



ADQUISIDOR DE DATOS EÓLICOS

Por:

Alejandro J. Arias. Leg. 54920

Nicolás M. Pelayes. Leg. 55845

Mauricio E. Troviano. Leg. 56005

Tutor académico

Ing. Juan Jorge Quiroga

Departamento de Electrotecnia

Facultad de Ingeniería

Ingeniería Electrónica

Neuquén, septiembre de 2005

Reconocimientos y Agradecimientos

A nuestros padres y hermanos por su incondicional apoyo, cariño y paciencia. A nuestros familiares por estar siempre a nuestro lado. A Pancho (nuestro tutor académico) por sus consejos y generosidad. A Jorge y Claudia, miembros del LISAMET, por su confianza y asesoramiento. A nuestros amigos por su optimismo. Al Dpto de Electrotecnia por brindarnos el espacio y facilitarnos el uso del equipamiento y otros recursos sin restricción alguna.

En particular agradecemos a: Laura, Gustavo, Juan, Maxi, Alejandra (Dpto de fisicoquímica), Kurt, Hector, Javier, Nanu y Teo por extendernos una mano y algo más...

Por último, a todos y cada uno de los que nos ayudaron de alguna manera para concretar este proyecto.

Ale, Nico y Mauri

Prólogo

A lo largo de nuestra carrera adquirimos distintas capacidades para ejercer la profesión de ingenieros y el proyecto integrador profesional era la oportunidad de profundizar estos conocimientos y generar nuevas habilidades en algún área que fuera de nuestro interés. Casi por casualidad se presentó la posibilidad de desarrollar una estación anemométrica a medida basada en microcontroladores. Esta propuesta nos presentaba un desafío atractivo para usar dicha tecnología y aplicarla a energía renovable, dos tópicos que nos interesan. Así, comenzamos a investigar la factibilidad de la propuesta, resultándonos cada vez más atractiva. Finalmente se presentó la oportunidad de realizar este desarrollo para ser utilizado por un grupo de investigación de la facultad que confió en nosotros y financió el proyecto. A partir de ese momento, se fueron generando las condiciones que debía cumplir la estación anemométrica dando forma a lo que se transformó en nuestro proyecto integrador profesional.

Luego de un intenso año dedicado a este trabajo, llegamos a la finalización con la satisfacción de haber cumplido con el cometido y de haber superado el desafío de llevar adelante el desarrollo.

Resumen

Este trabajo corresponde al proyecto integrador profesional de la carrera Ingeniería Electrónica de la Universidad Nacional del Comahue y consiste en el diseño, desarrollo e implementación de una estación anemométrica, construida a medida por pedido del laboratorio de imágenes satelitales meteorológicas (LISAMET, Neuquén) para realizar prospección eólica.

La estación anemométrica mide temperatura, humedad relativa, presión atmosférica velocidad y dirección del viento, a diferentes alturas. Dichas variables se miden cada un segundo y se procesan, en tiempos configurables, obteniéndose valores mínimos, máximos, promedios y desvíos estándar. Estos datos se almacenan en una memoria extraíble. Por otro lado, posee una interfaz que permite operar y controlar de manera sencilla la estación anemométrica por medio de un teclado y un display que tiene incorporados o a través de una aplicación de PC. Además puede instalarse a la intemperie, en lugares inhóspitos, alimentada por la red eléctrica domiciliaria o por un panel solar incorporado en el caso de precisar alimentación autónoma.

El diseño del equipo está basado en una red de microcontroladores con una arquitectura Master/Slaves, que se comunican a través de un bus RS485. Se implementaron distintos tipos de circuitos y algoritmos para adaptar las señales de cada sensor ensayando su funcionamiento en condiciones de laboratorio.

Palabras claves: estación anemométrica, sensor, microcontrolador, viento, adaptación de señal, protocolo, RS485.

Abstract

This work correspond to the professional integrator project of the degree course of Electronic Engineering of the Universidad Nacional del Comahue and it consists on the design, development and implementation of a wind gauge station, it was built by measured and by request of the Laboratorio de Imágenes Satelitales Meteorológicas (LISAMET, Neuquén) to carry out eolic prospecting.

The wind gauge station measures temperature, relative humidity, atmospheric pressure and speed and wind direction, to different heights. These variables are measured every second and they are processed in configurable times, obtaining minimum and maximum data, averages and standard deviations. These data are stored in a removable memory. On the other hand, it has an interface that allows to operate and to control it in a simple way by using a keyboard and a display that have been incorporated or through a PC application. Moreover, it can also be settle outdoors, in inhospitable places, powered by domiciliary electric net or by an incorporate solar panel just in case of autonomous power supplying.

The design of the station is based on a microcontroller net with Master/Slaves architectures that are link through a RS485 bus. Different types of circuits and algorithms were implemented to adapt the signals of each sensor trying out their operation under laboratory conditions.

Índice general

RECONOCIMIENTOS Y AGRADECIMIENTOS.....	III
PRÓLOGO.....	V
RESUMEN.....	VII
ABSTRACT.....	VIII
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. EL VIENTO Y LA IMPORTANCIA DE MEDIRLO.....	1
1.2. LA IMPORTANCIA DE DESARROLLAR TECNOLOGÍA LOCALMENTE.....	3
1.3. CARACTERÍSTICAS DE LA ESTACIÓN ANEMOMÉTRICA DESARROLLADA.....	4
2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA.....	9
2.1. ARQUITECTURAS.....	9
2.1.1 <i>Sistema centralizado</i>	9
2.1.2 <i>Sistema distribuido</i>	10
2.1.3 <i>Sistema mixto</i>	11
2.2. PARTES DEL SISTEMA.....	12
2.2.1 <i>Microcontroladores</i>	16
2.2.2 <i>Reloj-Calendario</i>	18
2.2.3 <i>Memoria</i>	20
2.2.4 <i>Red RS485</i>	22
2.2.5 <i>Convertor RS232/RS485</i>	24
2.2.6 <i>Display de cristal líquido</i>	25
2.2.7 <i>Batería, panel solar y regulación de carga</i>	25
2.2.8 <i>Fuente de 220VAC-12VCC y cargador de batería</i>	28

