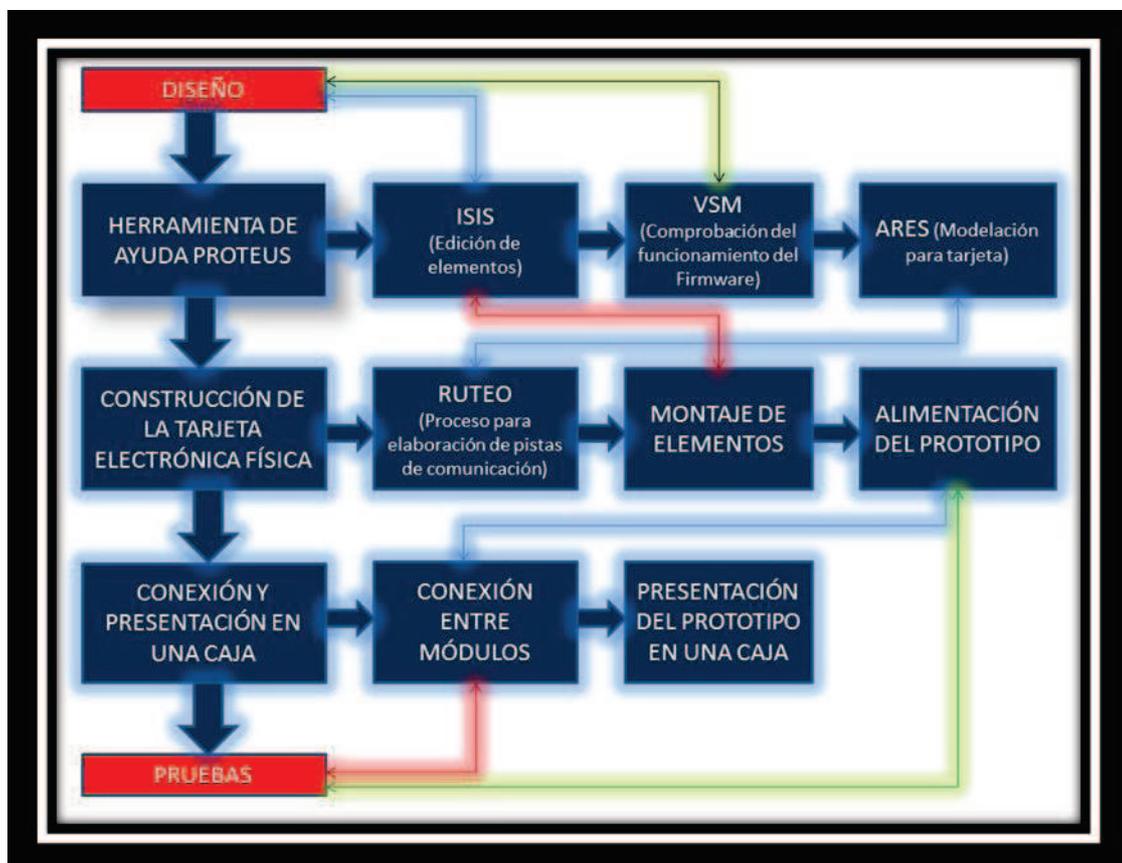


Figura 3.1 Diagrama de bloques del proceso de construcción del prototipo

## 3.2 HERRAMIENTA DE DESARROLLO – PROTEUS <sup>[23]</sup>

Proteus es un entorno de desarrollo que simula en tiempo real todo tipo de circuitos electrónicos visualizando tanto características de circuitos analógicos como digitales, fue creado por la empresa *Labcenter Electronics Ltd*, integra diversas herramientas de software para las tareas más comunes en el desarrollo de proyectos electrónicos tales como: captura de esquemáticos, fabricación de circuitos impresos y simulación basada en PSPICE. Las herramientas que conforman a Proteus son las siguientes:

- ISIS “Intelligent Schematic Input System”. El cual es el módulo de captura de diagramas esquemáticos.
- VSM “Virtual Sistema Modelling”. El cual es el módulo de simulación, incluyendo ProSPICE.
- ARES “Advanced Routing and Editing Software”. El cual es el módulo para la realización de circuitos impresos o PCB.

### 3.2.1 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO <sup>[23]</sup>

La herramienta ISIS de Proteus, tiene la característica de poder escoger de entre cientos de modelos simulables, clasificados en diferentes categorías de elementos desde los más básicos - como: resistencias, capacitores, conectores, diodos, bobinas - hasta los más complejos - como: pantallas, microcontroladores, conversores digitales, etc. También se encuentran desde los más comunes - como los modelos primitivos - hasta los más difíciles de encontrar, e incluso se agrupan en la categoría miscelánea todos los componentes que se usan con mayor frecuencia. No pueden faltar dispositivos de las familias TTL 74xx, la serie TTL 74xxAS, la serie 74xxHC, etcétera.

La mayoría de estos elementos poseen su package<sup>10</sup> para transferirse a la herramienta ARES y poder iniciar con el diseño de la tarjeta electrónica y con esto

---

<sup>10</sup>Package: Es un conjunto de medidas o dimensiones de un elemento eléctrico o electrónico.

rutear sus terminales. Es ahí donde se tuvo el cuidado de escoger correctamente los elementos que posean los packages adecuados, con dimensiones iguales a las reales. Existen algunos elementos que no tienen su package sin embargo se le puede adjuntar de un modelo similar para el diseño, como es el caso de los leds para los cuales se escogió packages de capacitores con dimensiones similares. Proteus tiene la opción de realizar packages personalizados según las dimensiones que se desean, y así tener packages prediseñados para cargarlos a los modelos de elementos que originalmente no dispongan de uno.

### 3.2.1.1 Creación y edición de componentes <sup>[23]</sup>

ISIS permite generar componentes personalizados para su inclusión en nuevos diseños, bien por no encontrarlos en las librerías de Proteus o porque sus dimensiones son diferentes. Como ejemplo para ilustrar la creación de un componente en ISIS se muestran los pasos para crear un MC34063, por ser un integrado sencillo y de pocos pines. En la figura 3.2 se muestra el componente una vez creado:

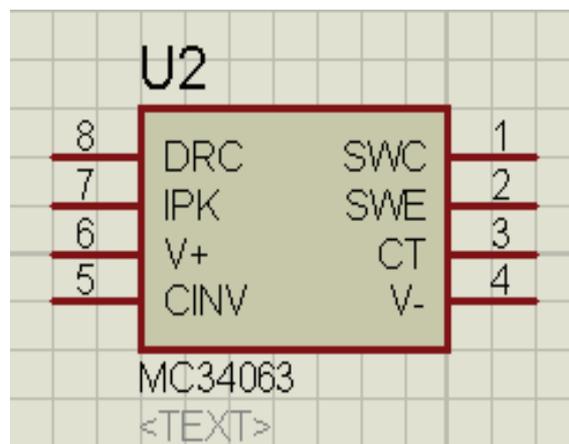


Figura 3.2 Diagrama de un circuito integrado MC34063

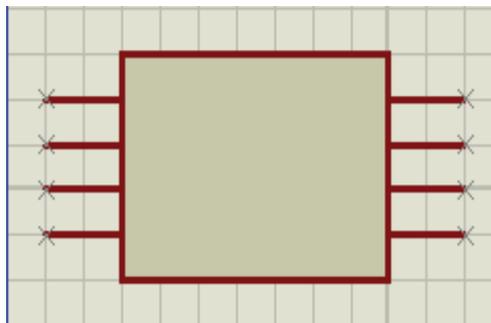
ISIS no dispone de un editor de componentes, por tanto los componentes se crean y editan en el mismo entorno de trabajo, lo que llega a ser más práctico ya que no requiere por parte del usuario acostumbrarse a varias ventanas de trabajo,

ya que sin salir de la misma ventana puede estar diseñando un circuito y a la vez creando un componente que pueda necesitar para llevar el diseño a término.

Para crear el componente se comienza dibujando su forma, para ello se activa el icono de caja de gráficos 2d de Proteus: . Una vez seleccionada la herramienta se crea un rectángulo de un tamaño adecuado para el componente haciendo click izquierdo sobre la hoja de trabajo y arrastrando al mouse hasta el tamaño correcto. Una vez realizado el cuadro se procede a añadir al componente los pines que tendrá, para ello se emplea la herramienta de pines:  y se comprueba que al seleccionar la herramienta en la lista de la derecha aparezcan los diferentes tipos de pines que se puede añadir al componente, los más importantes son:

- DEFAULT -> tipo estándar de pin.
- INVERT -> Señal negada.
- POSCLK -> Entrada de reloj
- NEGCLK -> Entrada negada de reloj

Se añaden 8 pines del tipo DEFAULT al componente, 4 a cada lado, como se ve en la figura 3.3. El siguiente paso será adjudicar los nombres a cada uno de los pines y sus características. Para ello se escoge un pin con click derecho y se edita sus propiedades con un click izquierdo:



**Figura 3.3 Diagrama inicio de proceso de creación**

En el campo "Pin Name" se introduce el nombre que se quiere darle al pin, que en el caso de la figura 3.4 como ejemplo es SWC. El campo siguiente corresponde al

número de pin y se lo deja en blanco para posteriormente asignar una numeración automáticamente. Las siguientes opciones nos permiten ocultar el cuerpo del pin, su nombre y su número respectivamente. Y por último se puede seleccionar el tipo del pin, ya sea éste pasivo, entrada, salida, bidireccional, de triple estado, salida pull-up, salida pull-down o de alimentación, como es el caso que se observa en la Figura 3.4.

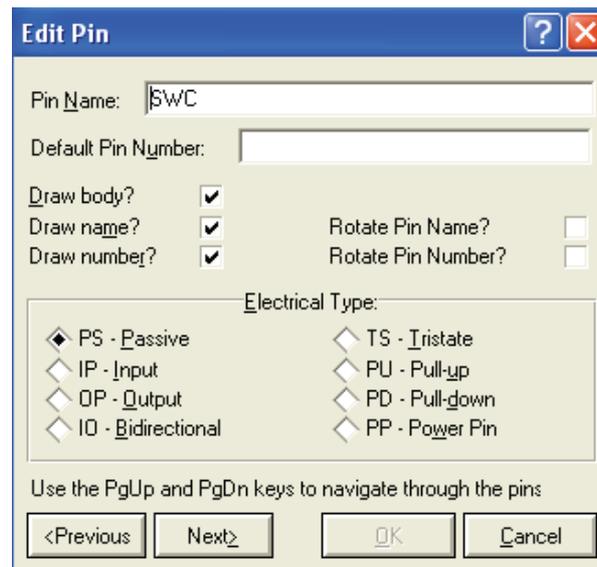


Figura 3.4 Diagrama para editar pines del integrado

Ahora se establecen las propiedades del resto de pines asignándoles los nombres como puede verse en la figura 3.5 lado izquierdo. En especial asignar a los pines de alimentación su mismo tipo. Al resto de pines se les puede asignar el tipo Pasivo. Siguiendo con la asignación de números a cada pin, para lo cual se usa el *Property Assignment Tool* (Asignación de propiedades), que se encuentra en el menú Tools, o al que accederemos igualmente presionando la tecla 'A', véase la figura 3.6.

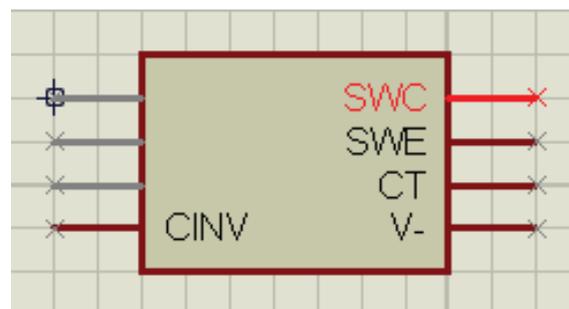


Figura 3.5 Asignación de nombres a los pines del modelo

En el campo string se escribe “NUM=#”, para indicar a proteus que se quiere establecer el número del pin en orden según el valor actual. El campo *count* se usa para indicar el valor inicial y campo *increment* para el incremento que habrá entre un número y otro. En este caso *count* deberá valer 1 e *increment* también. Con las anteriores consideraciones se procede a asignar los valores, esto se hace presionando click en los pines del componente en el mismo orden de enumeración, y se observa que van apareciendo los números junto a los pines.

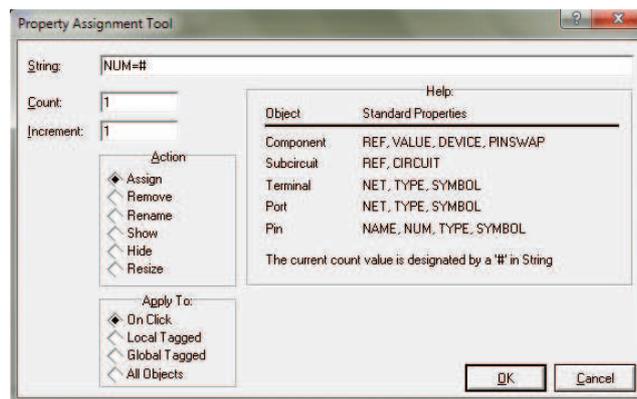


Figura 3.6 Diagrama para editar propiedades del elemento

Una vez nombrados y numerados los pines se crea el componente propiamente dicho, para ello se selecciona todos los elementos (es decir, rectángulo y pines creados a su alrededor) y se escoge del menú la opción *Library/Make device*, con lo cual aparece una ventana como se la que se ve en la figura 3.7.

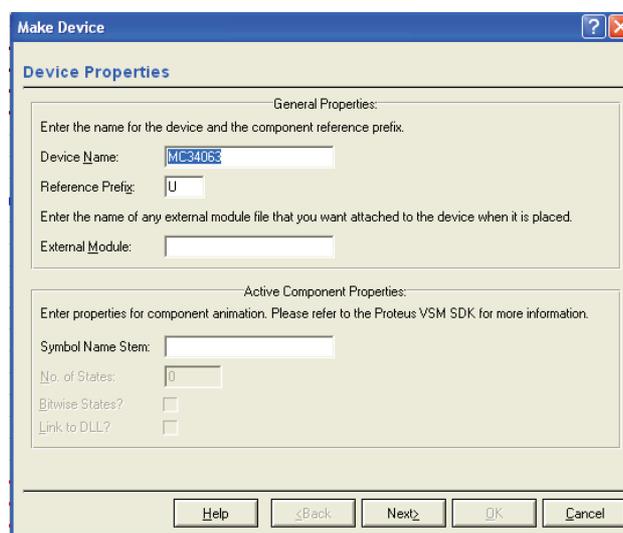


Figura 3.7 Propiedades generales del elemento

Aparecerá el cuadro de diálogo de creación de componente, el cual pide en primer lugar el nombre del componente y el prefijo de referencia que utilizará, como en el ejemplo creamos un circuito integrado el prefijo será U.

El siguiente cuadro de diálogo informa de que no hay *footprints*<sup>11</sup> o *package* asociados a ese componente, ante lo cual hay dos opciones: seguir igualmente con la creación del componente (no habrá ningún problema pero al pasar el circuito a ARES se necesita buscar un *footprint* adecuado para el componente) o seleccionar uno ahora. Para seleccionar un *footprint* para el componente pulsando en el botón *Add/Edit*, con lo cual aparece una ventana como la que se presenta en la figura 3.8.

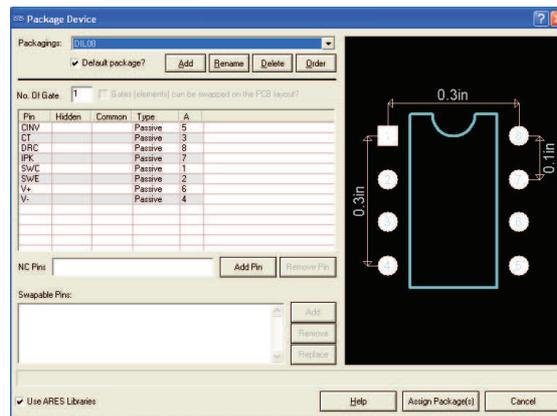


Figura 3.8 Diagrama para asignación de un *package* al elemento

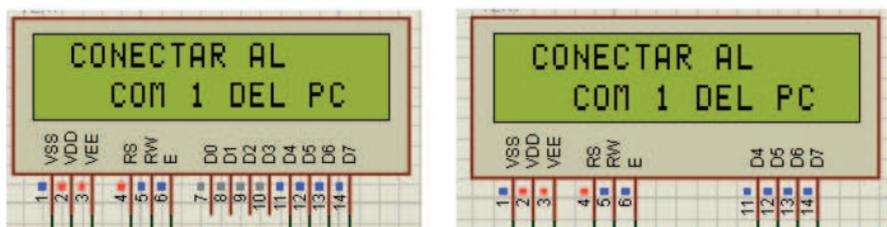
El cuadro de dialogo de la figura 3.8 permite seleccionar el *footprint* adecuado para el componente e incluso cambiar la numeración de los pines por si no encajara con el *footprint* o viceversa. Para añadir un *footprint* al componente se pulsa el botón *Add* y, en el cuadro de diálogo resultante se selecciona de la librería *Package* el *footprint* DIL08 con un doble click sobre su nombre. El siguiente diálogo pregunta por más propiedades del componente, pero debido a que se refieren una vez más a opciones que ya hemos seleccionado al escoger nuestro footprint se puede dejar las opciones por defecto, pasando al siguiente diálogo. En el cuadro de la figura 3.8 ofrece la posibilidad de indicarle una dirección remota del datasheet del componente para poder visualizarlo en

<sup>11</sup>Footprint.- huella que genera un elemento electrónico en la superficie de la tarjeta electrónica.

cualquier momento desde ISIS. Para ello se ingresa el nombre del datasheet, la dirección del servidor ftp donde estaría alojado, y el nombre de usuario y contraseña de ese servidor. Por último se ingresa la librería donde se guardará el componente, solo se tiene que seleccionar la que se desea y aceptar, y finalmente se tiene el componente creado y listo para ser usado en cualquier diseño que se realice.

Para modificar un componente ya existente, por ejemplo, en el caso del módulo LCD, se añadió pines de energía (VCC y GND) ocultos y se editó los pines de datos que no se ocupan, como son: pin D0, D1, D2, D3, como muestra en la figura 3.9. Para ello se coloca una copia del componente y después se selecciona mediante el botón derecho del ratón, escogiendo después la opción del menú Library/Decompose, con lo cual se conseguirá que el componente se divida en las partes de que se compone, esto es, de un rectángulo y varios pines asociados. Se modifica las propiedades de los dos pines de alimentación deseleccionando la opción "Drawbody", para indicar que ese pin pasa a ser invisible.

Una vez realizados los cambios pertinentes en el componente volvemos a seleccionar todas las partes del mismo y seleccionar la opción Library/Make Device, tal y como se hizo anteriormente para crear el componente, con la diferencia de que ahora los valores por defecto en los cuadros de diálogo son los valores del componente ya creado, con lo cual para sobrescribir el componente antiguo se acepta todos los cuadros de diálogo y decir sí a la pregunta final de Proteus sobre si deberá sobrescribir el componente. Una vez realizados todos estos pasos ya se tendrá el componente con nuevas características en la librería seleccionada.