2.2.9	<i>Sensores</i>	30
3.	SENSORES Y ADAPTACIÓN DE SEÑAL	33
3.1.	SENSOR DE TEMPERATURA.....	33
3.2.	SENSOR DE PRESIÓN.....	34
3.3.	SENSOR DE HUMEDAD.....	36
3.4.	ANEMÓMETRO.....	38
3.5.	VELETA.....	39
3.6.	RUIDOS EN LA MEDICIÓN.....	40
4.	EL PROTOCOLO DE COMUNICACIÓN	43
4.1.	UNIDAD DE INFORMACIÓN Y ENMARCADO.....	43
4.2.	ESQUEMA MASTER/SLAVES.....	44
4.3.	DESCRIPCIÓN DE LA TRAMA DEL PROTOCOLO.....	45
4.4.	DIAGRAMAS DE ESTADOS DEL PROTOCOLO.....	47
5.	MASTER: SOFTWARE Y HARDWARE	51
5.1.	ESTRUCTURA DEL SOFTWARE.....	52
5.2.	INTERFAZ DE USUARIO.....	56
5.2.1	<i>Características generales del menú</i>	56
5.2.2	<i>Fenómeno de rebote en pulsadores</i>	58
5.3.	INICIO DE ADQUISICIÓN.....	59
5.3.1	<i>Subproceso configuración</i>	60
5.3.2	<i>Header de la memoria</i>	62
5.3.3	<i>Subproceso inicio</i>	63
5.4.	CONTROL DE TIEMPOS DE ADQUISICIÓN.....	65
5.5.	MEDICIÓN DE TEMPERATURA, HUMEDAD Y PRESIÓN.....	68

5.5.1	<i>Proceso de medición de Temperatura.....</i>	69
5.5.2	<i>Proceso de medición de Humedad.....</i>	71
5.5.3	<i>Proceso de medición de Presión.....</i>	73
5.6.	PEDIDO DE DATOS Y GRABACIÓN EN MEMORIA.....	75
5.6.1	<i>Organización de la memoria externa.....</i>	78
5.7.	DESCARGA DE MEMORIA A PC.....	81
5.8.	BORRADO DE MEMORIA.....	84
5.9.	CONFIGURACIÓN DESDE PC.....	85
5.10.	CONFIGURACIÓN DE FECHA Y HORA.....	86
5.11.	CAUSA Y EFECTO DE LOS RESETS.....	87
5.11.1	<i>Brown-out Reset.....</i>	87
5.11.2	<i>Wachdog Timer Reset.....</i>	88
5.11.3	<i>Power-on Reset.....</i>	89
5.11.4	<i>MCLR Reset.....</i>	89
5.11.5	<i>Acciones realizadas ante la ocurrencia de algún reset.....</i>	89
5.12.	DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO.....	91
6.	SLAVE: SOFTWARE Y HARDWARE.....	95
6.1.	ESQUEMA GENERAL.....	96
6.2.	MEDICIÓN DE TEMPERATURA, VELOCIDAD Y DIRECCIÓN DEL VIENTO.....	98
6.2.1	<i>Proceso de medición de Temperatura.....</i>	98
6.2.2	<i>Proceso de medición de Velocidad del viento.....</i>	99
6.2.3	<i>Proceso de medición de Dirección del viento.....</i>	109
6.3.	FUNCIONAMIENTO DEL SLAVE.....	110
6.3.1	<i>Proceso de recepción de tramas.....</i>	111
6.3.2	<i>Inicio de adquisición.....</i>	112

6.3.3	<i>Administración de los procesos de medición.....</i>	<i>113</i>
6.3.4	<i>Causa y efecto de los Resets.....</i>	<i>115</i>
6.4.	DISEÑO DEL CIRCUITO IMPRESO.....	118
7.	APLICACIÓN DE PC.....	119
7.1.	MODO MONITOR.....	119
7.2.	DESCARGA DE MEMORIA.....	121
7.3.	CONFIGURACIÓN DESDE LA PC.....	124
7.4.	ABRIR ARCHIVO DE DATOS.....	125
7.5.	CALCULAR POTENCIA AERODINÁMICA.....	127
8.	CONCLUSIONES.....	129
	REFERENCIAS.....	135

ANEXO A. MANUAL DEL USUARIO

ANEXO B. CIRCUITOS ELÉCTRICOS

ANEXO C. HOJAS DE DATOS DE LOS SENSORES

1. Introducción

El objetivo principal de esta tesis fue el diseño y construcción de una estación anemométrica desarrollada a medida para el Laboratorio de Imágenes Satelitales Meteorológicas (LISAMET) de la Universidad Nacional del Comahue, que está realizando junto al CREE (Centro Regional de Energía Eólica) el mapa del potencial eólico de la Provincia del Neuquén por pedido del EPEN (Ente Provincial de Energía del Neuquén). Por otro lado, se buscó desarrollar el equipo lo suficientemente flexible para crear una plataforma que pueda reutilizarse para nuevos proyectos. Esta característica permite que con muy pocas modificaciones se pueda implementar por ejemplo, un equipo que sirva para medir caudales y presiones en un oleoducto o condiciones de temperatura y humedad en un invernadero.

1.1. El viento y la importancia de medirlo

La energía proveniente del viento fue una de las primeras que el hombre utilizó. En tiempos remotos se descubrió cómo aprovechar la circulación del aire para impulsar embarcaciones, moler granos y elevar agua entre otros. Durante la Edad Media, se introdujeron los molinos en Europa y pronto el viento se convirtió, junto con la energía hidráulica, en una de las principales fuentes de energía. Con el paso del tiempo, se reemplazó el uso del viento por fuentes de energía como la quema de carbón o combustibles fósiles, que estaban disponibles en cualquier momento, a diferencia del viento que dependía de factores climáticos y geográficos. Debido a la crisis del petróleo de los años setenta y al interés creciente por la preservación del medio ambiente, en Europa, se incrementaron las inversiones destinadas a la producción de aerogeneradores para producir electricidad. Desde entonces la producción mundial de electricidad a partir del viento se ha incrementado, llegando a una potencia instalada de $39.294MW$ a fines de 2003 según la AWEA (American Wind Energy Association).

En Argentina, hace más de 150 años que se conocen y aplican las ventajas que ofrece el viento en lugares apartados donde se ha utilizado tanto para bombear agua como para generar electricidad. En el campo llegaron a instalarse más de 400.000 molinos que bombean agua. Además, en la década del setenta, aumentó el uso de pequeños molinos cargadores de baterías. A comienzos de 1990 se puso en funcionamiento el primer parque eólico ubicado en Río Mayo, Chubut. Según datos de la WWEA (World Wind Energy Association) la potencia instalada en Argentina se estimaba en $27MW$ a fines de 2002. Este país se ha transformado en el mayor exponente sudamericano de estos emprendimientos.

Para decidir la instalación de uno o varios aerogeneradores es necesario tener conocimiento en general del clima y en particular del recurso eólico del lugar.

La potencia que se obtiene de un sistema de conversión de Energía Eólica está determinada por la densidad del aire, la velocidad y otras características del viento. Al aumentar la velocidad del viento, aumenta la generación eólica disponible. Por cada metro por segundo (m/s) de incremento en la velocidad del viento, aumenta el valor de su potencial eólico en forma cúbica y con ello el rendimiento de los generadores. Es decir que la potencia del viento es directamente proporcional al cubo de su velocidad.

La constancia, uniformidad y velocidad del viento son características que determinan si el recurso eólico, en un sitio, es apto para ser aprovechado. La topografía, flora y estructuras presentes en un determinado lugar, entre otras, determinan la uniformidad del viento y su constancia, generando turbulencias y alteraciones constantes que impiden el buen uso del recurso.

Se observa entonces la importancia de estudiar las características del viento a lo largo de varios años para determinar precisamente dónde podrían instalarse los aerogeneradores. Para realizar estos estudios se registran los datos, se procesan y se confeccionan mapas eólicos de la distribución del potencial del recurso.

Aunque se han trazado algunos atlas de la distribución de los recursos eólicos a nivel mundial, son aún poco útiles, pues en varias regiones del globo, sobre todo en los países en vías de desarrollo, la base de datos sobre los vientos de superficie es todavía muy pobre. Sin embargo, la ONU (Organización de las Naciones Unidas) en 1981 publicó información de los países de Asia y el Pacífico mientras que la OLADE (Organización Latinoamericana de Energía) en 1983, hizo un atlas eólico preliminar de América Latina y el Caribe. En ambos casos se trató propiamente de un recuento de los datos obtenidos durante cierto número de años por los servicios meteorológicos, que ordinariamente no están situados en lugares adecuados para la prospección eólica con fines energéticos y que además, cubren los territorios con una densidad extremadamente baja.

En Argentina existen varias instituciones que trabajan en el incremento del aprovechamiento del recurso eólico. Una de las más activas es el CREE en Chubut. Este organismo ha realizado el mapa eólico de algunas provincias como Chubut y La Pampa. Sin embargo, en la Patagonia no se ha estudiado suficientemente el recurso eólico para realizar dichos mapas.

Las variables climáticas pertinentes se miden por medio de equipos adquirentes de datos llamados estaciones anemométricas y la información adquirida puede usarse para distintas aplicaciones además de evaluar el potencial eólico para fines energéticos. Algunas de las aplicaciones son: el bombeo de agua, el estudio de esfuerzos producidos por el viento sobre estructuras de antenas y edificios, el análisis del impacto del viento sobre cultivos, entre otras.

1.2. La importancia de desarrollar tecnología localmente

Si bien en el mercado mundial se pueden encontrar estaciones anemométricas estándar; diseñarla, desarrollarla e implementarla, tiene connotaciones que justifican su

realización. Una de las principales ventajas es la experiencia que se adquiere en el proceso de diseño y construcción, generando en los desarrolladores nuevas habilidades y herramientas que podrán aplicarse en otros proyectos. A su vez, con la intención de satisfacer un gran mercado, los equipos comerciales buscan abarcar una amplia gama de posibles aplicaciones. En cambio, el diseño a medida permite focalizar los esfuerzos del desarrollo sólo en las características necesarias para realizar estudios específicos.

Además se considera estratégico el desarrollo local de estos equipos para sustituir importaciones ya que actualmente no hay en el mercado, estaciones anemométricas de producción nacional. Por otra parte, el estado nacional a partir de la sanción de la Ley 25.019 “Régimen nacional de energía eólica y solar” en 1998, está alentando la generación de energía eléctrica de origen eólico a través de subsidios y exceptuando de algunos impuestos a esta actividad.

1.3. Características de la estación anemométrica desarrollada

La estación anemométrica tiene la capacidad de medir temperatura, velocidad y dirección del viento a dos alturas diferentes (típicamente *10m* y *30m*). Además, toma los datos de temperatura, humedad relativa y presión atmosférica a otra altura (típicamente *1,5m*). Puede utilizarse tanto para estudios estándar como para estudios específicos que necesitan mayores prestaciones, gracias a las resoluciones y rangos de los sensores elegidos. Las variables climáticas mencionadas se miden con los siguientes rangos y resoluciones:

- Velocidad del viento: *1m/s* a *96m/s* con resolución de *0,1m/s*.
- Dirección del viento: *0°* a *360°* con resolución de *1°*.
- Temperatura: *-40°C* a *60°C* con resolución de *0,1°C*.
- Presión atmosférica: *600hPa* a *1150hPa* con resolución de *1hPa*.
- Humedad relativa: *0%* a *100%* con resolución del *1%*.

Todas estas variables se procesan para obtener los parámetros que luego se almacenan en la memoria externa que posee la estación anemométrica. Dichos parámetros varían según el intervalo de adquisición elegido, que es el tiempo en el cual se toman datos para luego procesarlos y almacenarlos. La Tabla 1 muestra estos parámetros agrupados por intervalo de adquisición y altura.

Tabla 1. Parámetros agrupados según intervalo de adquisición y altura

	Intervalo de adquisición	
	1seg	1min, 10min, 30min, 60min
Base	Fecha y hora	Fecha y hora
	Humedad relativa	Humedad relativa
	Presión atmosférica	Presión atmosférica
	Temperatura instantánea	Temperatura promedio Temperatura máxima Temperatura mínima
Altura 1	Temperatura	Temperatura promedio
	Velocidad del viento	Temperatura máxima
	Dirección del viento	Temperatura mínima
		Promedio de la velocidad del viento
		Dirección promedio del viento
		Desvío estándar de la velocidad del viento
		Mínima velocidad del viento
		Dirección en que ocurrió la mínima velocidad
		Máxima velocidad del viento
		Dirección en que ocurrió la máxima velocidad
Altura 2	Temperatura	Temperatura promedio
	Velocidad del viento	Temperatura máxima
	Dirección del viento	Temperatura mínima
		Promedio de la velocidad del viento
		Dirección promedio del viento
		Desvío estándar de la velocidad del viento
		Mínima velocidad del viento
		Dirección en que ocurrió la mínima velocidad
		Máxima velocidad del viento
		Dirección en que ocurrió la máxima velocidad

Cabe destacar que las temperaturas, velocidades y direcciones del viento se miden siempre cada un segundo y los parámetros se calculan usando todas las muestras obtenidas durante el intervalo de adquisición. En cambio, la presión atmosférica y la humedad relativa se toman una única vez por intervalo de adquisición.

Además de estas características, para el diseño y la construcción se establecieron otras pautas que puedan hacerla simple de manejar, robusta y confiable. Entre las más destacadas se encuentran las siguientes.

- Funcionamiento autónomo con la capacidad de reestablecerse en caso de fallas.
- Reloj de tiempo real incorporado, con alimentación independiente, que permite grabar los datos con la fecha y hora en que se registraron.
- Gabinetes y conectores estancos que soportan condiciones de temperatura y humedad severas permitiendo que se pueda instalar a la intemperie.
- Alimentación a través de batería, panel solar o tensión alterna de 220V. Cargador de batería incorporado y regulador de carga para panel solar.
- Puerto serie RS232 para conexión directa con una PC que da la posibilidad de configurar y monitorear la estación anemométrica además de descargar los datos almacenados en ella.
- Memoria no volátil que puede extraerse fácilmente para descargar los datos en otro sitio, dando la posibilidad de recolectarlos cuando no se cuenta con una PC en el lugar de adquisición.
- Teclado y display incorporados que hacen que pueda operarse sin necesidad de accesorios externos.