**Figura 3.9 Diagramas del módulo LCD, sin modificar lado derecho, modificado lado izquierdo**

### 3.2.2 SIMULACIÓN CON VSM <sup>[23]</sup>

Sin duda el principal atractivo de Proteus radica, a pesar de todas sus ventajas en muchos ámbitos con programas de características similares, en la posibilidad de simular microprocesadores y, particularmente, en el caso del proyecto de taxímetro, la simulación del microcontrolador Atmega324P, la cual se detallará a continuación.

El Sistema Virtual de Modelado (VSM) de la herramienta Proteus es un entorno integrado diseñado para la realización completa de proyectos para construcción de equipos electrónicos en todas sus etapas. VSM combina el modo mixto la simulación de circuito de SPICE, componentes animados y modelos completos de diseños basados en microprocesador para facilitar la co-simulación del microcontrolador. En el caso del proyecto de taxímetro, ayudará a simular el circuito completo, con las características del microcontrolador escogido, que es el atmega324P y el firmware del taxímetro desarrollado anteriormente en la herramienta BASCOM AVR.

A continuación en la figura 3.10 se muestra la ventana para la configuración de los parámetros en el atmega324P para la simulación del prototipo.

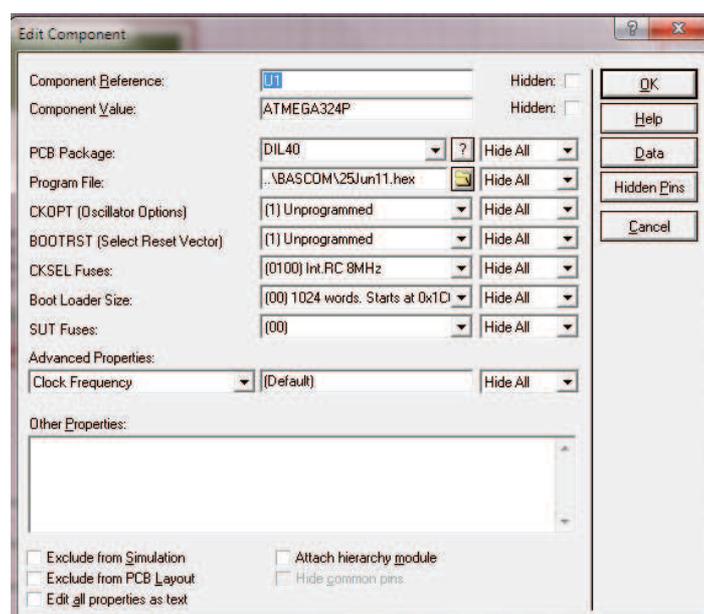


Figura 3.10 Ventana de configuración de parámetros del modelo atmega324P en el ISIS

Como una descripción adicional en la simulación al hacer doble click sobre este modelo de microcontrolador, se despliega una ventana, donde se observa la configuración de uso, se muestra parámetros escogidos, como: tipo y valor de frecuencia del cristal “**Int. RC 8Mhz**”, extensión y nombre del archivo del firmware “.\\tesis\\bascom\\taximetro.hex”, modelo de package para la simulación en ARES “**DIL40**”, etc., luego de cargado el archivo .hex, la simulación procedió según la lógica del firmware. Por lo cual con esta herramienta fue posible desarrollar y probar el diseño antes de construir un prototipo físico.

### 3.2.2.1 Uso de logics state, toggle y probe big

Proteus brinda algunos terminales lógicos para facilitar el uso y la simulación del circuito electrónico como son entradas logicstate, logictoggle y salidas logicprobe.

Logicstate.- Estado lógico de entrada que representa a los niveles TTL uno lógico 2.4-5V y cero lógico 0-0.5V, se puede configurar para que inicie en uno lógico o cero lógico, su cambio de estado se realiza en simulación activa o en curso, ahí es cuando el elemento cambia de estado al dar un click sobre este, es muy utilizado para reemplazar a los interruptores en la simulación, voltajes activos continuos como el caso de ingreso de voltajes en las entradas del microcontrolador.

Logictoggle.- Estado lógico de entrada que representa a los niveles TTL uno lógico 2.4-5V y cero lógico 0-0.5V, se puede configurar para que inicie en uno lógico o cero lógico, similar al logicstate su cambio de estado se realiza en simulación en curso pero el elemento cambia de estado al dar un click sobre este por un momento mientras se tiene aplastado el botón del mouse, utilizado para reemplazar en la simulación a pulsadores.

Logicprobe.- Estado lógico de salida que representa a los niveles TTL uno lógico 2.4-5V y cero lógico 0-0.5V, actúa como una punta lógica para detectar los estados lógicos de salida de algunos terminales del circuito, utilizado en la

simulación para reemplazar a los led's y buzzer, y visualizar el estado encendido o apagado.

En la figura 3.11 se muestra la simulación del prototipo en el ambiente VSM, utilizando los componentes de la herramienta ISIS, como son la pantalla del módulo LCD, el microcontrolador atmega324P, un microcontrolador atmega8 (en reemplazo del módulo GPS) y los demás componentes logicprobe, logicstate, logictoggle (reemplazando los leds, switch y pulsadores) y un virtual terminal (simulando la comunicación de la impresora).

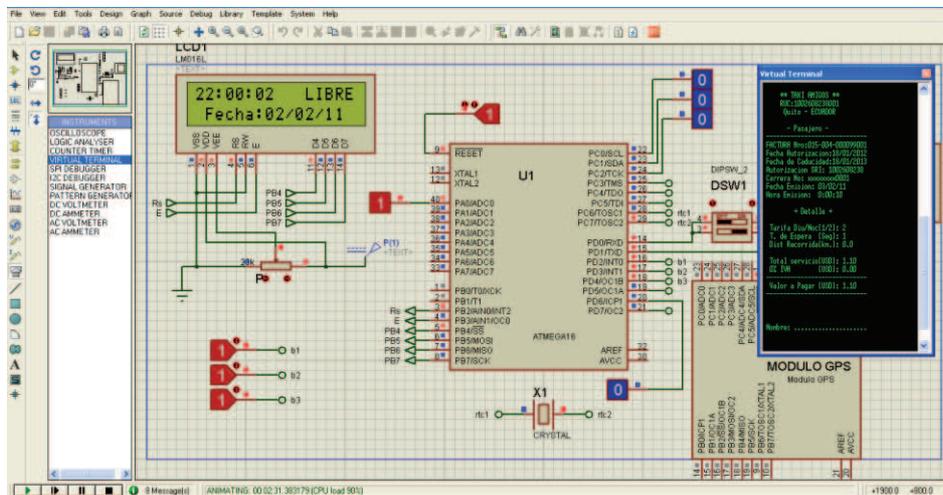


Figura 3.11 Simulación en el ambiente VSM de Proteus del prototipo

### 3.2.2.2 Correr simulación

Para iniciar la simulación se tiene la barra de acción que se localiza en la parte inferior izquierda de la ventana VSM de proteus. En la figura 3.12, muestra el uso de cada icono detallado de izquierda a derecha: para correr la simulación continuamente, para correr la simulación paso a paso, para pausar la simulación y para terminar la simulación. Se puede correr la simulación también presionando F12.



Figura 3.12 Barra de acción de la herramienta VSM del PROTEUS

### 3.2.2.3 Pantallas de las simulaciones realizadas

En las simulaciones de la comunicación con el computador se tiene las siguientes pantallas, que indican en primera instancia la conexión con el computador, al presionar una tecla en el teclado del computador se podrá editar los valores de tarifa y mostrará el siguiente mensaje en la pantalla. Ver figuras 3.13 y 3.14.



Figura 3.13 Mensaje que indica la conexión con el computador



Figura 3.14 Pantalla indicando que se puede editar valores de tarifa

En el siguiente estado de la simulación indica el estado Libre con sus diferentes opciones dentro de este estado, como son: la fecha, velocidad, y la ubicación en coordenadas geográficas Latitud y Longitud. Ver figura 3.15

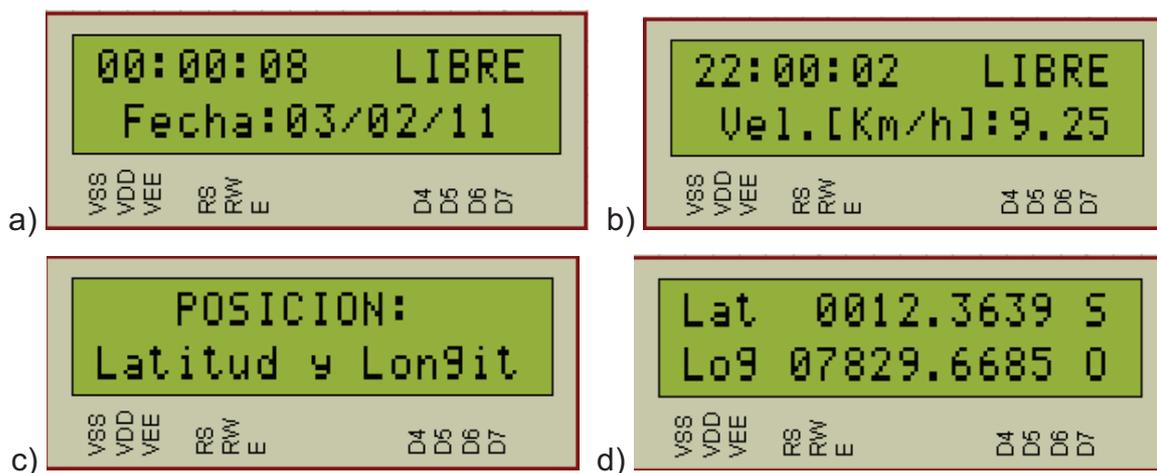
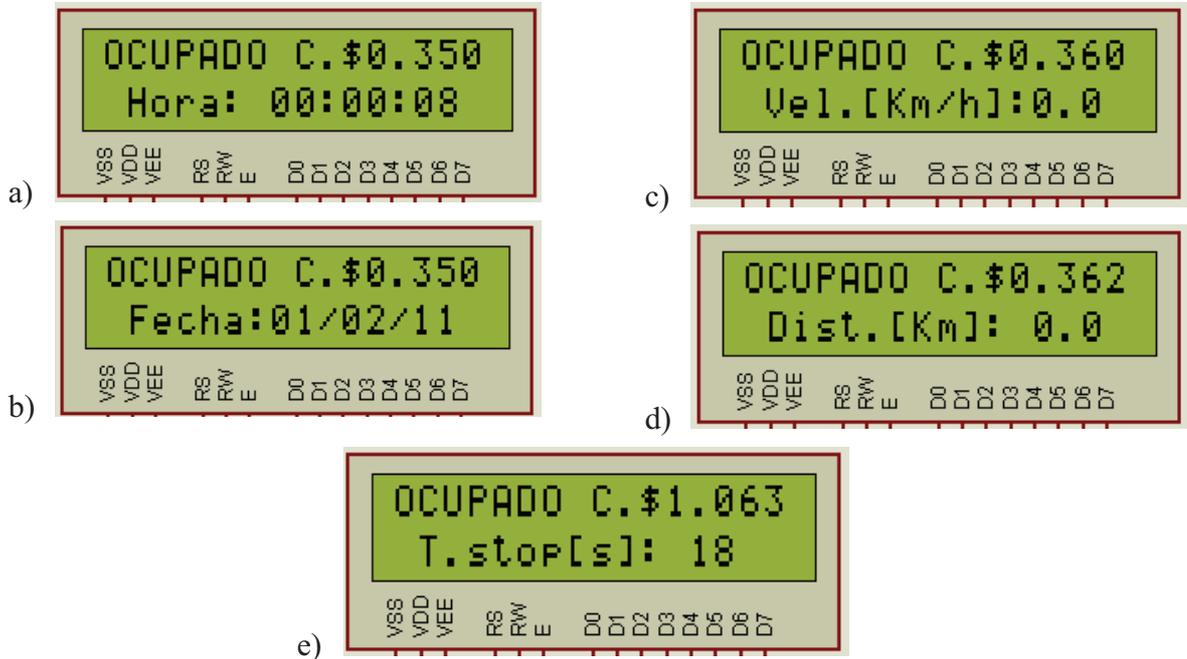


Figura 3.15 Mensajes a, b, c, d muestran en la simulación dentro del estado LIBRE

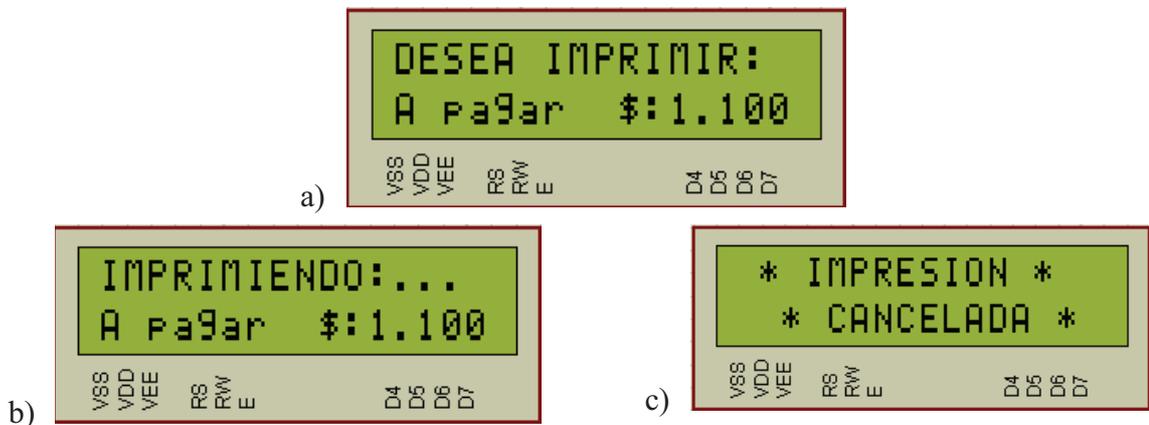
En el siguiente estado de simulación se tiene varias opciones dentro de este estado de Ocupado. Entre las que se tiene: la hora, la fecha, la velocidad, la distancia recorrida, el tiempo de espera. Navegando de una a otra con el uso de

los botones 2 y 3. En el caso de la simulación logictoggle 2 y 3. Ver pantallas que se muestran en la figura 3.16.



**Figura 3.16** Los mensajes de los literales a, b, c, d, e muestran los opciones que se tiene dentro del estado ocupado

Dentro del estado Imprimir en la simulación se puede apreciar la primera pantalla que indica si se desea una impresión del documento, Luego de esto cambiando de estado del logictoggle 1 a 0L (boton1) Imprime, y cambiando de estado el logictoggle 3 a 0L (boton3) cancela impresión. Como se puede apreciar en los mensajes la figura 3.17.



**Figura 3.17** Mensajes a, b, c muestran el estado de comunicación con la impresora

En el estado imprimiendo, se tiene la comunicación serial con la impresora, en el caso de la simulación la comunicación con el terminal virtual, donde el prototipo enviara el formato de impresión que se detalla a continuación en la figura 3.18.

```

Virtual Terminal
** TAXI AMIGOS **
RUC:1002608238001
Quito - ECUADOR

- Pasajero -
-----
FACTURA Nro:015-004-000099001
Fecha Autorizacion:18/01/2012
Fecha de Caducidad:18/01/2013
Autorizacion SRI: 1002608238
Carrera No: xxxxxxxx0001
Fecha Emision: 03/02/11
Hora Emision: 0:00:10

+ Detalle +

Tarifa Diu/Noc[1/2]: 2
T. de Espera [Seg]: 1
Dist Recorrida[kn.]: 0.0

Total servicio[USD]: 1.10
O% IVA [USD]: 0.00
-----
Valor a Pagar [USD]: 1.10
-----

Nombre: .....

```

Figura 3.18 Texto del terminal virtual, (que indica el formato de impresión)

### 3.2.3 ELABORACION DE TARJETA ELECTRÓNICA EN LA HERRAMIENTA ARES DE PROTEUS <sup>[24]</sup>

Para la elaboración de los diagramas circuitales, se usó la herramienta ARES de Proteus, la cual facilita al transferir completamente todos los componentes diseñados en el ISIS al ARES y teniendo dos características importantes que brinda esta herramienta, como son: auto-posicionamiento de elementos y auto-ruteo, estas características no son aconsejables ejecutar sin realizar ningún cambio adicional, cuando se dispone de muchos elementos o muchas líneas o pistas de ruteo, pero sin embargo son una ayuda importante para agilizar el

diseño. Se puede ver en la figura 3.19 las pistas elaboradas con ayuda de auto-ruteo y modificaciones de las pistas realizadas manualmente.

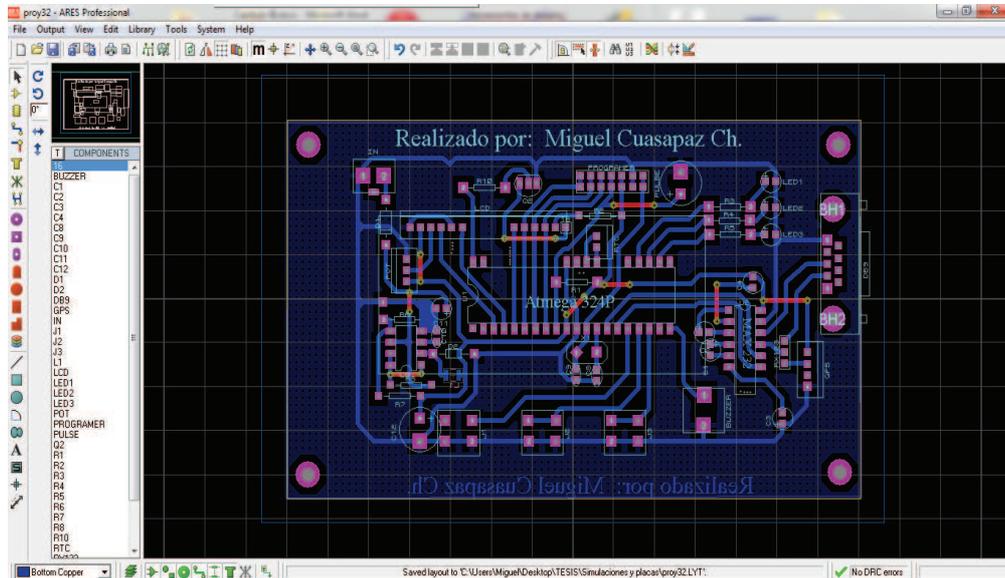


Figura 3.19 Diagrama del diseño de la placa del taxímetro en ARES de Proteus

Dentro de la barra de herramientas, se dispone de la herramienta **“Package Mode”**, que permite escoger el encapsulado que se desea añadir. Además al tener el netlist en la herramienta ISIS, los encapsulados de los componentes aparecen en la ventana de la izquierda para su posicionado en la herramienta ARES.

A continuación se muestra los pasos que se necesita para poder llevar a cabo el ruteado de una placa PCB a partir del esquemático generado en ISIS.