También se realizó una aplicación para PC que fue desarrollada en Microsoft Visual Basic 6.0 y permite que al conectar la computadora a la estación anemométrica, a través de uno de los puertos serie, se puedan descargar los datos de la memoria, visualizar información almacenada previamente en forma de tablas y gráficos, realizar cálculos de potencia aerodinámica y configurar el equipo.

Hasta aquí se explicó resumidamente la importancia de medir el recurso eólico y cuál es la ventaja de desarrollar tecnología. Además se dieron las características generales de la estación anemométrica y de la aplicación de PC.

En el Capítulo 2 se muestra la arquitectura utilizada, se da un esquema general del sistema desarrollado y se explica cada parte del mismo. En el Capítulo 3 se estudian los sensores usados y la adaptación de la señal realizada para cada uno de ellos. El Capítulo 4 describe el protocolo de comunicación utilizado. En los Capítulos 5 y 6 se desarrollan en profundidad las funciones y características del Master y del Slave mientras que en el Capítulo 7 se describe la aplicación de PC. Finalmente en el Capítulo 8 se dan las conclusiones y las posibles mejoras que pueden realizarse.

2. Descripción general del sistema

En éste capítulo se presentan las distintas arquitecturas analizadas para la implementación de la estación anemométrica, mostrando las ventajas y desventajas de cada una. Se hace una descripción de todas las partes del sistema y su principio de funcionamiento. Finalmente se mencionan los sensores seleccionados explicando sintéticamente las características tenidas en cuenta para su elección.

2.1. Arquitecturas

Existen varias formas de implementar un sistema de adquisición de datos para una determinada aplicación. En este caso, la estación anemométrica tendrá una arquitectura definida por varios factores como ser: la tecnología disponible, el presupuesto asignado para el desarrollo, la versatilidad y la inmunidad al ruido entre otras características de importancia.

Las posibles alternativas de diseño que se estudiaron son: un sistema centralizado, utilizado en la mayoría de las estaciones del mercado, un sistema totalmente distribuido, y finalmente un sistema que se denomina en este texto sistema mixto.

2.1.1 Sistema centralizado

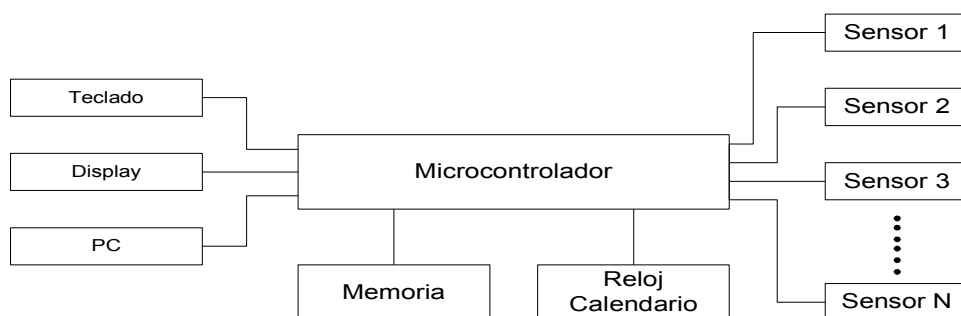


Figura 1. Esquema de un sistema centralizado

Este tipo de arquitectura es la preferida por los diseñadores de estaciones anemométricas comerciales. Tienen toda la electrónica concentrada en un mismo gabinete y se usan pocos componentes para obtener un consumo energético bajo y lograr una autonomía de un par de meses con baterías de uso comercial. Estos sistemas presentan a menudo problemas cuando se utilizan en ambientes ruidosos o industriales ya que los cables que conectan los sensores tienen varios metros de longitud y se induce ruido que afecta la medición. Además, la resistencia propia de los conductores produce una caída de tensión no deseada. Todo esto hace que se tenga que prestar especial atención a la adaptación de la señal y a la calibración.

Al usar un solo microcontrolador para administrar una cantidad grande de tareas, la programación y coordinación de las mismas se torna más compleja.

2.1.2 Sistema distribuido

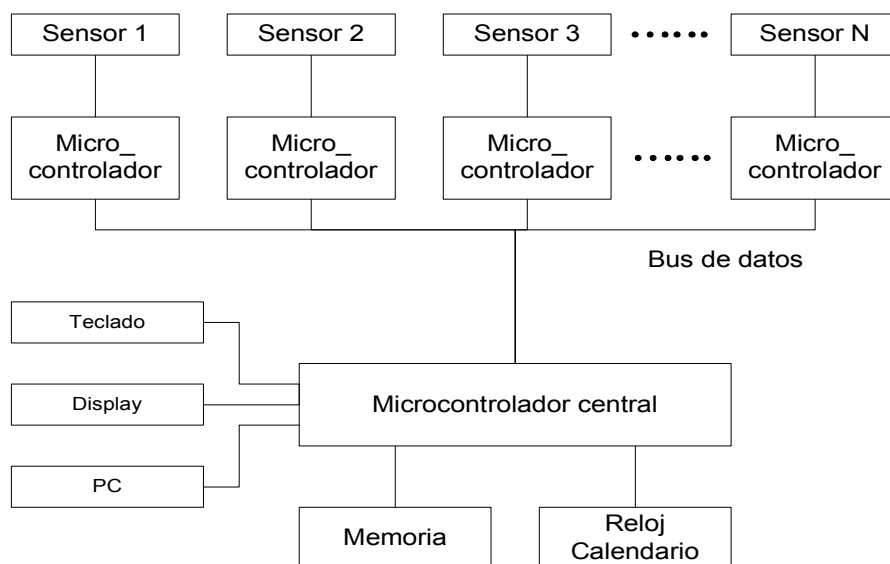


Figura 2. Esquema de un sistema distribuido

La principal característica de esta arquitectura es que al dar más poder de procesamiento cerca de cada sensor, se libera al microcontrolador central del procesamiento y adaptación de la señal de los sensores. Así se pueden colocar nuevos sensores sin modificar el sistema general.

Como se adapta la señal cerca del sensor, el sistema es mucho más inmune al ruido que el sistema centralizado y se puede asegurar la integridad de la información utilizando un protocolo con detección y corrección de errores.

La principal desventaja de este sistema es el consumo energético que supera al del sistema centralizado. También aumenta la cantidad de componentes utilizados. Un punto que se debe tener en cuenta al momento de diseñar un sistema distribuido es cómo se resolverá el problema de la comunicación entre los microcontroladores.

2.1.3 Sistema mixto

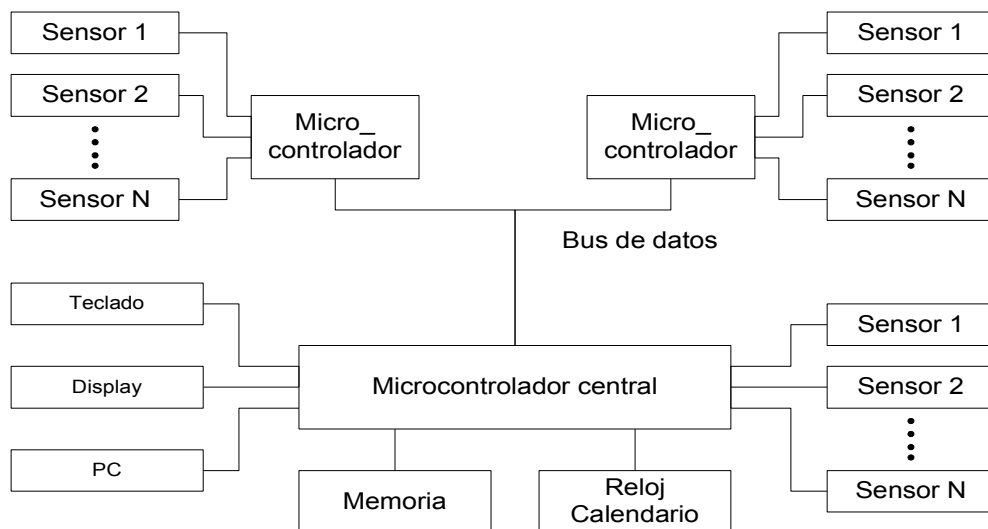


Figura 3. Esquema del sistema mixto

El sistema mixto es básicamente un sistema distribuido pero cada microcontrolador administra más de un sensor. El microcontrolador central maneja, además de la interfaz con el usuario, el almacenamiento de la memoria y algunos sensores.

Esta arquitectura surge de un compromiso entre el sistema centralizado y el sistema distribuido ya que intenta aprovechar las ventajas de ambos sistemas minimizando las desventajas. Así el sistema mixto toma del sistema distribuido la transmisión confiable de la información y del sistema centralizado el mejor aprovechamiento de la potencia de procesamiento del microcontrolador para manejar muchos sensores. Con esto se logra minimizar el consumo energético y el uso de muchos componentes del sistema distribuido y se minimiza el error de los datos en ambientes ruidosos del sistema centralizado. Otra ventaja es que el sistema procesa en forma distribuida, separando el programa en varios microcontroladores que da otras alternativas para la programación.

Además como existen sensores que entregan el dato de la medición en forma digital, generalmente a través de un protocolo diseñado para transmisiones de corta distancia (por ejemplo I²C), en esta arquitectura pueden entregarlo a un microcontrolador que esté cerca del sensor siendo esto más difícil en el sistema centralizado. Otra particularidad es que la variación de la longitud de los cables que comunican los microcontroladores no influye en la medición de los parámetros, pudiendo variar la misma en un rango amplio.

2.2. Partes del sistema

En la Figura 4 se muestra una instalación típica de la estación anemométrica diseñada mientras que en la Figura 5, se muestra el esquema general de la misma. El Master es el bloque del sistema que se encuentra ubicado en la base del equipo. Esta base es un gabinete que contiene al Master, y al bloque llamado Alimentación. Los esclavos o Slaves 1 y 2 se encuentran cada uno en gabinetes separados y van a distintas alturas, las alturas 1 y 2. Cabe

aclarar que todos los sensores se encuentran fuera de los gabinetes aunque forman parte de cada uno de los bloques del sistema como se indica.

Según el contexto, Master y Slave pueden hacer referencia a los microcontroladores de los bloques o al bloque completo.