- **Creación de la placa PCB.**

En primer lugar se debe delimitar la placa PCB, para realizarlo se escoge la herramienta **“2D Graphics Box”**, y se selecciona la capa, con esto ya se puede realizar el borde de nuestra PCB.

- **Posicionamiento de los componentes.**

Partiendo del hecho de que todos los componentes contenidos en la placa disponen de encapsulado se pasa a realizar el posicionamiento de los mismos, para ello existen 2 opciones:

1- **Posicionamiento automático:** Se la realiza en la herramienta ARES, para lo cual bastará con seleccionar dentro del menú Tools la herramienta “**Auto Placer**”. Para poder utilizar esta herramienta, es necesario haber definido previamente los límites de la placa.

2- **Posicionamiento manual:** Mediante los botones presentados en la siguiente figura 3.20.

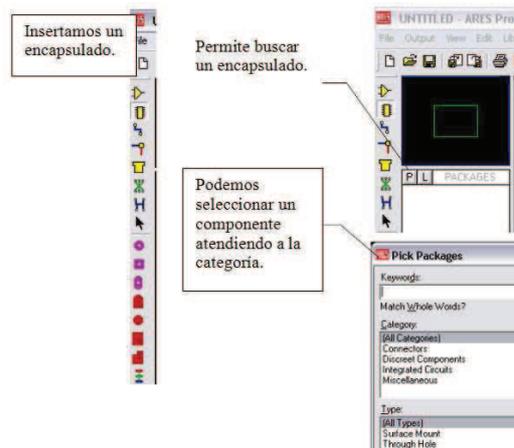


Figura 3.20 Barras de herramientas en el ARES de PROTEUS

Para mejorar la posición de los componentes así como el ruteado de las pistas se recomienda usar un grid (distancia entre puntos) adecuado, para ello se selecciona la opción Grid en el menú VIEW, cómo se puede ver en la figura 3.21:

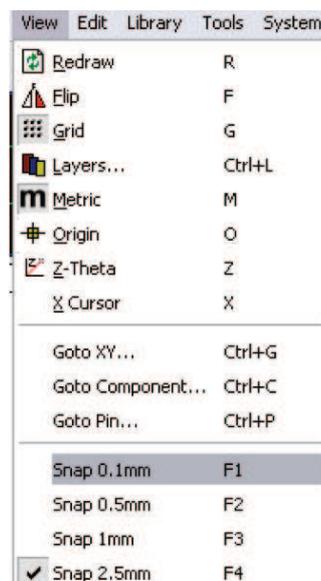
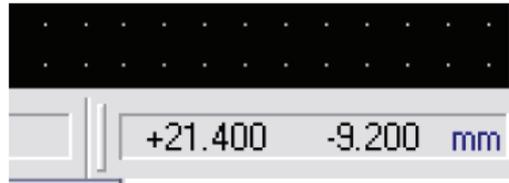


Figura 3.21 Grafico del menú View

Se puede ver la distancia entre componentes así como la medida de las pistas etc., mediante las coordenadas que aparecen en la parte inferior derecha de la pantalla, como se muestra en la siguiente figura 3.22:



**Figura 3.22** Coordenadas dependiendo de la posición del mouse, o de los elementos

Por defecto estas medidas aparecerán en milésimas de pulgada (Th), para pasar a milímetros (mm) bastará con seleccionar en la barra de herramientas el icono m como indica en la figura 3.23.



**Figura 3.23** Icono para cambiar las medidas de milésimas de pulgadas a mm

### 3.2.3.1 Cambio de elementos por conectores para el PCB<sup>[24]</sup>

A pesar de que Proteus cuenta con cientos de modelos de elementos para ISIS con sus respectivos packages, no todos contiene los terminales deseados o estos terminales no coinciden con los terminales de los elementos físicos, y además algunos elementos omiten los terminales de alimentación de energía, como es el caso del LCD, entonces para poder transferir todos los elementos desde la herramienta ISIS a la herramienta ARES, se debe simplemente cambiar los elementos por terminales con las dimensiones requeridas para acoplar los terminales de los módulos, terminales como: single de 16 pines para el módulo LCD, terminales single de 4 vías para el módulo GPS, terminales dobles para las vías de comunicación con el programador ISP, terminales de dos vías para las entradas de alimentación y para la salida del buzzer, entre otras. Se puede apreciar en la figura 3.24 los terminales y elementos utilizados, como se indicó

anteriormente, además se cambió los leds por capacitores que tienen asociados packages con dimensiones similares a los leds.

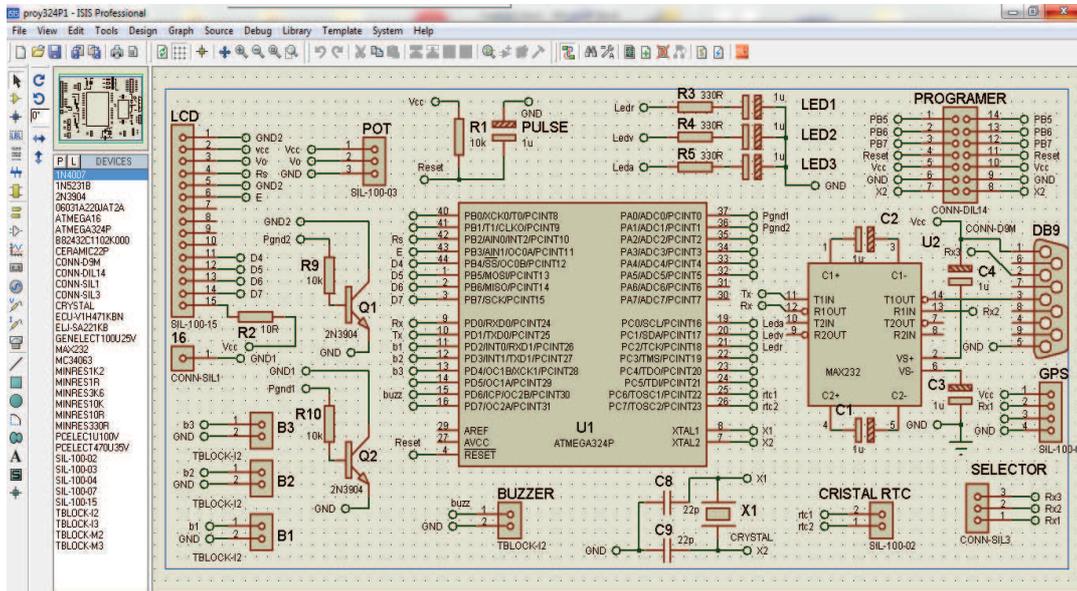


Figura 3.24 Diagrama en ISIS de los componentes y terminales de la placa del taxímetro

### 3.2.3.2 El auto ruteo <sup>[24]</sup>

**Ruteo Automático o “Auto Router”:** Herramienta que se encuentra en el menú Tool, al pulsar se mostrará una pantalla en la que indica el grid que sirve de guía para separación de las pistas a rutear. Lo más destacable de esta ventana como se muestra en la figura 3.25 es el botón de **“Edit Strategies”** Editar Estrategias, usado para editar características para el ruteo de las pistas

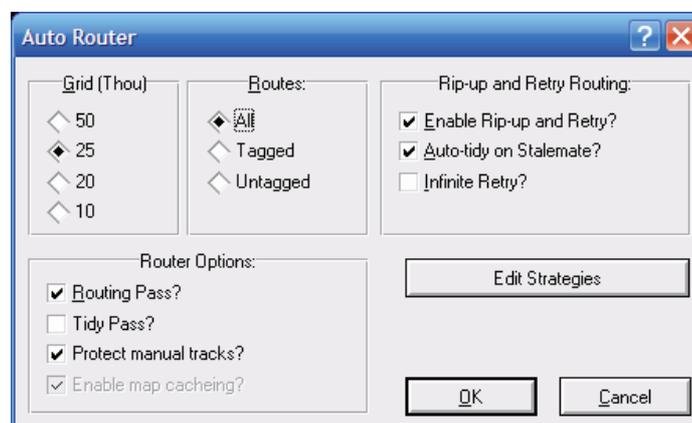


Figura 3.25 Ventana de auto-ruteo, para editar características de ruteo

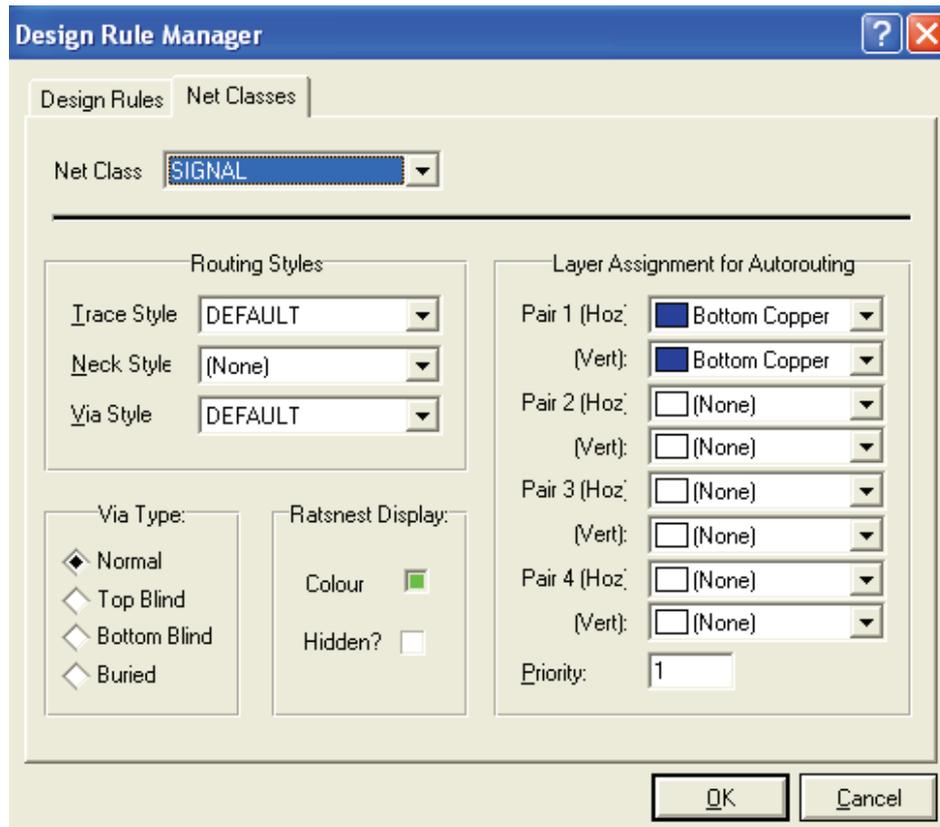


Figura 3.26 Ventana para editar parámetros de ruteo

Es posible elegir si se quiere realizar el ruteo a una sola capa o por lo contrario se va a utilizar más de una, para ello se realiza lo siguiente:

Para trabajar con una sola capa, dentro del primer par de capas (Horz-Vert) se seleccionará como horizontal la *Bot Copper* y en Vertical seleccionar lo mismo *Bot Copper*, ver figura 3.26. Si se desea realizar doble cara se selecciona en el primer par de capas horizontalmente *Bot Copper* en Vertical seleccionar *Tot Copper* y si se necesita más capas en vez de seleccionar NONE se continúa activando la capa que más se interese.

También se debe configurar con las opciones de **reglas de diseño**, para lo cual se debe tener en cuenta que la relación entre los milésimas de pulgadas (th) y los milímetros (mm) la cual es la siguiente: 40milis = 1mm.

Finalizado las configuraciones anteriores se podrá pasar a realizar el ruteado automáticamente.

### 3.2.3.3 Cambio de grosor de las pistas <sup>[24]</sup>

Para la elaboración de las pistas en la placa, va a depender de la corriente que circula por esta, a continuación se presenta la tabla 3.1 donde indica la relación de grosor de la pista en función de la corriente.

Tabla 3.1 Relación grosor de las pistas vs la corriente que circula <sup>[26] [28]</sup>

Ancho de pista en (Inches)-(mm)	Intensidad en Amp.
0.010 inch - 0.254 mm	0.3A
0.015 inch - 0.381 mm	0.4A
0.020 inch - 0.508 mm	0.7A
0.025 inch - 0.635 mm	1A
0.050 inch - 1.27 mm	2A
0.100 inch - 2.54 mm	4A
0.150 inch - 3.8 mm	6A

Para el prototipo y por facilidad de ruteo se identificó la máxima corriente que circula por las pistas 440mA que es la corriente que entrega la fuente DC-DC por protección se toma el rango superior que es el grosor de 0.02 inch - 0.5 mm (700mA) y se utilizó la misma anchura de pista para todo el diseño, esto es lo más recomendable realizar salvo en casos especiales como puede ser las pistas para elementos de mayor potencia, o pistas que debido a su trazado deben ser distintas al resto. En cualquier momento se puede cambiar la dimensión de las mismas.

La herramienta ARES permite cambiar el grosor de todas las pistas según se requiera, pero si se quiere modificar sólo una pista pincharemos sobre ella con el botón derecho del ratón e iremos a la opción "**Change Trace Style**" del menú contextual y seleccionamos el ancho deseado, como se muestra en la figura 3.27.

Una vez fijado el ancho de las pistas, se fija un ancho a los pines de los componentes. Con las mismas opciones que en el caso de las pistas, es decir modificar todos los que tengan el mismo modelo, o bien ir pinchando sobre cada pin y en el menú contextual dentro del cual escoger la opción "**edit pin**", se abrirá una ventana y en la opción "style" se selecciona las dimensiones del pin.

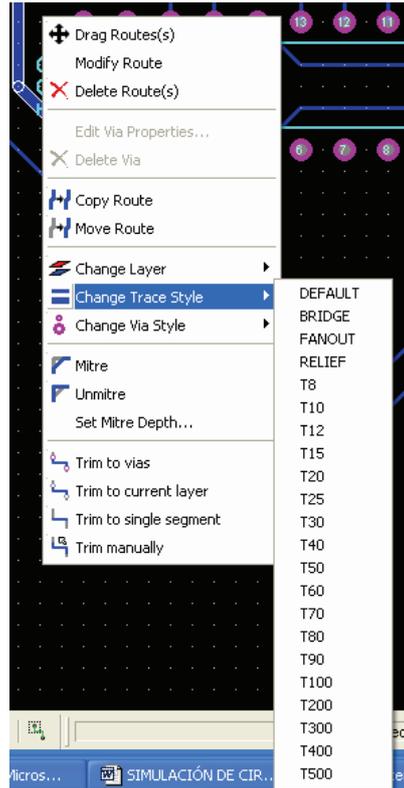


Figura 3.27 Opción para cambiar el grosor de la pista <sup>[24]</sup>

Las nomenclaturas de los estilos empiezan todas por una letra, esta letra indica que el pin es cuadrado en caso de ser una “s” o que es redondo en el caso de ser una “c”. Los números que siguen a continuación son las dimensiones que va a tener el pin.

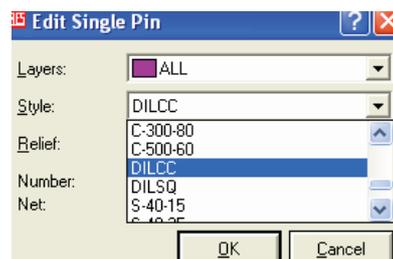


Figura 3.28 Opción para escoger el grosor del Pin <sup>[24]</sup>

Para adquirir buenas costumbres en el ruteado manual, las pistas no se deben realizar ángulos de 90° (rectos), así como deben mantener la misma relación de ruteo entre ellas, de forma que toda la placa tenga los similares ángulos y no que cada pista realice los suyos, para ello se dispone de la herramienta “**Trace Angle Lock**”, que bloqueará las pistas para sólo poder realizar ángulos permitidos.

### 3.2.3.4 Uso del plano de tierra, mas y/o alimentación [24]

Para la creación de estos planos se sigue el proceso descrito a continuación: con el ruteado de la placa ya realizado se selecciona la herramienta “ZONEMODE”,  hay que tener en cuenta que estos planos de masa (GND) deben ir conectados a algún punto del circuito, por ello al incluirlos, dentro de las propiedades se indicará el *NET* al que irán conectados, por defecto se usó *GND=POWER*. En el plano de masa y/o alimentación se recomienda dejar una banda de seguridad *CLEARANCE* de mínimo 15th, en el prototipo se utilizó un *CLEARANCE* de 50th.

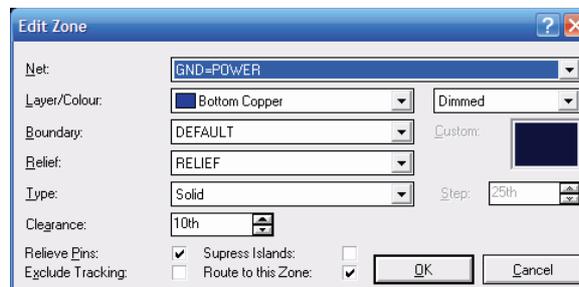


Figura 3.29 Ventana del ARES para editar características del plano de masa [24]

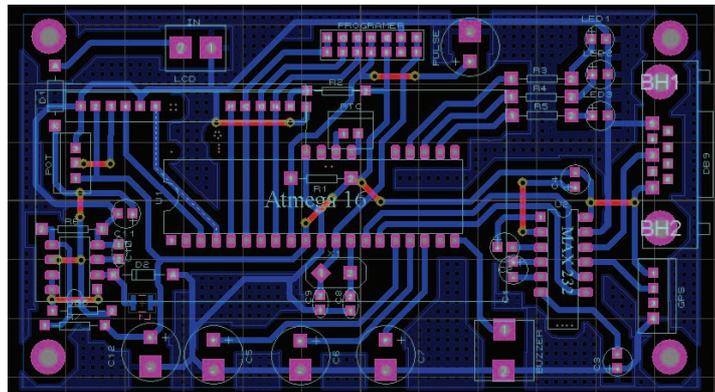


Figura 3.30 Diseño de la placa del circuito con plano de tierra

Es recomendable al terminar el ruteado realizar un chequeo completo del circuito para detectar posibles errores, para ello se usa la herramienta “**Design Rules Checker**” que indicará si se ha cometido algún error frente a las reglas de diseño establecido, tales como: distancias entre pistas, ángulos de las pista, dimensiones de las pistas, distancia de pistas a puntos de suelda, etc., y mediante la opción

“**Conectivity Rules Checker**” que se verificará si todas y cada una de las conexiones que estaban establecidas han sido ruteadas de forma correcta.

### 3.2.3.5 Visualización en 3D del circuito <sup>[24]</sup>

La visualización del diseño en 3D, es una opción que brinda ARES, se la realiza para tener una idea tridimensional de la posición de los elementos en la placa y poder realizar ajustes, tratando de no tener elementos muy próximos unos de otros y tener una visualización de la altura de los elementos y así poder escoger con criterio una caja para este proyecto.

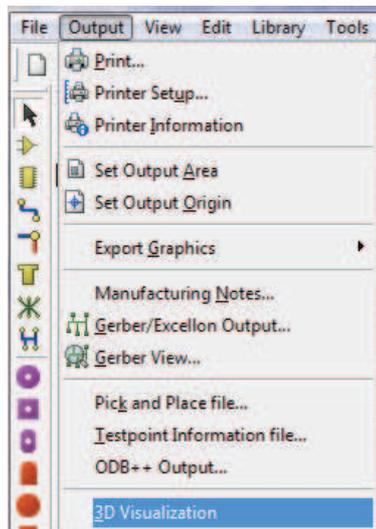


Figura 3.31 Ventana de opciones para visualización en 3D de la placa <sup>[24]</sup>

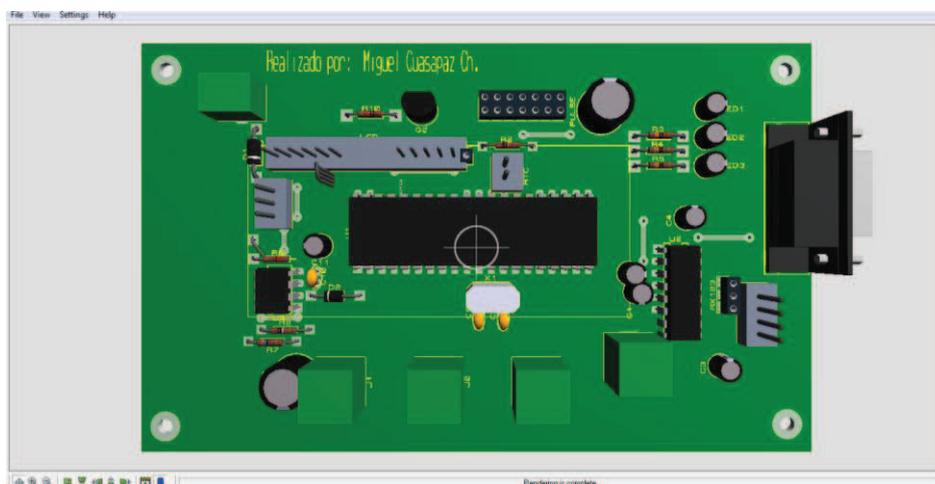


Figura 3.32 Visualización en 3D de la placa del proyecto

### **3.3 ELABORACIÓN DE LA PLACA FÍSICA <sup>[25]</sup>**

Para la elaboración de la placa física, fue necesario tener el diseño del esquemático en PCB bien realizado anteriormente paso a paso en la herramienta de diseño de circuitos ARES de PROTEUS, además de tener todos los elementos y herramientas disponibles para la fabricación del circuito impreso en la baquelita.

Después de tener el esquema del PCB realizado, se imprimió con una impresora láser y en papel fotográfico profesional, ya que estos son los componentes con buenas características químicas para la transferencia térmica del diseño PCB a la placa.

#### **3.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS**

##### **3.3.1.1 Tipos de placas**

En el mercado existen placas de tres tipos de materiales que se pueden usar para la elaboración de un circuito impreso, tanto de un solo lado y como de doble lado, las cuales son: de cobre con aislante plástico sintético “baquelita”, cobre con aislante de semifibra, y cobre con aislante de fibra. Para las pruebas se utilizó semifibra, mientras que para la placa final se optó por fibra de vidrio.

##### **3.3.1.2 Disolvente de cobre**

Existe un proceso para disolver el cobre excesivo de la placa con un disolvente corrosivo de metales, donde se mezcla 2 partes de agua fuerte<sup>12</sup> con 4 partes de agua oxigenada y 1 parte de agua normal, si la mezcla resulta poco corrosiva, añadir agua fuerte y agua oxigenada en mismas proporciones, siendo muy efectivo para eliminar el cobre excesivo de la tarjeta electrónica del prototipo, pero nociva para la piel por lo que se utilizó una mezcla menos nociva la cual se

---

<sup>12</sup> agua fuerte es el nombre común de la disolución en agua del gas cloruro de hidrógeno

mezcla una parte de agua tibia con dos porciones de cloruro férrico, igualmente si el proceso de corrosión es muy lento se calienta la mezcla con un calentador de peceras, pero lo que mejor funcionó es el movimiento continuo de la solución sobre el cobre. Es importante que la mezcla cubra ligeramente la placa.

### **3.3.1.3 Papel termo transferible**

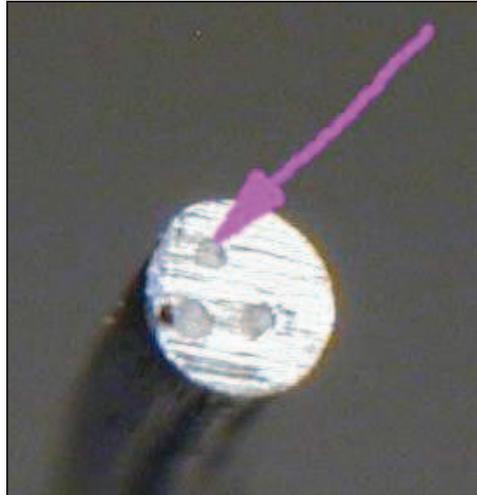
Debido a la experiencia adquirida y por recomendaciones técnicas, se usó de entre algunos papeles termotransferibles, el papel blanco también conocido como papel fotográfico profesional, por sus buenas características químicas para transferir los circuitos impresos a la tarjeta llana. Además existe el papel azul, sin embargo este no se utilizó ya que tiene menos características químicas de termotransferencia. De entre los papeles fotográficos, existen varios tipos, de estos entre mejor sea la calidad del papel mejor son las características de termotransferencia, existe otra opción que no se probó en la práctica, el cual es el uso de papel de revistas informativas como la DINERS, la ONDA, etc., que según recomendaciones es una opción económica si se tiene revistas recicladas.

### **3.3.1.4 Características del estaño <sup>[25]</sup> <sup>[26]</sup>**

Para fijar o soldar con facilidad y agilidad los elementos a la placa diseñada para el prototipo, se debió buscar un estaño con buenas características técnicas, y así evitar en lo posible daños en el futuro, como por sueldas frías, acumulación excesiva de estaño, para evitar dañar las pistas en el momento del montaje de elementos y para que tenga un buen soporte ante caídas, golpes o vibraciones.

El estaño utilizado en electrónica tiene alma de resina con el fin de facilitar la soldadura. Para garantizar una buena soldadura es necesario que tanto el estaño como el elemento a soldar alcancen una temperatura determinada, si esta temperatura no se alcanza se produce el fenómeno denominado soldadura fría. La temperatura de fusión depende de la aleación utilizada, cuyo componente principal es el estaño y suele estar comprendida entre unos 200 a 400 °C.

El término "estaño" en realidad se emplea de forma impropia porque no se trata de estaño puro, sino de una aleación de este metal con plomo, generalmente con una proporción respectiva del 60% y del 40%, que resulta ser la más indicada para las soldaduras en Electrónica.



**Figura 3.33 Gráfico del estaño con sus aleaciones de plomo, estaño y resina** <sup>[26]</sup>

Para realizar una buena soldadura, además del soldador y de la aleación descrita, se necesita una sustancia adicional, llamada pasta de soldar, cuya misión es la de facilitar la distribución uniforme del estaño sobre las superficies a unir y evitando, al mismo tiempo, la oxidación producida por la temperatura demasiado elevada del soldador. La composición de esta pasta es a base de colofonia (normalmente llamada "resina") y que en el caso del estaño que se utilizó, está contenida dentro de las cavidades del hilo, en una proporción del 2~2.5%.

### **3.3.2 MONTAJE DE ELEMENTOS SMD Y USO CORRECTO DEL CAUTÍN** <sup>[27]</sup>

Para no arruinar el PCB que tomó varios días pensar, organizar, optimizar y todas estas tareas que se hicieron en el diseño y elaboración del PCB, se debió tener cuidado en el manejo del soldador de una forma efectiva, y en conocer la clase de componente que se colocó en el PCB, a continuación se detalla las formas adecuadas para el uso del cautín y características del estaño y tratamiento de los elementos o módulos en la placa.

Salir del protoboard y pasar a soldar los componentes en una PCB, es un paso trascendental dentro de este desarrollo, ya que, si se comete algún error en este paso, se puede llegar a arruinar el circuito, desperdiciando tiempo de elaboración y aumentando los costos por reemplazar elementos dañados que fueron difíciles de conseguir. Todo este panorama tiende a aumentar en riesgo, al comenzar a manipular componentes de montaje superficial (SMD).

Se debe tomar en cuenta que la técnica que se utilizó en este trabajo, no significa que es "la mejor, la única, y/o la más correcta".

Como primera medida, al momento de comprar el soldador o cautín, no se debe comprar ni el más barato que se encuentra, ni tampoco el más caro, como una súper estación de soldado/desoldado de centenas de billetes que tal vez tome mucho tiempo en poner en marcha o lo más seguro que no se aproveche todos los recursos que esta máquina ofrecerá. Se utilizó un simple soldador tipo lápiz de una potencia de 40 W, suficiente para el montaje de elementos en el PCB del prototipo. Lo más importante que se tuvo en cuenta al momento de adquirir el mismo, fue pedirlo con lo que se conoce como "Punta de Larga Vida" y no las puntas económicas de cobre ya que éstas últimas se deterioran muy rápidamente. Sin embargo al no conseguir un soldador con "Punta de Larga Vida" se utilizó una punta de cobre en el soldador, para lograr buenos resultados, se debió mantener siempre la punta muy bien formada utilizando una lima fina, ya demás en forma periódica mantenerla bien limpia y bien estañada, evitando la acumulación de escoria oscura. La acumulación de esta escoria oscura daña la punta rápidamente si no es limpiada, otro defecto desagradable es el traslado de ésta materia a la soldadura en la placa PCB, "ensuciando" de forma muy desagradable nuestro trabajo.

La limpieza se puede realizar con un estropajo plástico o con papel absorbente de cocina, teniendo cuidado de no quemarse los dedos, hasta quitar todo resto de estaño de la misma y en el caso de encontrar escoria adherida, " se rasga muy suavemente" con una lima fina o lija hasta quitarla y luego re-estañar la punta con

el mismo estaño que uso para trabajar. El estaño 60/40, 1mm de diámetro y 5 almas de resina. El común, que viene en carretes de ¼, ½, 1Kg., etc.

La segunda parte del proceso, se basa en que cuando no uso el soldador, lo apoyo en un lugar que por propio peso del soldador “abre” un switch normalmente cerrado. Este switch tiene en paralelo conectado un diodo 1N4007 como se ve en la figura 3.34.

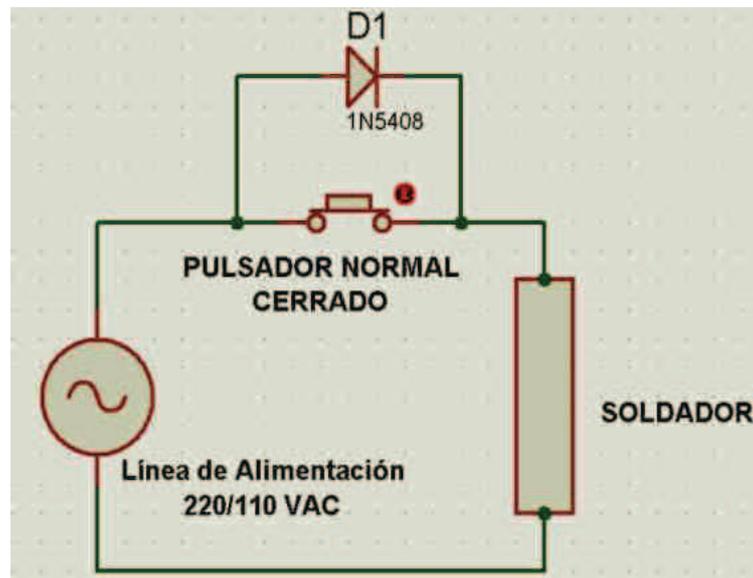


Figura 3.34 Circuito que mantiene el soldador en un estado intermedio de calor<sup>[27]</sup>

Cuando el soldador no se usa, abre el interruptor y sólo le pasan al mismo, los semiciclos positivos de la tensión de línea, es decir, está trabajando a mitad de tensión de línea, por lo que su temperatura es menor a la de trabajo normal. Se mantiene en un estado intermedio de calor. Esto es muy útil para prolongar la vida útil del soldador y también se logra de esta forma que no se acumule tanta escoria por exceso de temperatura en la punta. Al retirarlo del soporte, el switch se desactiva, une los contactos y le entrega plena tensión de trabajo. El tiempo de transición de una temperatura a otra es una cuestión de unos pocos minutos.

Para el proceso de soldado, sea cual fuere el componente que se soldó, se debió poner especial cuidado, en la alineación y la correcta posición del mismo, cuidado la polaridad de cada elementos que tengan esta característica, como son: los diodos, capacitores electrolíticos, buzzer, leds, etc.

Para el caso de resistencias, capacitores y transistores, las soldaduras se realizan pin a pin. Se tuvo especial cuidado al soldar estos componentes, ya que un exceso de estaño, puede puentear la soldadura hecha en uno de sus extremos, con alguna pista de cobre que pase por debajo del componente, provocando fallas muy difíciles de localizar.

Para limpiar o lavar la placa antes y después de soldar los elementos se utilizó con alcohol isopropílico, con este producto se pudo retirar los excesos de resina, que pueden causar cortos en la placa, aunque se haya soldado bien el componente y las pistas estén correctamente distribuidas, esto debido a que la resina que queda en la placa luego de soldar tiene características conductivas.

Para la revisión de la correcta posición y soldado de los elementos en especial del SMD, se utilizó una lupa y con suficiente luz, poder ver fallas como sueldas frías y corregirlas a tiempo, para soldar elementos que tienen varios pines, se procedió a soldar los pines extremos y así fijar al PCB, así se facilita el soldado el resto de pines, evitando sostener el elemento mientras se suelda el resto de pines.

En el caso del microcontrolador SMD, se utilizó un soldador de aire caliente para facilitar y asegurar la correcta posición de este elemento, este soldador se utilizó en el nivel 5 de 7 niveles de fuerza de presión de aire, a 500°C de temperatura, se sopletea por encima de los pines del elemento, durante unos segundos, los pines en la placa se estañaron con anterioridad y se detiene el elemento con una pinza antiestática para evitar quemarse y para que no se mueva el integrado SMD de su posición sobre la placa PCB.

### **3.3.3 ELABORACIÓN DE PLACA DEFINITIVA**

Aquí se presenta el circuito final de la placa elaborada con sus respectivos elementos soldados, en la parte superior central se tiene 14 pines para el programador ISP de los cuales dos son alimentación, 1 pin para conexión al pin 2 de los pines en el microcontrolador asignados al cristal externo, 4 pines

esenciales de programación serial MOSI, MISO, RESET, SCK. En la parte derecha de los pines del programador está el pulsador de reset, en la parte izquierda de los pines para el programador esta la entrada de energía de 12Vcc.

Debajo de la entrada de energía están los terminales para el módulo LCD, al lado derecho del pulsador de reset se encuentran las resistencias para limitar corriente hacia los leds de diferente color de emisión de luz. En la parte central de la placa, se encuentra el microcontrolador ATMEGA324P, conectado con su cristal de 20MHz y el cristal del RTC de 3786Hz. En la parte inferior izquierda se encuentra todos los elementos que conforman la fuente de 5Vcc, la cual se compone de un circuito integrado conversor DC – DC, resistencias, capacitores, una bobina y un diodo 1N5819, configurados para transformar 12Vcc a 5Vcc con una corriente máxima de 500mA. En la parte inferior derecha se encuentra el circuito integrado MAX232, con sus respectivos componentes para brindar la conversión de comunicación de niveles TTL a RS232. En la parte inferior central están los pulsadores para el cambio de pantallas u opciones del taxímetro y el buzzer para indicar si se presionó cualquiera de los pulsadores o botones. Por último en la parte final a la derecha se encuentran los conectores, el DB9 para comunicación con la impresora y el computador, y el conector de 4 pines para el módulo GPS que va al exterior de la placa.

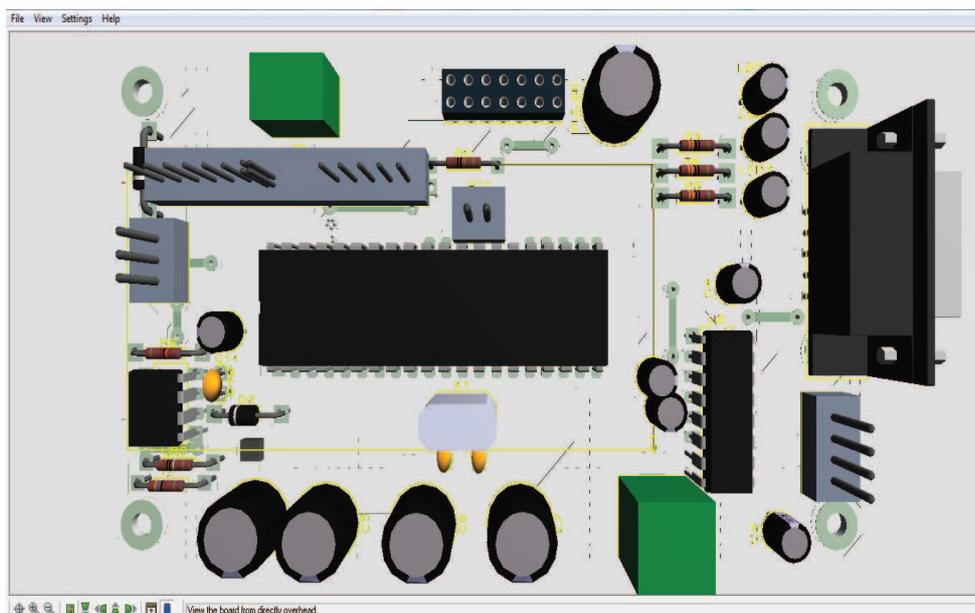


Figura 3.35 Diagrama físico de la posición de los elementos dentro de la placa

### 3.4 UTILIZACIÓN DE LOS PINES DEL MICROCONTROLADOR

La distribución de pines del microcontrolador en el proyecto se debió a las siguientes circunstancias:

- Características de configuración en el firmware predeterminadas, poniendo al módulo LCD en el puerto B.
- Posición más cercada al pin del microcontrolador al elemento que lo controla o comunica, para evitar pistas de ruteo largas y complejas.
- Facilitar el ruteo al momento de tener una distribución de elementos en la placa con el fin de tener una buena presentación.

#### 3.4.1 PINES DEL RTC (RELOJ EN TIEMPO REAL) INTERNO

El microcontrolador ATMEGA324P, tienen la característica de tener un RTC interno, los pines del RTC son <pin28 y pin29>, para poder utilizar el RTC interno del microcontrolador en el proyectos se debe conectar a un cristal de 32768Hz, y así usar el RTC(*Real Time Clock*), este no es muy preciso y se desiguala con la perdida de energía, sin embargo este es un sistema que está respaldado por la hora del módulo GPS, e incluso este módulo ya cuenta con un RTC interno, por lo que su uso es para tener redundancia, este se igualará cada hora o cada que se reinicia el equipo.