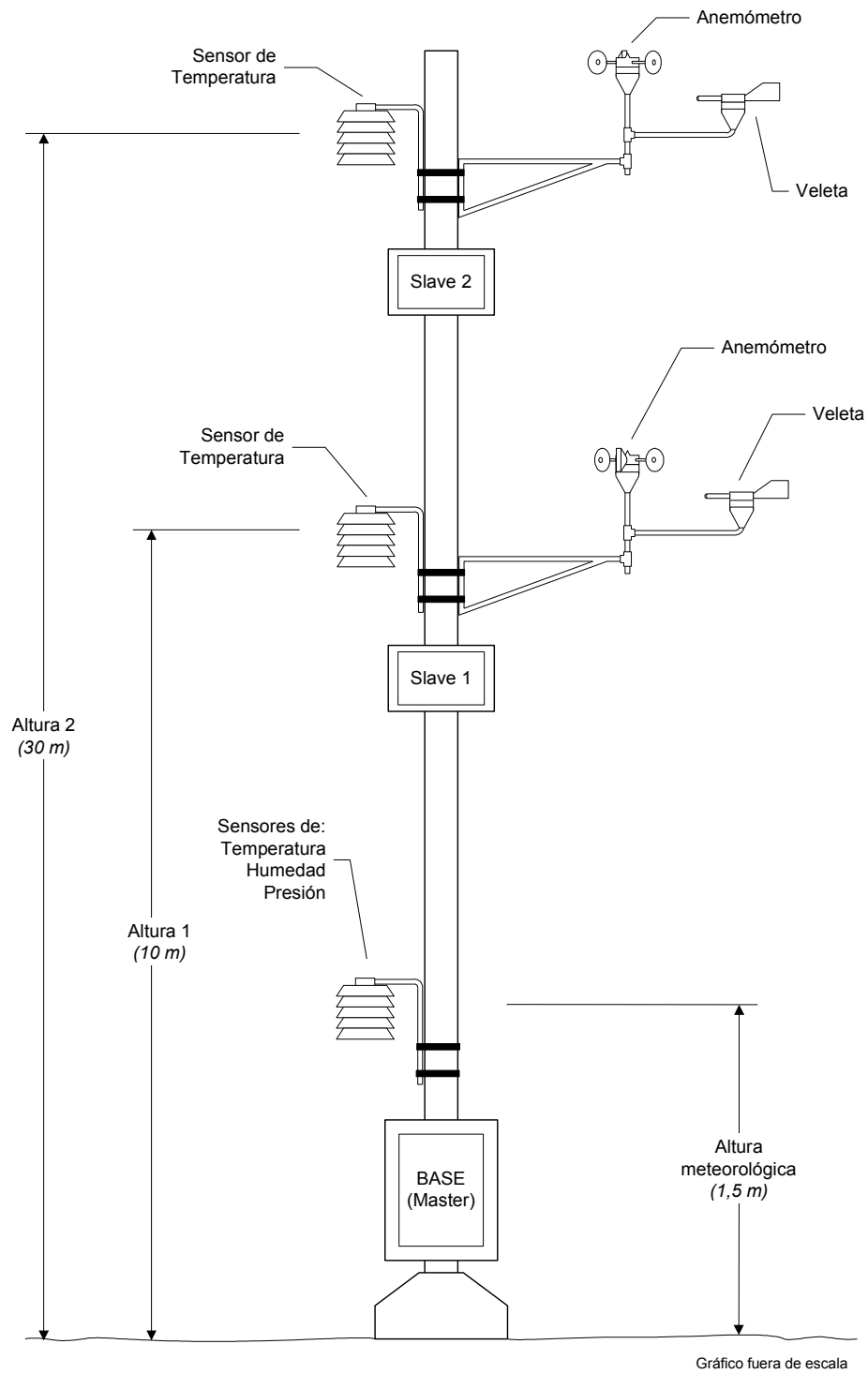


Figura 4. Instalación típica de la estación anemométrica

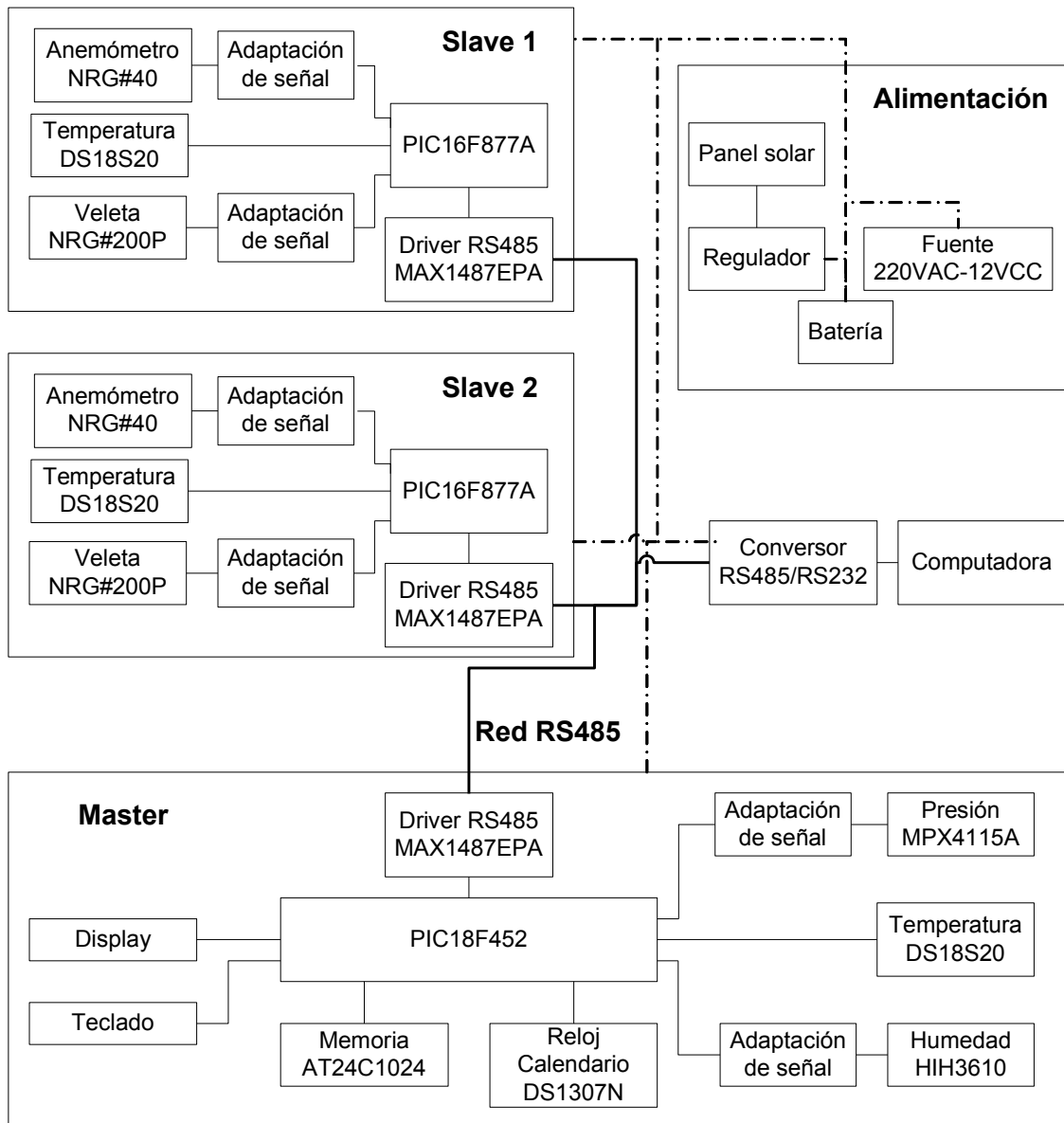


Figura 5. Esquema general de la estación anemométrica

En la Figura 6 se muestran las placas construidas, los sensores, un abrigo meteorológico y la batería.



Figura 6. Placas de la estación anemométrica con los sensores, abrigo meteorológico y batería

Para la elección de los componentes y sensores de esta estación anemométrica se tuvieron en cuenta las condiciones en las que el equipo debe permanecer operable. Por ello se buscaron en todos los casos componentes que operen en un rango de temperatura entre -40°C y 55°C siendo estas las temperatura que debe soportar la estación anemométrica. Otro punto importante al momento de elegir los componentes fue la disponibilidad en el mercado, preferentemente en Argentina, su costo, sus resoluciones y precisiones que deben ser iguales o mejores a las condiciones de diseño. También se consideró el tipo de tecnología necesaria para el montaje y puesta en marcha, por ejemplo, que los componentes no sean de montaje superficial, ya que no se cuenta con las herramientas necesarias para soldar estos componentes. Finalmente se buscó que los rangos de tensiones de los componentes fueran compatibles entre sí.

A continuación se describen las características tomadas en cuenta de los componentes más importantes del sistema a construir dando una breve explicación del proceso de selección de los mismos.

2.2.1 *Microcontroladores*

Para definir el microcontrolador a usar se establecieron ciertas condiciones que debía cumplir el candidato ya que por los sensores elegidos y el tipo de arquitectura éstas eran fundamentales. Hay otras características que ayudaron a la decisión que no son totalmente técnicas pero que optimizan el tiempo de diseño como la disponibilidad de los componentes en el mercado y el asesoramiento especializado.

Seguidamente se dan las condiciones que debía cumplir el microcontrolador.

Convertidores A/D. Debido a la resolución necesaria para la medición de la presión, humedad y dirección del viento, los convertidores A/D debían ser de al menos *10 bits*.

Módulo SPI e I²C. Algunos sensores utilizan estos protocolos para entregar la información. Un microcontrolador con alguno o ambos módulos implementados facilitaba la adquisición de los datos de estos sensores, además de ampliar las posibilidades de elección del sensor.

Módulo de captura. Éste era necesario para detectar frecuencias variables de los sensores para medir la velocidad del viento.

Módulo para comunicarse a PC. La conexión con la PC se hace a través del puerto serie, el cual utiliza RS232, y se deseaba que el microcontrolador tuviera un módulo semejante para comunicarse con este protocolo.

Memoria de programa. Si bien se desconocía cuánto ocuparía el programa al finalizar el desarrollo, se deseaba que el espacio no fuera un limitante, por lo tanto se eligió el de mayor capacidad entre microcontroladores de características semejantes. Una vez finalizado el prototipo podría buscarse un microcontrolador compatible al elegido que tuviera prestaciones

más a medida. También se buscó que la cantidad de ciclos de lectura-escritura fuera elevada y el tiempo de grabación el menor posible.