#### 3.4.2 PUERTO B PARA EL LCD

Para tener un orden en el proceso de ruteo se configuro desde el firmware las salidas del puerto B al módulo LCD, específicamente pines del microcontrolador que conectan a los pines del módulo LCD son: PB7 con D7, PB6 con D6, PB5 con D5, PB4 con D4, PB3 con Enable y PB2 con Rs. Con esta configuración el módulo LCD trabaja con 4 bits de datos, para posicionar los mensajes en dos líneas de 16 caracteres, la línea superior y la línea inferior.

### **3.4.3 PINES CONFIGURADOS COMO ENTRADAS PARA LOS BOTONES**

Para los botones B1, B2, B3 se tiene conectados al puerto D del microcontrolador, específicamente el pin PD2 con el botón B1, el pin PD3 con el botón B2 y el pin PD4 con el botón B3, estos pines están configurados como pull up en espera del 0L. Al cerrar el circuito a tierra, procede una subrutina del buzzer y luego pasa a la siguiente opción dependiendo del botón presionado.

### **3.4.4 PINES CONFIGURADOS COMO SALIDAS PARA LED'S Y BUZZER**

Para las salidas a los leds y al buzzer se configuraron en los puertos C y D del microcontrolador, específicamente el pin PC0 al led rojo indicador de pérdida de señal del GPS, el pin PC1 al led verde indicador de señal GPS correcta, el pin PC3 al led amarillo indicador de impresión del documento de respaldo al servicio de taxi. Todos estos led cuentan con sus resistencias limitadoras de corriente de 330 ohmios. Y el pin D6 conectado al buzzer indicador de cambio de opción o de estado del taxímetro.

### **3.4.5 PINES DE COMUNICACIÓN SERIAL**

Los pines para la comunicación serial del proyecto debido a que es una comunicación full dúplex, se conecta a los pines del puerto D del microcontrolador, especialmente al pin D.0 la recepción y al pin D.1 la transmisión. Como los pines del microcontrolador son niveles TTL se usa un C.I. MAX232 para cambiar a niveles RS232 y poder conectar al puerto de comunicación serial del computador, para la realización los cambios de configuración de las tarifas vigentes.

## 3.5 DISTRIBUCIÓN Y FUNCIÓN DE LOS ELEMENTOS DENTRO DEL PROTOTIPO

### 3.5.1 POSICIÓN DE LOS BOTONES Y DEL BUZZER

La posición de los botones por comodidad de uso se puso debajo de la pantalla LCD, simétricamente posicionada y separadas para poder presionar sin presentarse ningún inconveniente al usar estos botones. El Buzzer se colocó en la parte inferior frontal, alado derecho de los botones para poder escuchar el pitazo claramente, cuando se realiza un cambio de estado debido a la presión de cualquiera de los botones, esto controlado por la lógica del firmware. Como se puede observar en la figura 3.36.



Figura 3.36 Fotografía de la distribución de los elementos en la tarjeta del prototipo

### 3.5.2 POSICIÓN DE LA PANTALLA Y DE LOS LED'S INDICADORES

La pantalla LCD está posicionada según la vista frontal en la parte superior de la caja del taxímetro unos centímetros corrido hacia la izquierda debido a que de lado derecho estarán los led's indicadores, la LCD estará centrada con referencia a los tres botones que estarán debajo de esta. Todo esto para tener una buena presentación y por tener comodidad en la fabricación, debido a las características físicas o dimensiones físicas de los elementos o módulos utilizados.

### 3.5.3 INDICACIONES DE USO DE LOS BOTONES Y LEDS INDICADORES

En la figura 3.36 de izquierda a derecha se presenta los botones B1, B2 y B3: el botón B1 controla el cambio de estados del taxímetro entre LIBRE, OCUPADO e IMPRIMIR; el segundo botón B2 es utilizado para cambiar opciones dentro de algún estado por ejemplo dentro de los estado LIBRE u OCUPADO, se tiene las siguientes opciones: la hora, la fecha, la velocidad del taxi, la posición en latitud y longitud, el tiempo de espera de la carrera, la distancia recorrida. El tercer botón B3 se usa solo en el estado de IMPRIMIR, y cancela el proceso de impresión.

Los led's indicadores están representados por colores: verde, rojo, amarillo. El led indicador de color verde indica la recepción correcta de las tramas del módulo GPS. En el caso del estado LIBRE, el led verde estará encendido en tramas correctas del GPS y en el estado de OCUPADO el led verde parpadeara en tramas correctas del módulo GPS, según avance la carrera cada segundo. El led de color rojo es para indicar la falla de recepción de tramas del módulo GPS, de igual forma en estado LIBRE el led rojo se quedará encendido, en estado OCUPADO el led rojo parpadeará cuando las tramas sean erróneas, si el led rojo queda encendido por mucho tiempo, más de 15 minutos, significa que el módulo GPS se encuentra defectuoso y se deberá llevar a un taller técnico, si se tiene el led rojo por algunos segundos no importara ya que el firmware utilizará un algoritmo para corregir el inconveniente. El led de color amarillo se utilizará para indicar la transmisión a la impresora parpadeando mientras dura la transmisión, en caso de no tener comunicación con la impresora, el led no parpadeará, se quedara encendido.

### 3.5.4 CONECTOR DE ENERGÍA PARA PRUEBAS



Figura 3.37 Conector de energía de 12Vdc para automóvil

Se utilizó un adaptador de cigarrera para alimentar con 12Vdc al circuito del proyecto de una forma rápida y poder utilizar varios vehículos de prueba. Para la instalación del taxímetro se deberá conectar internamente a la batería principal, y utilizar una batería pequeña de moto de 12Vdc, como respaldo que soportará hasta 8 horas en caso de falla de la conexión principal.

### 3.5.5 CIRCUITO DE COMUNICACIÓN RS232

Para el circuito de comunicación RS232, como se indicó anteriormente, se utilizó un circuito integrado MAX232, que se escogió para cambiar los niveles TTL que utiliza el microcontrolador a niveles RS232 con los que trabajará el módulo GPS y la comunicación con el puerto serial del computador para el cambio de tarifas. El circuito está en la parte inferior derecha del PCB y los puertos o conectores de salida están al final del lado derecho, el conector del módulo GPS y el conector DB9 para la comunicación con el computador y la impresora. Se puede observar en la figura 3.38.

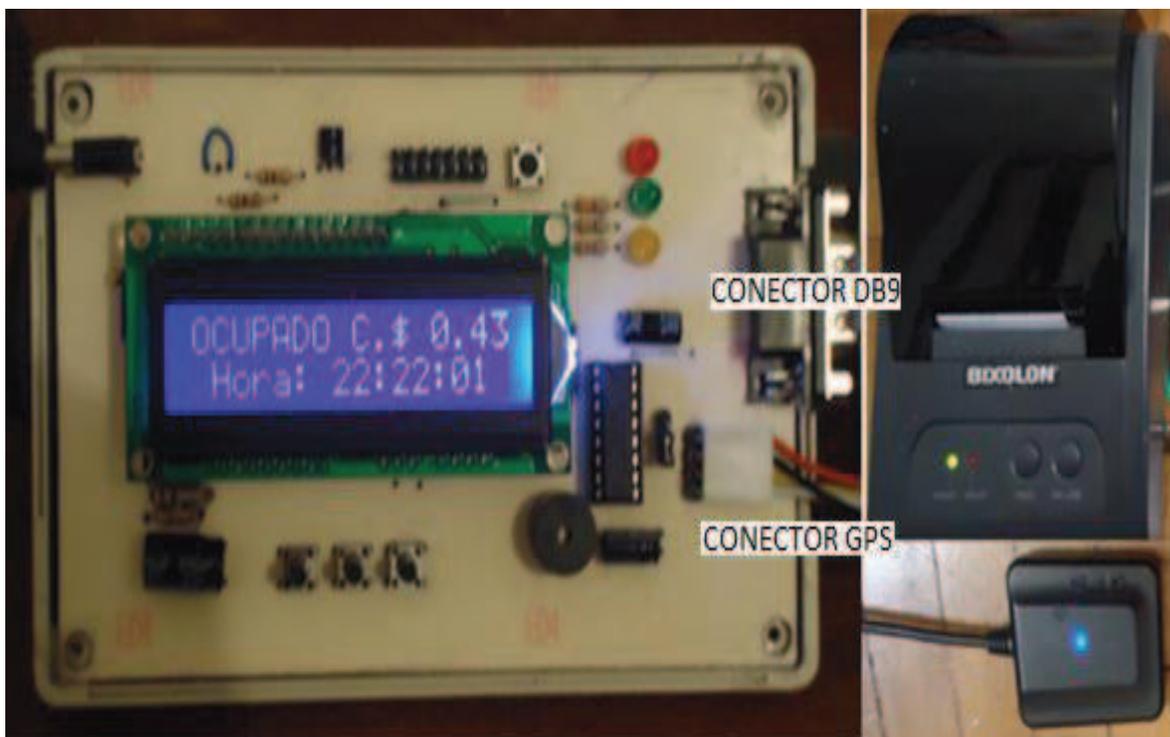


Figura 3.38 Fotografía indica posición de conectores para la comunicación con el módulo GPS e impresora

### **3.5.6 CAMBIO DE COMUNICACIÓN SIMPLEX A FULL DUPLEX**

Existe un pequeño switch, para conmutar y para utilizar el mismo puerto de comunicación del microcontrolador con dos salidas, una salida es la del conector DB9 para comunicarse con el puerto serial del computador y la segunda salida la del terminal del módulo GPS para recibir los datos del GPS. Conmutando el switch a la posición 1 se tiene comunicación full dúplex con salida por el DB9 para comunicación con el computador, y en la posición 2 del switch se tiene comunicación simplex para transmitir hacia la impresora por el puerto DB9 y comunicación simplex para recibir datos del módulo GPS por el puerto de 4 vías.

### **3.5.7 CIRCUITO DE RESET Y TIEMPO DE ENGANCHE DEL RECEPTOR GPS**

Como todo circuito que posee un microcontrolador, se utilizó un circuito de reset para el proyecto, con el fin de iniciar desde cero el programa del firmware, claro esto no afectará a los valores de tarifa que se guardaran en memoria EPROM, esto solo en caso de que entre en un lazo no programado por fallas eléctricas o físicas del circuito del proyecto, y así evitar cortar la energía al circuito y evitar los picos de conexión y desconexión de energía al circuito. Este reset se utiliza con más frecuencia en caso de cambio de tarifas, ya que el ingreso de la clave por computador se encuentra en las primeras líneas del firmware. Para el cambio de tarifas se tiene varias llaves, uno es por tiempo, dos es por ingreso de la tecla correcta y el último es por el ingreso de la clave, siendo la clave una cantidad X de caracteres entre minúsculas y mayúsculas.

El módulo receptor GPS, tiene un tiempo de enganche variable, esto dependerá de qué tan despejado sea el día, de que tan bien instalado este el módulo GPS y de cuantos satélites estén visibles para este módulo en cierto momento del día. Se tiene un tiempo máximo de enganche de 5 minutos, luego de ello el módulo utiliza algoritmos para encontrar los satélites más rápidamente, teniendo un historial de satélites enganchados, y con un reloj en tiempo real RTC interno para ayudar al algoritmo y retornar la señal lo más rápido posible.

### 3.5.8 BUS PARA EL PROGRAMADOR ISP

En la placa del circuito electrónico, tenemos un puerto para la programación serial ISP, que cuenta con los terminales conectados directos al microcontrolador, como son: RESET, SCK, MIMO, MISO, XTA2 y los terminales de VCC y GND. Con esta configuración se puede cargar el archivo.hex en el microcontrolador con el programador ISP progisp versión 1.7.2, para cambiar o corregir el firmware del proyecto por problemas que solo se pudieron ver en pruebas reales, antes de instalar la última versión del firmware y bloquear el chip.

## 3.6 PROGRAMACIÓN DEL MICROCONTROLADOR

### 3.6.1 USO DE LA HERRAMIENTA PROGISP PARA TRANSFERIR EL ARCHIVO HEXADECIMAL AL MICROCONTROLADOR

Como se puede observar en la figura 3.39, existen algunas opciones en la herramienta que se pueden escoger, según sea la utilidad del microcontrolador. Primero se debe escoger el microcontrolador que se está usando en el proyecto, en la parte superior izquierda de la pantalla principal del PROGISP (icono Select Chip), para cargar el archivo.hex a transferir, se debe escoger en la barra general el icono File y luego Load Flash, seleccionar el archivo.hex que anteriormente se debió haber creado y almacenado.

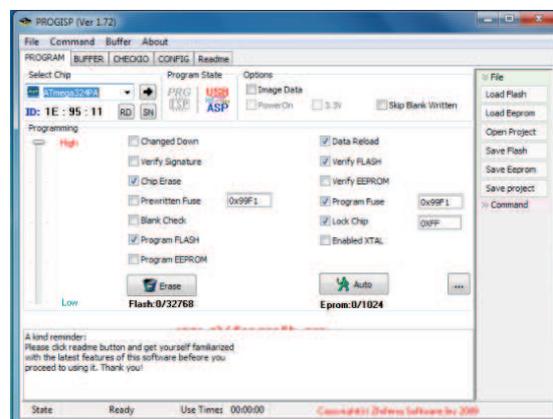
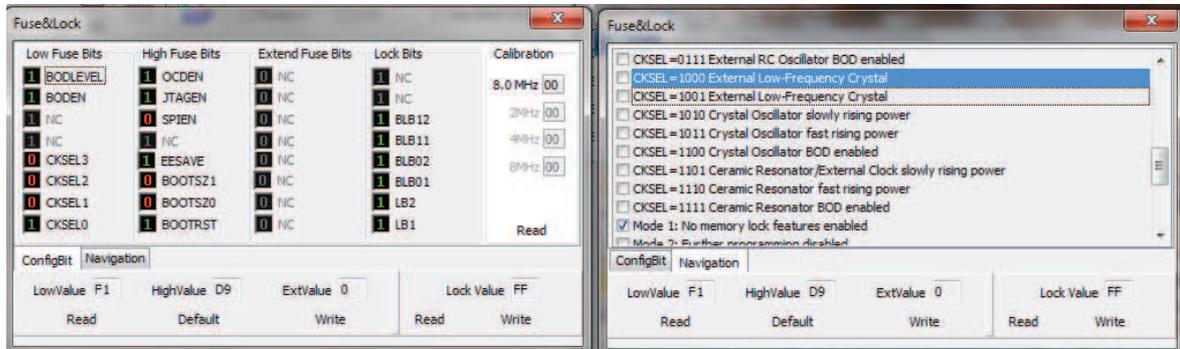


Figura 3.39 Programador PROGISP (Ver.1.7.2) para transferir el archivo.hex al microcontrolador

En la parte izquierda junto al icono Auto, se tiene el icono para escoger los fusibles que se tiene pensado utilizar.



**Figura 3.40 Ventanas del progisp para escoger características de fusibles del microcontrolador**

### 3.6.2 BLOQUEO DEL CHIP Y ACTIVACIÓN PARA EL AHORRO DE ENERGÍA

En las características de microcontrolador ATMEGA324P y con la ayuda del programador PROGISP, figura 3.40, se puede bloquear el firmware para que no se puede ni copiar ni modificar, una vez que se desee instalar la última versión del firmware probada, e incluso se puede activar una opción que ayudará al ahorro de energía cuando los procesos sean repetitivos en el firmware del programa.

### 3.7 CARACTERÍSTICAS DE LA IMPRESORA Y SU COMUNICACIÓN

A continuación se presenta un resumen sobre las características de la impresora utilizada:

- Método de impresión: térmica
- Ancho del papel: 57.5 mm
- Diámetro del papel: 55 mm
- Resolución: 203 dpi

- Velocidad de impresión: hasta 90 mm/s
- Código de barras soportados: I25, UPC-A, UPC-E, EAN-8, EAN-13, Code bar, Código 39, Code93, Code128, Code11, MSI
- Fuente: ASCII (12x24)
- Gráfico de impresión: Impresión directa de mapa de bits
- Sensor de papel: Foto-sensor
- Interfaz de comunicación: RS232 o RS232 con nivel TTL
- Fuente de alimentación: 5-9 V
- Duración del cabezal: 50 km
- Ancho de impresión: 48 mm
- Condiciones de funcionamiento: 5 ~ 45 °C, 20 ~ 90% RH (40 °C)
- Condiciones de almacenamiento: -40 ~ 60 °C, 20 ~ 93% RH (40 °C)



**Figura 3.41 Fotografía de impresora color beige**

La comunicación con la tarjeta principal y la impresora es comunicación RS232 con niveles TTL, por lo cual no se usa el MAX232 y se conecta directamente al terminal de recepción Rx del microcontrolador.

A continuación se presenta algunas características para el modo de empleo de la Impresora: para imprimir una página de prueba, después de encenderla, se conecta y desconecta el JP4 en la tarjeta de la impresora. El led en el tablero indicará el estado de la impresión de la siguiente manera:

- Un blink: operación completa
- Dos parpadeos: No se detecta la impresora
- Tres Parpadeos: No hay papel se detecta
- Cinco en blanco: El mecanismo de la impresora se sobrecaliente

### 3.7.1 CARACTERÍSTICAS DEL CONECTOR

El fabricante da la opción de elegir utilizar RS232 o RS232 con nivel TTL antes de salir de la fábrica. RS232 con nivel TTL. La distribución de pines es la siguiente:

- VH, la fuente de alimentación para la placa
- CTS, detector de papel (por defecto) o CTR control de flujo (GS mediante un conjunto de comandos)
- TXD, el pin de transmisión de UART
- RXD, el pin de recepción de UART
- GND, el negativo de la fuente de alimentación, tierra o masa

**Tabla 3.2 Comandos para el uso de la impresora**

Tipo	Comando	Nombre
Comando para imprimir	LF	Imprime y alimenta una línea
	ESC J	Imprime y alimenta n puntos en el papel
Comandos de espaciado de líneas	ESC 2	Seleccione el espaciado de línea predeterminado
	ESC 3 n	Ajuste el espaciado de línea
	ESC a n	Seleccione la justificación
	ESC B n	Establecer el número de caracteres en blanco a la izquierda
Comando de caracteres	ESC ! N	Seleccione el modo de impresión (es)
	ESC SO	Inicio doble salto de línea
	ESC DC4	Fin doble salto de línea
	ESC { n	Modo de impresión cambiado encendido/pagado
	GS B n	Modo de impresión invertido encendido/apagado
	ESC % n	Seleccionar/cancelar carácter definidos por el usuario
	ESC &	Definir carácter definido por el usuario
	ESC ?	Cancelar carácter definido por el usuario
	ESC R n	Seleccione el conjunto de caracteres internacionales
	ESC t n	Seleccione la tabla de caracteres del código

### 3.7.2 FORMATO DE IMPRESIÓN DE LA FACTURA

En la primera línea se escribirá la razón social en el caso del prototipo **\*\* TAXIS AMIGOS \*\*** en la segunda línea se presentará el RUC, en la tercera línea en la provincia y país donde opera, en la siguiente línea indica a quien se asigna la factura en este caso se tendrá – Chofer – o – Pasajero –, en la siguiente línea se tendrá el número de factura, a continuación la fecha de autorización, fecha de caducidad, número de autorización por el SRI, número de la carrera en el día, fecha de emisión, hora de emisión, también se presenta en el detalle, tipo de tarifa, distancia recorrida, tiempo de espera de la carrera. Datos financieros, como subtotal del servicio, porcentaje de IVA, valor a pagar. Por último al pie de la factura se presenta puntos suspensivos para escribir el nombre, firma y número de cédula del cliente, esto se llenará a mano. A continuación se detalla un ejemplo.

**\*\* TAXIS AMIGOS \*\***

RUC: 1002608238001

Quito – ECUADOR

- CHOFER -

-----  
FACTURA Nro: 015-004-00009270

Fecha de Autorización: 18/01/2012

Fecha de Caducidad: 18/01/2013

Autorización SRI: 1002608238

Carrera Nro: xxxxxx001

Fecha de Emisión: 14/07/12

Hora de Emisión: 20:13:42

+ Detalle +

Tarifa Diu/Noc [1/2]: 1

Dist Recorrida [km.]: 0.0

T. de Espera [seg]: 25

Subtotal servicio [USD]: 1.00

0% IVA [USD]: 0.00

-----  
Valor a Pagar [USD]: 1.00  
-----

Nombre:.....

## 3.8 CRITERIOS DE INSTALACIÓN

### 3.8.1 BATERÍA DE RESPALDO

En la figura 3.42 se muestra un modelo de batería que se utiliza como respaldo para taxímetros o equipos de rastreo satelital, como precaución a problemas en la fuente principal.



Figura 3.42 Batería de 12Vdc con 7Ah

La batería de respaldo es una fuente de alimentación que proporciona energía en caso de falla de la conexión principal y va depender del consumo del prototipo, tiene un promedio de respaldo hasta 8 horas aproximadamente, según normas técnicas. Es una batería de 12Vdc de moto que va oculta dentro del tablero con difícil acceso y así evitar que corten su alimentación. Se recarga de igual forma que la batería principal del automóvil y entra a funcionar solo cuando no existe otra fuente de energía, se necesita un arreglo de diodos de protección para que la batería respalde solo al circuito del taxímetro o al equipo que se desea respaldar.

### 3.8.2 DIMENSIONES DE LA CAJA

Se escogió las dimensiones de la caja del taxímetro tomando en cuenta las dimensiones de la placa armada, y teniendo una buena distribución para los módulos LCD, módulo GPS, botones, leds indicadores y terminales de conexión. Las dimensiones son: 14 cm de largo, 9 cm de alto y 3 cm de profundidad. La caja es resistente a golpes y pisotones, se montó la tarjeta electrónica del prototipo en la caja con el fin de hermetizarlo y no se introduzca polvo que puede dañar el circuito.



**Figura 3.43 Fotografía de la caja y la posición de la pantalla**

### **3.8.3 FORMA DE INSTALACIÓN EN UN AUTOMOTOR**

Para la instalación del prototipo en el automotor, se tiene las siguientes recomendaciones:

- 1.- Se debe encontrar un cable de energía que proporcione 12 V, o en lo posible realizar una instalación directa a la batería, esta alimentación de voltaje debe variar como máximo hasta 3 V al encender el vehículo.
- 2.- Se debe colocar el display en la parte superior del parabrisas, lado derecho, en esencial alado del retrovisor, esto aumentará la vida útil del display debido a que no estará totalmente en contacto con el sol y estará al alcance visual de todos los pasajeros.
- 3.- El dispositivo GPS debe estar colocado sobre el tablero, en el lado derecho, debajo del parabrisas, para que tenga contacto visual adecuado con los satélites. Debido a que cuenta con una base imantada, se debe colocar en especial sobre un material o base metálica, esto aumentará las características de comunicación con la red satelital.
- 4.- La impresora deberá estar en un lugar más fresco, podría ser el gabinete del vehículo, también se puede colocar frente a la palanca de cambios si no presenta incomodidad al chofer. Esta impresora solo se usará al finalizar la carrera. Esto también es recomendable para aumentar el tiempo de vida útil de la impresora y para evitar robos innecesarios.
- 5.- Se puede utilizar una batería de respaldo en caso de fallas del sistema eléctrico de vehículo, o agotamiento de la batería principal del vehículo, esta deberá estar instalada debajo del tablero en la parte derecha, se usará como respaldo con un sistema de conmutación donde solo entre a funcionar a tener problemas con la batería principal.

# **CAPÍTULO IV**

## **PRUEBAS DEL PROTOTIPO**

### **4.1 INTRODUCCIÓN**

Este capítulo incluye todas las pruebas de funcionamiento realizadas al prototipo, como son: ingreso de valores al sistema del prototipo según la tarifa vigente mediante el hyperterminal del computador, pruebas de navegación del menú del prototipo, pruebas de velocidad y distancia recorrida con el equipo montado en un automotor, y por último pruebas de costo de la carrera e impresión con detalles de la misma, estas pruebas fueron realizadas tanto en ambientes de laboratorio como pruebas en el exterior con el prototipo instalado en un vehículo. En las pruebas se consideró todas las posibles variables que afectan el funcionamiento y se ha realizado los ajustes necesarios del firmware.

### **4.2 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN CON EL COMPUTADOR**

#### **4.2.1 PRUEBAS DE INGRESO CLAVE DE SEGURIDAD**

Para el ingreso de la clave de seguridad para el acceso al equipo se realizó pruebas con éxito de comunicación serial con el computador. Se conectó el puerto del computador RS232 macho con el puerto RS232 macho del prototipo mediante un cable serial cruzado.

Luego de la conexión del computador con el prototipo, se probó el acceso al equipo como se detalla a continuación: primero se energizó el equipo, donde se observó que envía cada 5 segundos un texto que indica "Ingreso de clave de autorización", luego de esto se presionó una tecla específica desde el teclado del computador, donde se observó que pasa a la siguiente opción del sistema visualizando el texto "la clave es: " y esperando el ingreso de la clave, como se

muestra en la figura 4.1, mensajes de ingreso de claves en el hyperterminal de Windows.

```
Tienes 3 intentos para ingresar la clave correcta:
Ingrese la Clave:

Tienes 2 intentos para ingresar la clave correcta:
Ingrese la Clave: Miguel

Tienes 1 intentos para ingresar la clave correcta:
Ingrese la Clave: LceLmdT
```

**Figura 4.1 Ingreso de clave mediante el hyperterminal de Windows**

Por último se probó el equipo ingresando la clave correcta, y se observó que pasa a la siguiente etapa del sistema correctamente, para el ingreso de nuevos valores para tarifas vigentes, mostrando el siguiente texto: “ACTUALIZACIÓN DE TARIFAS VIGENTES”, cumpliendo con éxito el proceso completo de acceso equipo. Como se puede observar en las pantallas de las figuras 4.2 y 4.3, actualización de valores de costos para tarifas vigentes.

```
ACTUALIZACION DE TARIFAS VIGENTES
Costo de Arranque tarifa 1 = $
0.35
Costo por km rec. tarifa 1 = $
0.26
Costo de Arranque tarifa 2 = $
0.40
Costo por km rec. tarifa 2 = $
0.30
Costo de minuto espera tar1 = $
0.06
Costo de minuto espera tar2 = $
0.06
Velocidad de Cambio [km/h] =
12
Valor minimo de la carrera tar1 = $
1.00
Valor minimo de la carrera tar2 = $
1.10
Ready?
```

**Figura 4.2 Ingreso de valores de tarifas al sistema del prototipo**

```
Ready?
Costo de Arranque tarifa 1 = $0.34999996
Costo por km rec. tarifa 1 = $0.259999986
Costo de Arranque tarifa 2 = $0.399999973
Costo por km rec. tarifa 2 = $0.299999949
Costo de minuto espera tar1 = $0.05999994
Costo de minuto espera tar2 = $0.05999994
Velocidad de Cambio [km/h] = 12.0
Valor minimo de la carrera tar1 = $1.0
Valor minimo de la carrera tar2 = $1.10000002
Desea Salir?[si/no] si
```

**Figura 4.3 Valores ingresados al sistema del prototipo**

Se comprobó además que en el caso de no tener conexión con el computador, en el caso de no presionar la tecla correcta o en el caso de ingresar tres veces la clave incorrecta el prototipo pasa al siguiente menú, al estado LIBRE.

#### 4.2.2 INGRESO DE COSTOS TARIFARIOS VIGENTES

Luego de tener acceso a los valores de costos tarifarios en el prototipo, se puede escribir en memoria EEPROM del microcontrolador sobre los valores fijados por default, los cambios solo los podrán realizar personal autorizado y los costos son regidos por la comisión nacional de tránsito, transporte terrestre y seguridad vial. Los valores que se editarán en el prototipo son: costo inicial de arranque, costo por minuto de espera, costo por kilómetro recorrido, velocidad de cambio, valores del costo mínimo de la carrera, etc. En la figura 4.4 se observa el gráfico con valores hexadecimales de los cotos tarifarios almacenados en memoria EEPROM para el microcontrolador del prototipo.

	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	0A	0B	0C	0D	0E	0F	
0000	FF	~															
0010	FF	~															
0020	FF	~															
0030	FF	~															
0040	FF	~															
0050	FF	~															
0060	FF	~															
0070	FF	~															
0080	FF	~															
0090	FF	~															
00A0	FF	~															
00B0	FF	~															
00C0	FF	~															
00D0	FF	~															
00E0	FF	~															
00F0	FF	~															
0100	33	33	B3	3E	FF	33>											
0110	B8	1E	85	3E	FF	.D>											
0120	CD	CC	CC	3E	FF	>											
0130	99	99	99	3E	FF	>											
0140	8D	C2	75	3D	FF	!Au>											
0150	8D	C2	75	3D	FF	!Au>											
0160	00	00	40	41	FF	@A>											
0170	00	00	80	3F	FF	.E?>											
0180	CD	CC	8C	3F	FF	?>											
0190	FF	~															
01A0	FF	~															
01B0	FF	~															

Figura 4.4 Valores hexadecimales de costos tarifarios en memoria EPROM

### 4.3 PRUEBAS DE DATOS VÁLIDOS DEL MÓDULO GPS

Al energizar el equipo y verificar la conexión del módulo GPS, el sistema del taxímetro le tomará máximo 5 minutos en iniciar, esto debido en primera instancia y como más importante al proceso de establecimiento de comunicación del módulo GPS con los satélites visibles, y del procesamiento de subrutina inicial de cambio de tarifas. El microcontrolador realizara esta subrutina en un tiempo despreciable en comparación con las demás subrutinas, sin embargo esta parte del programa es necesaria para el curso normal del sistema de taxímetro.

En el momento que no detecta ninguna señal del computador, el firmware procede a procesar las señales recibidas por el módulo GPS, indicando en la pantalla el estado de las señales del módulo GPS. En las figuras 4.5 y 4.6, se muestran las pantallas que indican el estado de las tramas, identificadas como: “GPS FUERA DE LINEA” o “BIENVENIDOS GPS EN LINEA”, respectivamente.



Figura 4.5 Pantalla indica módulo GPS fuera de línea



Figura 4.6 Pantalla indica módulo GPS con datos válidos

## 4.4 PRUEBAS DE NAVEGACIÓN POR EL MENÚ DEL SISTEMA

### 4.4.1 ESTADO LIBRE

Después del enganche del módulo GPS, el sistema iniciará por default en el estado LIBRE, ver figura 4.7, donde se observará en la parte superior de la pantalla la palabra “LIBRE” y la hora, que estará expresada en el formato HH:MM:SS, además indicará en la parte inferior de la pantalla la fecha actual expresada en dd/mm/aa, siendo este último indicativo de fecha cambiado presionando el botón número 2, donde se mostrará las siguientes opciones: la velocidad en [km/h], la distancia recorrida [km] y posición del auto-taxi expresado la latitud y longitud actual, como se puede observar en la figura 4.8 “pantallas de posición del vehículo”



Figura 4.7 Pantallas indican estado LIBRE, se puede observar además la hora, fecha y velocidad del vehículo

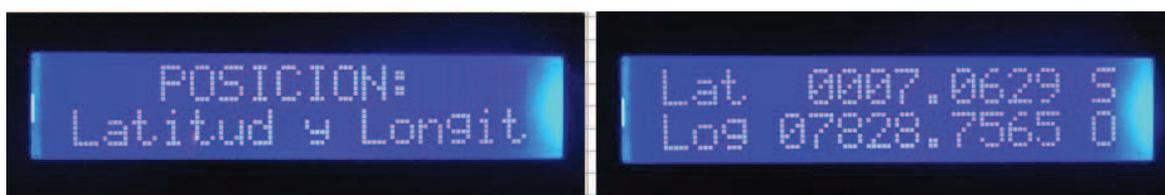


Figura 4.8 Pantallas indican posición del vehículo, expresadas en latitud y longitud

### 4.4.2 ESTADO OCUPADO

Dentro del menu se pasa al siguiente estado de OCUPADO desde el estado LIBRE presionando el boton número 1, dentro del estado OCUPADO del taximetro existen varias opciones de navegacion, como se puede observar en las fotografias de la figura 4.9 de la pruebas realizadas, estas se realizaron en estado

de reposo o en el laboratorio y en pruebas de campo o en el vehiculo, siendo algunas opciones solo observadas en pruebas de campo.

El estado OCUPADO despliega en la linea superior izquierda de la pantalla la palabra OCUPADO que intercambia con el tipo de tarifa TARF.=1 (Diurna) ó TARF.=2 (Nocturna), en la parte superior izquierda se muestra siempre el costo de la carrera según transcurra el servicio ejemplo “C. \$ 0.40”, esto se puede observar en la figura 4.9. En la parte inferior se tiene varias opciones que se puede cambiar con los botones 2 y 3. Se observan las opciones: HORA, FECHA, VELOCIDAD, DISTANCIA y TIEMPO DE ESPERA.

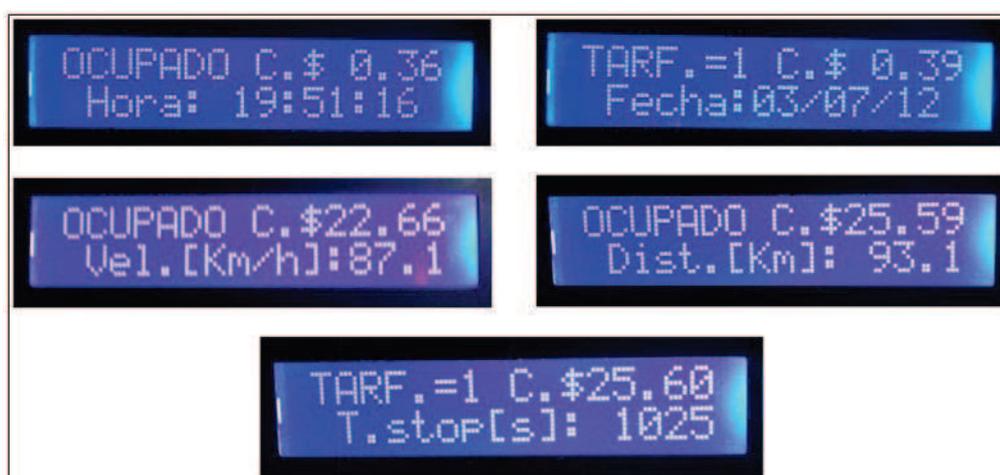


Figura 4.9 Pantallas indican estado OCUPADO, con opciones de hora, fecha, velocidad, distancia recorrida y tiempo de espera

#### 4.4.3 ESTADO IMPRIMIR

Se realizó pruebas en el estado “IMPRIMIR” donde se observó que el prototipo de taxímetro tiene la opción de imprimir (presionando botón 2) o no imprimir (presionando botón 3), esta opción de no imprimir se usa en caso de que exista una falla con la impresora o que no se tenga papel para impresión, como se puede observar en las fotografías de la figura 4.10. Mientras se encuentra imprimiendo el detalle de la carrera, se debe observar el parpadeo del led indicador de color amarillo. El detalle de la carrera se imprime por duplicado, una para el cliente, y la otra para el chofer.

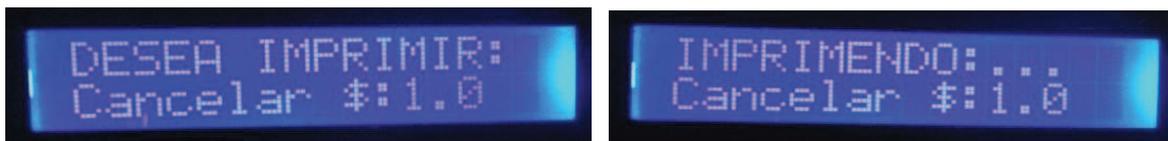


Figura 4.10 Pantallas estado IMPRIMIR

## 4.5 PRUEBAS DEL PROTOTIPO EN EL AUTOMOTOR

Se realizó todas las pruebas con el equipo instalado en el automotor, estas necesariamente fueron realizadas en condiciones de campo, por sus características de cambio de posición y/o cambio de velocidad, pruebas como: las de velocidad del auto-taxi, la distancia recorrida, la velocidad de cambio o de cruce. A continuación se procede a presentar más detalladamente.

### 4.5.1 PRUEBAS DE VELOCIDAD

Para estas pruebas se necesitó la ayuda de un vehículo y su correspondiente velocímetro. Se realizó mediciones de velocidad del vehículo por varios lugares de las ciudades de Ibarra y Quito, y se comparó entre la velocidad del velocímetro y la velocidad indicada por el prototipo teniendo las diferencias que se muestran en la tabla 4.1.

En las pruebas de velocidad del vehículo, se observó una diferencia de hasta 19 Km/h, sin embargo no hay que alarmarse debido a que la velocidad real del prototipo se detalla un segundo después, como se presenta en la tabla 4.1. Esto no afectará en la facturación, debido a que sucede el mismo efecto tanto al acelerar como al desacelerar. Tomando en cuenta este efecto se puede observar que el error máximo es de 2.20 km/h en todo el transcurso de la prueba. No se puede descartar que existan valores mayores al error máximo presentado en la prueba, sin embargo este valor sería en primera instancia un error despreciable debido a que se daría en un segundo de todo el tiempo de la muestra, y sabiendo que este parámetro de velocidad solo se utiliza para tomar la decisión de facturar por tiempo o por distancia. Por último esto obedece a una falla de datos del

módulo GPS, por lo que el programa del equipo descarta estos errores y se corrigen en el firmware.