Otras características importantes. Muchas de las características que se deseaban no eran del tipo técnico. Por esta razón, al momento de la elección del componente, se tuvo en cuenta que existiera información técnica disponible, que hubiera asesoramiento técnico, que se consiga en comercios del rubro, que se pudieran hacer herramientas para grabarlo, que se conociera la marca y que se tuviera experiencia previa con algún microcontrolador semejante en su lenguaje de programación.

Luego de evaluar varios microcontroladores de diferentes empresas como Motorola y Microchip se decidió usar el PIC16F877A de Microchip por ser el que cumplía mejor con todas las características. Luego, para la implementación del Master se usó el PIC18F452, compatible pin a pin con el PIC16F877A pero con el doble de memoria de programa entre otras cosas.

A continuación se describen brevemente algunas de las características de estos microcontroladores.

El PIC16F877A posee *8Kx14 words* de memoria de programa flash (*32 Kbytes* el PIC18F452), *368 bytes* de memoria RAM (*1536 bytes* el PIC18F452), *256 bytes* de memoria EEPROM, protección de código programable, funcionamiento en un rango de temperatura de -40°C a 85°C en su versión industrial, alimentación entre 2V y $5,5\text{V}$, tres timers (cuatro el PIC18F452), dos módulos de captura, conversor analógico digital de *10 bits*, módulo I²C [18], módulo USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter), 14 fuentes de interrupción, entre otras. En los Capítulos 5 y 6 se trata en profundidad el uso que se le da a cada uno de los módulos del microcontrolador en la implementación de la estación anemométrica.

Cabe destacar que para grabar los microcontroladores se utilizó *ICPROG* [52]. Esta aplicación, emplea el puerto serie de la PC y un hardware externo simple para grabar los programas compilados en los microcontroladores. La compilación de los programas se hizo con la aplicación *PCWC Compiler IDE* [53] que permite escribir las rutinas en lenguaje C. Se decidió escribir en este lenguaje, en lugar de utilizar assembler, debido a la facilidad con la que se realizan las operaciones matemáticas complejas y en punto flotante.

2.2.2 Reloj-Calendarario

Una de las condiciones de diseño establecida es que el equipo siga funcionando luego de que se haya perdido la energía por un lapso de tiempo determinado. En esta situación el microcontrolador pierde la noción del tiempo y por ello se debe usar un dispositivo que entregue información del tiempo y pueda mantener la fecha y hora aunque ocurra una falta de energía al sistema. En el mercado existen muchos tipos de reloj-calendarario pero se eligió uno que disponga de algún protocolo conocido y que el microcontrolador lo tenga incorporado.

El DS1307 de la empresa Dallas-Maxim [19] es un reloj-calendarario de tiempo real de bajo consumo que provee día, mes, año, hora, minutos y segundos en formato BCD (Binary-Coded Decimal) a través del protocolo serial I²C [18]. Tiene corrección de fecha para años bisiestos y cuenta con la capacidad de conmutar automáticamente cuando falla la alimentación, a una batería de 3V de litio para mantener la configuración y la hora. En esta situación el DS1307 funciona en un modo de bajo consumo ($<500nA$). La precisión depende del cristal que es sensible a los cambios de temperatura. Este dispositivo cuenta con una señal de salida de onda cuadrada configurable a frecuencias submúltiplos del cristal de referencia de 32768Hz que se habilita mediante el bit SQWE del registro de control. En la Tabla 2 se muestra este registro junto a los demás que integran la memoria del DS1307. Las frecuencias de salida pueden ser de 1Hz, 4096Hz, 8192Hz o 32768Hz y se seleccionan a través de los bits

RS0 y RS1. Dicha señal se utiliza como referencia en el control de tiempos de adquisición del microcontrolador Master que se explica en la Sección 5.4.

Tabla 2. Registros del reloj-calendario

Dirección	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0	Función	Rango
0x00	CH	Segundos (d)			Segundos (u)			Segundos	00-59	
0x01	0	Minutos (d)			Minutos (u)			Minutos	00-59	
0x02	0	12	10 horas	Horas (d)	Horas			Horas	1-12+AM/PM	
		24	AM/PM							00-23
0x03	0	0	0	0	0	Nº Día		Nº Día	01-07	
0x04	0	0	Días (d)		Días (u)		Día	01-31		
0x05	0	0	0	Meses (d)	Meses (u)		Mes	01-12		
0x06	Años (d)			Años (u)			Año	00-99		
0x07	OUT	0	0	SQWE	0	0	RS1	RS0	Control	-----
0x08-0x3F								RAM 56x8	0x00-0xFF	

El DS1307 puede ser configurado y leído dándole las ordenes y valores en formato BCD a través de una secuencia de comandos transferidos sobre el protocolo de comunicaciones I²C. La transferencia de datos desde el microcontrolador al reloj-calendario se denomina modo de escritura y se muestra en la Figura 7. Cuando se escribe un byte en el reloj-calendario, se incrementa un puntero automáticamente por lo que el próximo dato se escribe a continuación de la última posición escrita.

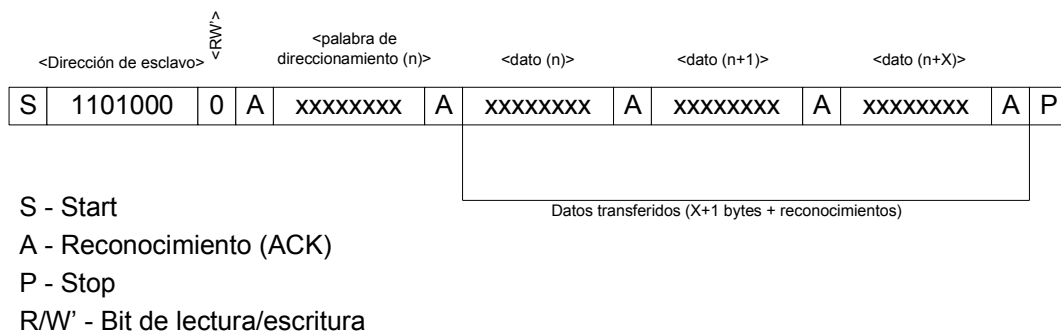


Figura 7. Ciclo de escritura del reloj-calendario

En la Figura 8 se muestra un ciclo de lectura en el que se observa el pedido de datos del Master y la respuesta del reloj-calendario. Cuando se realiza un ciclo de lectura se lee el dato que está apuntando el puntero en ese momento. Para poder leer los datos de un determinado registro, previo a realizarse el ciclo de lectura debe efectuarse un proceso de escritura para posicionar el puntero en el registro que se quiere leer.