**Tabla 4.1 Muestra de valores registrados en las pruebas de velocidad del prototipo**

t	Vel Velocimetro en t	Vel Taximetro en t	Vel Taximetro en t+1	Error Velocidad	Error Prom
[seg]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]	[km/h]
1	0	0	0	0,00	0,05
2	5	0	4,8	-0,20	0,05
3	20	4,8	21	1,00	0,05
4	40	21	41,5	1,50	0,05
5	62	41,5	60,4	-1,60	0,05
6	58	60,4	59	1,00	0,05
7	60	59	59	-1,00	0,05
8	67	59	65,6	-1,40	0,05
9	58	65,6	58,5	0,50	0,05
10	45	58,5	46	1,00	0,05
11	12	46	11	-1,00	0,05
12	0	11	2	2,00	0,05
13	0	2	0	0,00	0,05
14	0	0	0	0,00	0,05
15	13	0	10,8	-2,20	0,05
16	45	10,8	45,8	0,80	0,05
17	60	45,8	61,4	1,40	0,05
18	75	61,4	74,9	-0,10	0,05
19	97	74,9	96,2	-0,80	0,05
20	100	96,2	100,1	0,10	0,05

Para el cálculo de errores de velocidad de la muestra se utilizó la ecuación 4.1 donde se tiene la velocidad tomada por el velocímetro propio del vehículo restado la velocidad marcada por el prototipo un segundo después.

$$Error (v) = \text{velocimetro veh\acute{u}culo} (t) - \text{veloc. prototipo} (t + 1) \quad (\text{ec 4.1})$$

#### 4.6 PRUEBAS DE DISTANCIA DEL RECORRIDO

Para estas pruebas se necesitó de un vehículo de prueba, su respectivo chofer, una pista despejada que esté señalada cada kilómetro del circuito. Para la comparación de la distancia recorrida. Se escogió la pista de la laguna de Yahuarcocha por razones de facilidad de pruebas y debido a que el dueño del vehículo que accedió con su tiempo y paciencia, reside en la ciudad de Ibarra. En la tabla 4.2 se muestra los datos tomados del prototipo en recorrer una vuelta

completa a la pista de la laguna de Yahuarcocha con un rango de velocidad de 30 a 60 km/h, velocidades mayores a la velocidad de cambio, adicionalmente se comprobó su distancia con el tacómetro del vehículo.

**Tabla 4.2 Datos de distancia recorrida en el circuito de Yahuarcocha**

Distancia en la Pista de Yahuarcocha (10km)					
No. Prueba	Datos del prototipo (km)	Error (km)	% Error	Error Prom(km)	% Error Prom
1	10	0	0,0	0,015	0,15
2	9,93	0,07	0,7	0,015	0,15
3	9,94	0,06	0,6	0,015	0,15
4	10,02	0,02	0,2	0,015	0,15

Para el cálculo de errores de distancia recorrida se utilizó la ecuación 4.2 con los valores obtenidos al dar varias vueltas a la pista de prueba, encerrando el tanto el tacómetro como el marcador de distancia recorrida del prototipo con cada inicio de prueba.

$$Error (d) = distancia\ recorrido - distancia\ del\ prototipo \quad (ec\ 4.2)$$

Se realizó las mismas pruebas de distancia recorrida en la ciudad de Quito, obteniendo los datos presentados en la tabla 4.3 la cual también detalla los errores del prototipo en relación a las lecturas obtenidas por el tacómetro del vehículo considerando una distancia de 3km.

**Tabla 4.3 Comparación de datos del tacómetro con la distancia recorrida del prototipo**

Distancia en la ciudad de Quito (3km)					
No. Prueba	Datos del prototipo (km)	Error(km)	% Error	Error Prom(km)	% Error Prom
1	2,8	0,2	6,7	0,168	5,6
2	2,94	0,06	2,0	0,168	5,6
3	2,61	0,39	13,0	0,168	5,6
4	2,8	0,2	6,7	0,168	5,6
5	2,9	0,1	3,3	0,168	5,6
6	2,9	0,1	3,3	0,168	5,6
7	2,85	0,15	5,0	0,168	5,6
8	2,84	0,16	5,3	0,168	5,6
9	2,88	0,12	4,0	0,168	5,6
10	2,8	0,2	6,7	0,168	5,6

En esta muestra se tiene un mayor grado de error, esto debido a que la distancia recorrida indicada por el prototipo solo es la que recorre cuando supera la velocidad de cruce, valor de distancia necesario para el cálculo del costo del

servicio. Es decir si el vehículo viaja a una velocidad menor a la velocidad de cruce 12km/h, el tacómetro incrementará su distancia mientras que la distancia del prototipo no incrementara su medida, estos valores de error se observarán con mayor porcentaje cuando el auto-taxi realice mayor número de paradas. Como no fue el caso de las pruebas en la pista de la laguna de Yahuarcocha donde no se tuvo ninguna parada y el error fue menor al 1%.

#### **4.6.1 PRUEBAS DE TIEMPO DE ESPERA**

Estas pruebas se las realizo exhaustivamente dentro de un ambiente cerrado, sin preocuparse sin más que ubicar el modulo GPS cerca de la ventana del laboratorio, siendo la única parte física del prototipo que debía estar en esta posición. Se colocó la antena en una posición donde pueda enganchar, se escogió la opción tiempo de espera dentro del estado Ocupado, y se la dejo por variar horas. Llegando al límite de la memoria, observando que se produjo una falla de saturación debido al espacio de memoria de la variable asociada a este parámetro, se amplió el espacio en memoria para esta variable a un formato entero de mayor capacidad, solventando el inconveniente tomando en cuenta que el tiempo de espera lógico por carrera no superara las 9 horas 6 minutos 7 segundos, que transcurre hasta saturar el espacio de memoria utilizando con la variable integer 32768 bits.

En las pruebas de tiempo de espera no se tiene ningún error apreciable, y no se tendrá cuando el módulo GPS se encuentre en correcto funcionamiento. Esto debido a que siempre se encuentra actualizando sus datos de tiempo real con respecto a los relojes atómicos integrados en los satélites.

#### **4.6.2 PRUEBAS DE VELOCIDAD DE CAMBIO**

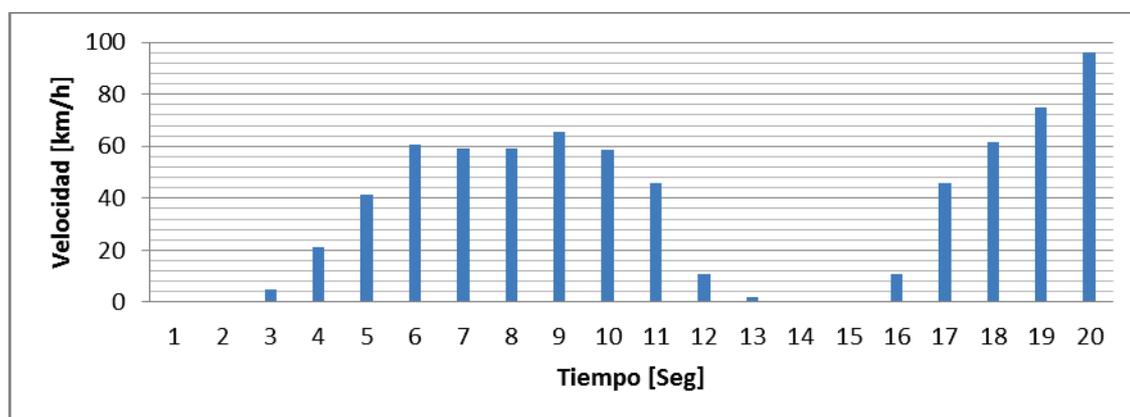
Esta parte indica pruebas con el equipo montado en el vehículo, la primera prueba que se realizó es la prueba de velocidad de quiebre. Esta prueba implica que en primera instancia se comparó la velocidad que marca el taxímetro con la que

marca en el velocímetro del vehículo. A continuación se presentan los resultados obtenidos en la tabla 4.1.

Teniendo valores aceptables de las mediciones de velocidad en el prototipo, se puede verificar la velocidad de quiebre, esta es de 12 km/h que es la velocidad límite para que el prototipo facture por tiempo de espera y facture por distancia recorrida. Como se puede observar en la tabla 4.3.

**Tabla 4.4 Valores de tiempo de espera y distancia recorrida en función de la velocidad**

t [seg]	Vel Taximetro en t [km/h]	Incr T.espera [seg]	T.espera [seg]	Incr d. recorrida [km]	d. recorrida [km]
1	0	1	1	0,000	0,000
2	0	1	2	0,000	0,000
3	4,8	1	3	0,000	0,000
4	21	0	3	0,006	0,006
5	41,5	0	3	0,012	0,017
6	60,4	0	3	0,017	0,034
7	59	0	3	0,016	0,051
8	59	0	3	0,016	0,067
9	65,6	0	3	0,018	0,085
10	58,5	0	3	0,016	0,101
11	46	0	3	0,013	0,114
12	11	1	4	0,000	0,114
13	2	1	5	0,000	0,114
14	0	1	6	0,000	0,114
15	0	1	7	0,000	0,114
16	10,8	1	8	0,000	0,114
17	45,8	0	8	0,013	0,127
18	61,4	0	8	0,017	0,144
19	74,9	0	8	0,021	0,165
20	96,2	0	8	0,027	0,191



**Figura 4.11 Gráfica de las variaciones de la velocidad del móvil en función del tiempo**

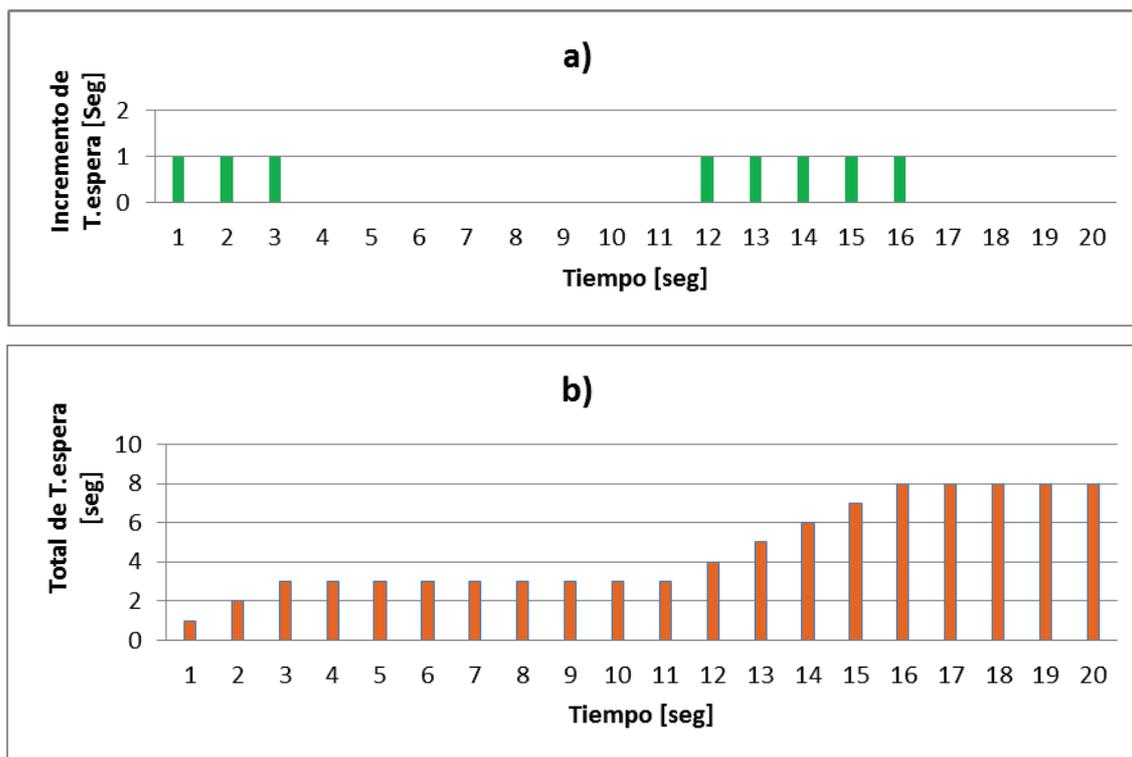


Figura 4.12 Gráficas a) y b) donde detalla el incremento del tiempo de espera en función de la velocidad de quiebre 12 km/h

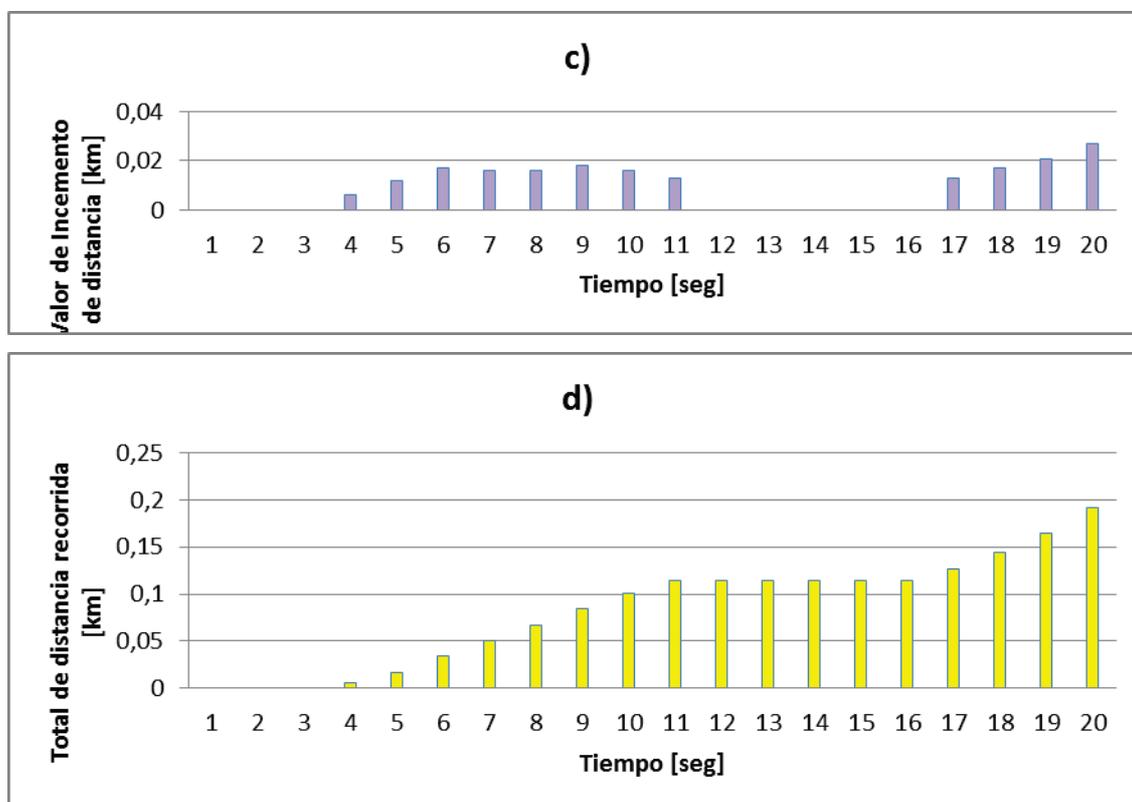


Figura 4.13 Gráficas c) y d) de distancia recorrida incrementan cuando supera la velocidad de quiebre de 12 km/h

#### 4.6.3 COSTO DE LA CARRERA CON TAXÍMETRO HOMOLOGADO Y CON EL PROTOTIPO

Para esta prueba se necesitó la ayuda de un taxi amigo y su respectivo taxímetro, equipo que supero correctamente las pruebas de control. En la figura 4.14, se puede observar una captura de la herramienta Google Earth, detallando como ejemplo una ruta de prueba, de un punto A (casa) a un punto B (oficina). El recorrido tiene una distancia de 6,34 km, donde se pudo alcanzar una velocidad mayor a 60 Km en una recta sin tráfico, consta de 5 paradas por semáforos en rojo, 2 curvas cerradas y 3 paradas por tráfico.

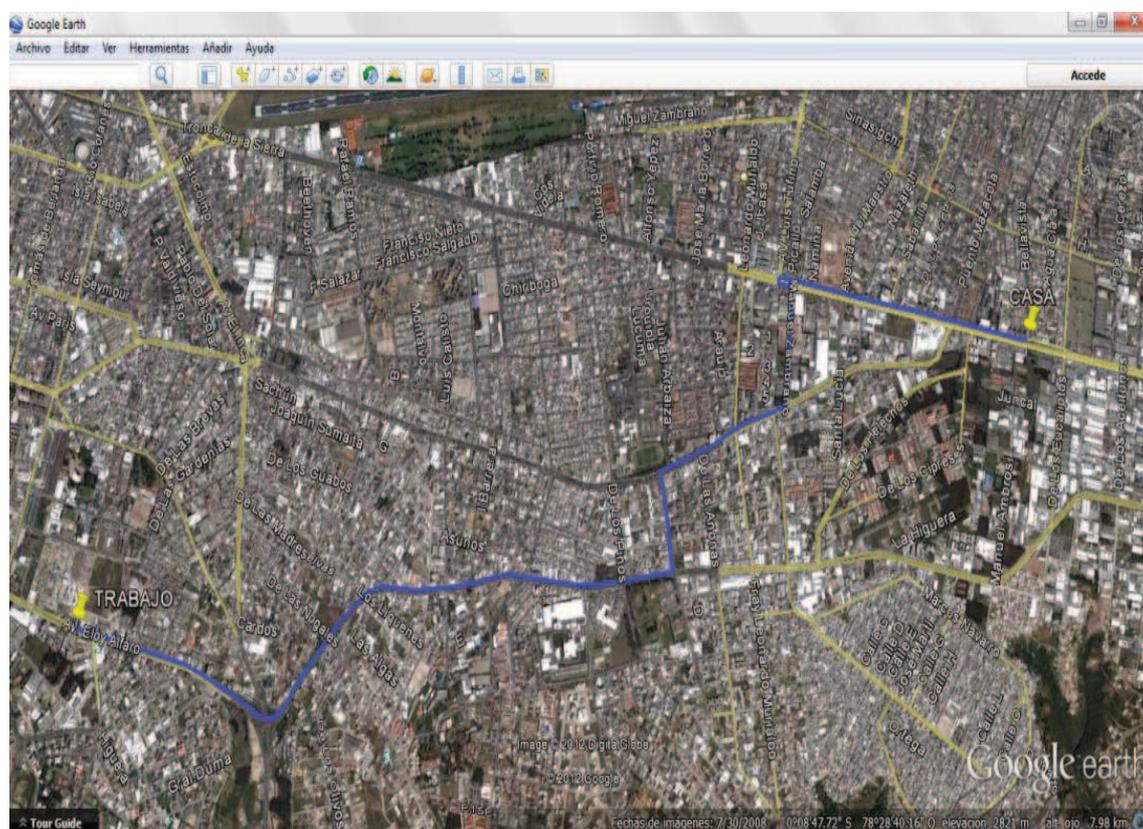


Figura 4.14 Recorrido de prueba para el taxímetro prototipo

En la tabla 4.4, se presenta un resumen de datos del costo de la carrera obtenida de la comparación entre un taxímetro homologado y el taxímetro prototipo, muestra que se tomó minuto a minuto de una recopilación de información mayor que se tomó segundo a segundo en la ruta determinada de prueba, que duró 11 minutos en recorrer 6,34 km.

Tabla 4.5 Comparación de taxímetros homologado con el prototipo

T. en (min)	Homologado	Prototipo	Error
15:06:37	\$ 0,36	\$ 0,36	\$ -
15:07:37	\$ 0,57	\$ 0,57	\$ -
15:08:37	\$ 0,63	\$ 0,64	\$ 0,01
15:09:37	\$ 0,79	\$ 0,80	\$ 0,01
15:10:37	\$ 0,90	\$ 0,91	\$ 0,01
15:11:37	\$ 1,06	\$ 1,07	\$ 0,01
15:12:37	\$ 1,13	\$ 1,14	\$ 0,01
15:13:37	\$ 1,29	\$ 1,30	\$ 0,01
15:14:37	\$ 1,44	\$ 1,45	\$ 0,01
15:15:37	\$ 1,67	\$ 1,68	\$ 0,01
15:16:37	\$ 1,81	\$ 1,82	\$ 0,01
15:17:37	\$ 1,87	\$ 1,89	\$ 0,02
15:18:37	\$ 2,00	\$ 2,02	\$ 0,02

Se tuvo una corrección en el firmware del prototipo, debido a que en primera instancia se realizaba el incremento de tiempo de espera acumulativo en función de segundos, en el caso de un taxímetro homologado se observó que el tiempo espera es acumulativo pero en función de los minutos, observando que solo los minutos completos incrementan el costo de la carrera. Por esta razón los datos tomados de la carrera de prueba existe una pequeña diferencia en el costo final de servicio, debido a que en el firmware del prototipo inicial no pierde ningún segundo de tiempo de espera, se acumula para la siguiente parada, como es el caso del taxímetro homologado que descarta algunos segundos si no llegan a completar el minuto de tiempo de espera en una parada.

A continuación se observa las gráficas a), b) y c) que dibuja el comportamiento del costo de la carrera en función del tiempo en segundos.

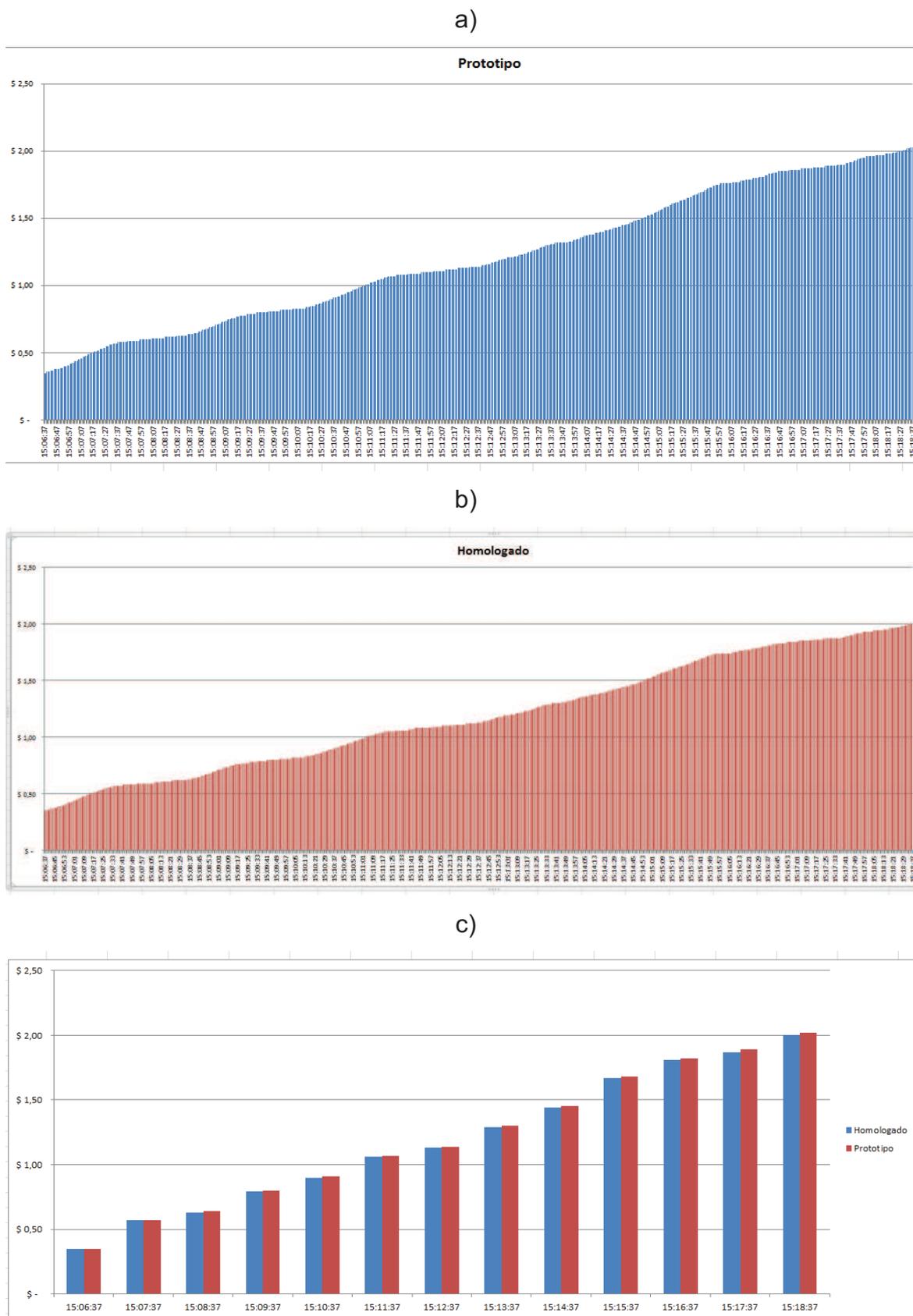


Figura 4.15 Gráficas a), b) y c) detallan la comparación del costo de la carrera en función del tiempo, entre un taxímetro homologado y el taxímetro del prototipo

## 4.7 PRUEBAS CON LA IMPRESORA

### 4.7.1 PRUEBAS DE COMUNICACIÓN CON LA IMPRESORA

Para estas pruebas se tuvo cuidado de tener las mismas velocidades de comunicación entre el taxímetro prototipo y la impresora, en este caso velocidad de transmisión serial de 4800bps. Se realizó pruebas con éxito utilizando 2 impresoras de diferentes características, sin embargo lo único que se tuvo cuidado es la velocidad de transmisión y la conexión correcta de los terminales, asegurando de tener una buena conexión del terminal de tierra común o masa.

### 4.7.2 PRUEBAS DE IMPRESIÓN

Se realizó las pruebas de impresión con éxito, se conectó el puerto DB9 del prototipo al puerto de DB9 de la impresora mediante un cable directo, luego de realizar un recorrido, se pasó al estado IMPRIMIR en el menú del prototipo, observando que la impresora toma unos 5 segundos en imprimir el primer documento que está dirigido al usuario, con detalles completos de la carrera, luego de 5 segundo más se imprime el segundo documento dirigido al chofer con el mismo detalle de la carrera. El tiempo intermedio de 5 segundos sirven para cortar el primer documento del rollo y separar uno de otro. En la figura 4.16 se muestra la fotografía de la impresión del detalle de la carrera emitida por la impresora térmica con la que se realizó las pruebas de impresión.



Figura 4.16 Fotografía de impresión con detalle de la carrera

En la figura 4.17 se presenta los dos documentos impresos para chofer y usuario, con detalles del servicio de taxi, teniendo claramente identificador los campos de legales: razon social, RUC, numero de factura, etc.; detalles de la carrera: tipo de tarifa, distancia recorrida, tiempo de espera; datos financieros: subtotal, %IVA, valor a pagar.



Figura 4.17 Fotografías de impresiones con detalles de carrera (chofer, pasajero)

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 CONCLUSIONES

- Con relación a la normativa sobre taxímetros en el Ecuador se constató que se encuentra desactualizada, tomando en cuenta que la tecnología ha venido avanzando muy aceleradamente desde el siglo XIX, por lo cual se observó que algunos reglamentos son incompatibles con el proyecto de taxímetro facturador donde se utilizó tecnología nueva como la GPS para esta aplicación de taxímetros en el país.
- En el desarrollo del prototipo se vio la factibilidad de utilizar 2 puertos de comunicación con el microcontrolador ATMEGA324P, ya que este cuenta con la característica de tener 2 puertos de comunicación serial, sin embargo se vio que no fue necesario debido a que solo se tiene comunicaciones simplex del módulo GPS al microcontrolador y comunicación simplex del microcontrolador a la impresora. Y una comunicación full duplex entre el prototipo y el computador. Con la ayuda de un interruptor se escoge el uso de uno de los puertos seriales del microcontrolador entre su operación normal (comunicación con el receptor GPS y la impresora), y la comunicación con el computador para el cambio de tarifas.
- En el desarrollo de esta investigación, se realizó varias pruebas con diferentes tipos de impresoras, para de esta manera escoger la más idónea, en donde se pudo comprobar que las impresoras matriciales a pesar de contar con características de emisión de facturas con su duplicado, son las menos apropiadas ya que son de gran tamaño y consumen mucha potencia, por lo que difícilmente podrán ser acopladas al espacio limitado en donde lógicamente serán ubicadas, ocasionando de

esta manera algunos inconvenientes e incomodidad al conductor del vehículo y posiblemente al ocupante también.

- De los datos obtenidos por el módulo GPS y las pruebas realizadas para el cálculo de la distancia recorrida se pudo observar que a pesar de que existe un error de precisión de la posición de 4m hasta 100m en el peor de los casos, respecto a la posición real del vehículo, sin embargo este error es despreciable tomando en cuenta que se utiliza el parámetro desplazamiento, debido a que el error en la posición no es acumulativo, siendo así que se tiene una aproximación muy exacta entre la sumatoria total del desplazamiento calculada y los kilómetros reales recorridos por el vehículo.
- En el desarrollo del proyecto se observó que se puede optimizar el firmware del prototipo de taxímetro utilizando otro lenguaje de programación, como el C para AVR's o el ensamblador de Atmel. Sin embargo se tiene mayores complicaciones al redactar las líneas del código fuente y la depuración del programa, tomando un mayor tiempo en la realización de un firmware operativo funcional.
- Mediante las pruebas realizadas al prototipo y a taxímetros homologados, los equipos del mercado incrementan el costo del tiempo de espera en función de minutos por lo que si se tiene unos segundos en espera menor a un minuto, no aumenta al registro, son descartados e inician desde cero en una nueva parada, perjudicando al chofer del taxi en unos centavos al finalizar el servicio.
- Luego del desarrollo del taxímetro, y observando que el prototipo cuenta con tecnología GPS, se pudo llegar a la conclusión que el equipo es adaptable con otros equipos GPS, por lo cual se puede aumentar sus características cambiando el módulo receptor GPS por un modem GPS/GPRMS para rastreo satelital, claro esto llevaría a un mayor costo, debido a que se debe instalar todo un sistema, que cuenta con

instalaciones para una central de monitoreo, servidores y aplicaciones de navegación, operadores de call center, laboratorio técnico de mantenimiento de equipos, contar con una compañía de datos para las comunicaciones celulares, etc.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- El Sistema de Rentas Interno SRI quiere incluir una normativa para declaración de impuestos sobre el campo laboral de los taxistas, sin tener éxito debido a que las normas vigentes son estrictas para equipos de facturación en este país, como recomendación se debe tener en cuenta que para crear una nueva normativa con respeto a la facturación, se deberá realizar un estudio de todos los miembros que resultarían afectados por un cambio en este tema.
- Según las normativas del SRI, el taxímetro funcionaría como un sistema autoimpresor, sin embargo cuando se tenga problemas con la impresora como falla de comunicación y falta de papel, se recomienda al SRI que se permita a los taxistas tramitar comprobantes preimpresos.
- Debido a que utilizar una impresora matricial es poco factible, se recomienda y utiliza en el prototipo una impresora de poco consumo de potencia, que emiten recibos en papel térmico y generando la impresión por duplicado mediante software justamente para emitir recibos a los involucrados, chofer y cliente.
- En vista del avance de la tecnología y de la acogida del sistema de posicionamiento global en el Ecuador, sin duda existirá un mejoramiento de la utilización de este sistema con la inclusión de una estación en tierra en Latinoamérica o mejor aún en Ecuador para aplicar sistemas con GPS

diferencial, y así también realizar mejoras en prototipos desarrollados que trabajan con el sistema GPS.

- Debido a que en el incremento del minuto de espera de los taxímetros homologados de una parada a la siguiente en los segundos no son acumulativos, se recomienda que se actualice este aspecto en las normas del INEN sobre taxímetros, sus parámetros y tolerancias, en especial para nuevos taxímetros con tecnología actual, como se utilizó en el prototipo, objeto de este estudio, en donde los segundos se acumulan.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1]<http://es.wikipedia.org/wiki/Tax%C3%ADmetro>
- [2]<http://thelongestlistofthelongeststuffatthelongestdomainnameatlonglast.com/first292.html>
- [3][http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_posicionamiento\\_global](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_posicionamiento_global)
- [4]<http://www.sri.gob.ec/web/guest/67>
- [5]<http://www.inen.gov.ec/index.php>
- [6]<http://www.cnttsv.gov.ec/index.php/tarifas>
- [7] Carlos David Amaya Jaramillo, Darían Paúl Carrera Chicaiza, SISTEMA DE MONITOREO PASIVO VEHICULOS MEDIANTE GPS.
- [8] RG34 APROBACIÓN DE MODELO DE TAXÍMETROS (Registro Oficial No 226 de 1982-04-21)
- [9] RG43 REQUISITOS PARA LA INSTALACIÓN Y USO DE TAXÍMETROS (Registro Oficial no 314 de 1982-08-25)
- [10] Documentación emitida por el Servicio de Rentas Internas sobre Taxímetros.
- [11] ATAPUMA, Francisco, "DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN PROTOTIPO USANDO UN ACELROMETRO TRIDIMENSIONAL PARA LA DETERMINACIÓN DE MOVIMIENTOS EN UN VEHICULO", Quito Julio 2009.
- [12]<http://meca.mundo foro.com/imagen-vp13815.html>
- [13][http://www.caveo.com.ar/lcd\\_16x2\\_sinc\\_big.html](http://www.caveo.com.ar/lcd_16x2_sinc_big.html)
- [14]<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/2319/1/CD-3052.pdf>
- [15]<http://es.wikipedia.org/wiki/RS-232>
- [16]<http://es.kioskea.net/contents/elec/connecteur-prise-db9.php3>
- [17][http://www.rambal.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=87](http://www.rambal.com/index.php?option=com_content&view=article&id=87)
- [18]<http://www.dmd.es/bascom-a.htm>
- [19][http://eu.mio.com/es\\_es/global-positioning-system\\_4991.htm](http://eu.mio.com/es_es/global-positioning-system_4991.htm)
- [20][http://www.simrad.net/ek15\\_ref\\_spanish/default.htm?startat=/ek15\\_ref\\_spanish/xxx\\_about\\_manual-ch8-sect1sect3.html](http://www.simrad.net/ek15_ref_spanish/default.htm?startat=/ek15_ref_spanish/xxx_about_manual-ch8-sect1sect3.html)
- [21][http://www.nmea.org/content/nmea\\_standards/nmea\\_0183\\_v\\_410.asp](http://www.nmea.org/content/nmea_standards/nmea_0183_v_410.asp)
- [22][http://www.nmea.org/Assets/100108\\_nmea\\_0183\\_sentences\\_not\\_recommended\\_for\\_new\\_designs.pdf](http://www.nmea.org/Assets/100108_nmea_0183_sentences_not_recommended_for_new_designs.pdf)
- [23][www.portaltecnicofp.com/index.php/.../doc.../26-manual-basico-de-proteus](http://www.portaltecnicofp.com/index.php/.../doc.../26-manual-basico-de-proteus)

- [24][www.circuitoselectronicos.org/.../manual-basico-para-el-mo...](http://www.circuitoselectronicos.org/.../manual-basico-para-el-mo...)
- [25]<http://www.forosdeelectronica.com/tutoriales/circuitos-impresos.htm>
- [26][http://usuaris.tinet.cat/fmco/download/Tutorial\\_placas.pdf](http://usuaris.tinet.cat/fmco/download/Tutorial_placas.pdf)
- [27]<http://www.servisystem.com.ar/smd1.html>
- [28]<http://www.todopic.com.ar/foros/index.php?topic=1496.0>
- [29][http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/images/stories/doc\\_imp/Ordenanza%20Metropolitana%200047.pdf](http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/images/stories/doc_imp/Ordenanza%20Metropolitana%200047.pdf)

# **ANEXOS**

***ANEXO 1:***

***DOCUMENTACIÓN DE NORMATIVA SOBRE  
TAXIMETROS***

*ANEXO 1.1:*

*PROCEDIMIENTO PARA OBTENER DEL INEN  
EL CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE  
MODELO DE TAXIMETROS.*

*ANEXO 1.2:*  
*REGULACIÓN RG34*

*ANEXO 1.3:*

*REGULACIÓN RG43*

*ANEXO 1.4:*

*SECCIÓN 5.54 SOBRE TAXÍMETROS DEL  
HANDBOOK 44-2011*

*ANEXO 1.5:*

*RECOMENDACIÓN SOBRE TAXÍMETROS DE  
LA ORGANIZACIÓN INTERNACIONAL DE  
METROLOGÍA INTERNACIONAL, OIML R 21 –  
2007*

*ANEXO 1.6:*

*NORMATIVA ESTADOUNIDENSE PARA  
TAXÍMETROS*

*ANEXO 1.7:*

*RESOLUCIÓN DE TARIFAS, RESOLUCIÓN N°  
001-DIR-2003-CNTTTSV, EMITIDO POR EL  
CONSEJO NACIONAL DE TRANSITO,  
TRANSPORTE TERRESTRE Y SEGURIDAD  
VIAL*

*ANEXO 1.8:*

*DOCUMENTO NO OFICIAL SOBRE  
TAXÍMETROS EMITIDO POR EL SRI,  
ORGANISMO FISCAL DE SERVICIO DE  
RENTAS INTERNAS DEL ECUADOR*

*ANEXO 1.9:*

*ORDENANZA*

*METROPOLITANA*

*0047*

***ANEXO 2:***

***CARACTERÍSTICAS DE ELEMENTOS  
UTILIZADO EN EL PROTOTIPO***

*ANEXO 2.1:*

*SUMMARY DATASHEET ATMEGA324P*

*ANEXO 2.2:*

*CARACTERÍSTICAS DE MÓDULO GPS*

*ANEXO 2.3:*

*CARACTERÍSTICAS DEL INTEGRADO MAX232*

*ANEXO 2.4:*

*CARACTERÍSTICAS DE LA MINI-IMPRESORA*

*A2*

*ANEXO 2.5:*

*MANUAL DE USUARIO DE LA MINI-  
IMPRESORA A2*

*ANEXO 2.6:*

*DATASHEET DE LA FUENTE SWITCHING*

*MC33063A*

ANEXO 2.7:

CÓDIGO FUENTE DEL FIRMWARE  
DESARROLLADO PARA EL PROTOTIPO

***ANEXO 3:***

***HERRAMIENTAS DE DISEÑO DE LA  
TARJETA ELECTRÓNICA***

*ANEXO 3.1:*

*MANUAL DE LA HERRAMIENTA ARES-  
PROTEUS*