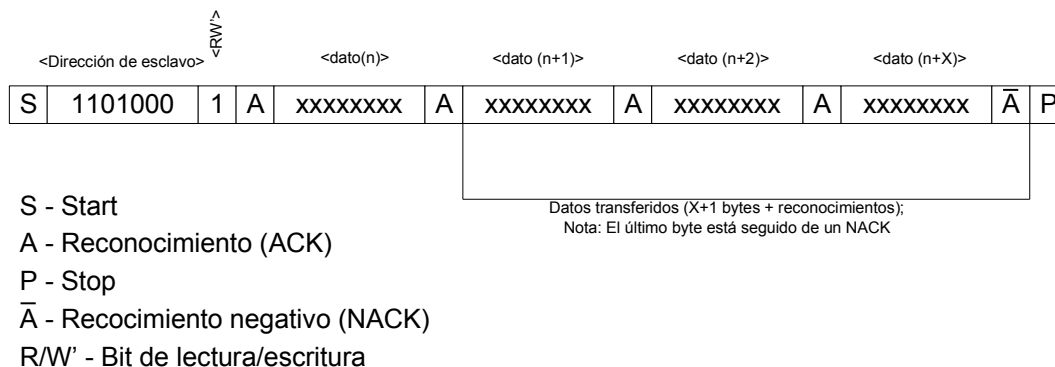


Figura 8. Ciclo de lectura del reloj-calendario

2.2.3 Memoria

Mantener los datos almacenados de modo seguro es una condición importante para el diseño de este prototipo, por ello la elección de la memoria debe ser adecuada. En la memoria se buscó que la capacidad de almacenamiento sea suficientemente grande como para lograr una autonomía de alrededor de dos meses guardando datos cada diez minutos. Se intensificó la búsqueda en memorias no volátiles para que la información se mantenga aún en ausencia de alimentación y que las mismas cuenten con un protocolo de lectura-escritura que esté disponible en el microcontrolador, como SPI o I²C. También se analizó la posibilidad de utilizar memorias USB pero se descartó por no contar con este protocolo en el microcontrolador seleccionado.

Luego de la búsqueda se decidió utilizar memorias AT24C1024 de la empresa ATMEL [15]. Estas memorias regrabables EEPROM operan con tensiones entre 2,7V y 5,5V, y a temperaturas entre -55°C y 125°C. Cuentan con 1.048.576 bits organizados en

512 páginas de 256 bytes cada una y utilizan el protocolo I²C para la lectura y escritura. Además pueden colocarse hasta dos dispositivos en un solo bus de comunicaciones. Esta memoria tiene un pin para la protección de escritura. Cuando se coloca este pin a Vcc, la memoria queda operando en modo sólo lectura.

Para direccionar la memoria se requiere que luego de enviar una condición de start, se envíe un byte con la dirección de dispositivo que ocupa 7 bits, el octavo es un bit que indica si se va a leer o escribir.

La memoria se puede escribir por byte o por página. En la Figura 9 se muestra el ciclo de escritura por byte mientras que en la Figura 10 se muestra el ciclo de escritura por página. Para leer la memoria, en este proyecto, se usa el ciclo de lectura secuencial mostrado en la Figura 11, sin embargo, la memoria puede ser leída también mediante un ciclo de lectura aleatoria.

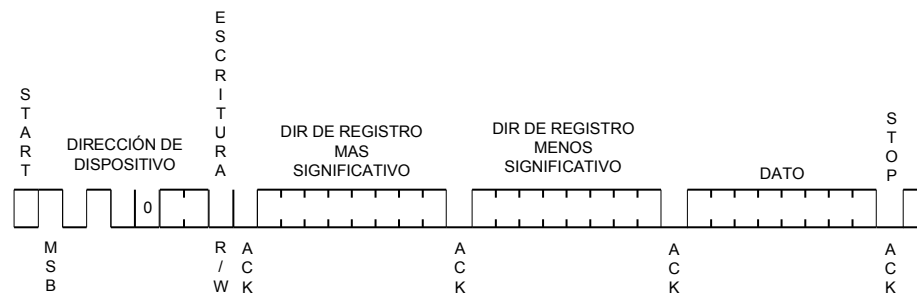


Figura 9. Ciclo de escritura por byte

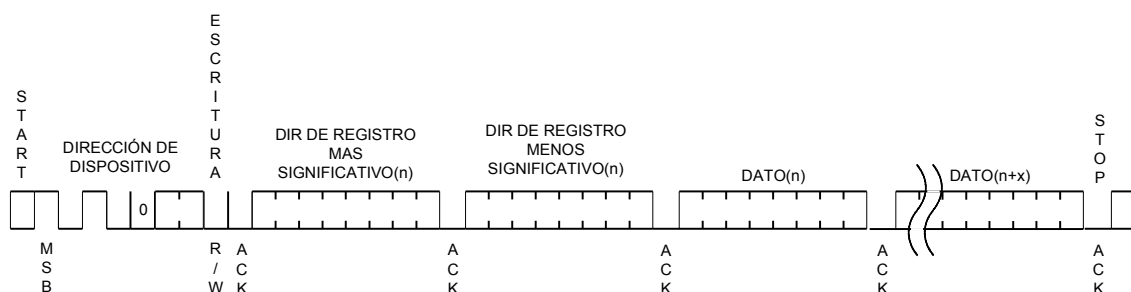


Figura 10. Ciclo de escritura por página

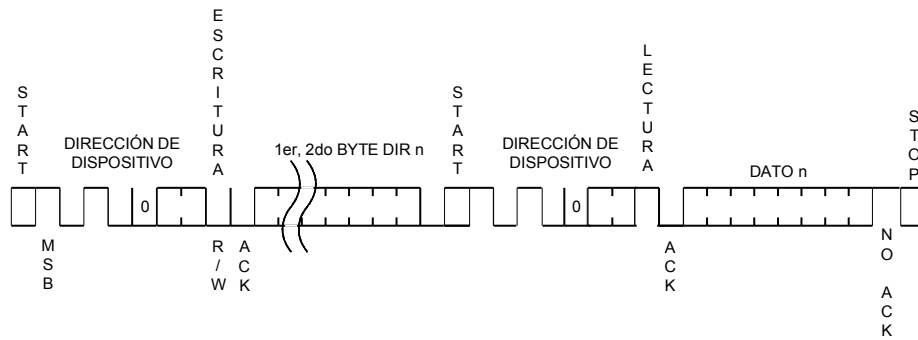


Figura 11. Ciclo de lectura secuencial

2.2.4 Red RS485

La implementación de la red de la estación anemométrica cumple con las especificaciones del estándar EIA/TIA-485 también conocido como RS485 el cual permite conectar más de un dispositivo en un bus balanceado de dos hilos. En un par de cables balanceado la corriente en los conductores respecto a tierra es igual y de sentido opuesto. Una de las ventajas es que las interferencias por ruido de modo común que se inducen en ambos cables se cancelan. Para operar en el modo balanceado, ninguno de los cables debe estar con potencial a tierra.

Se usa un par de cables trenzados para reducir la interferencia entre los pares debido a la inducción mutua. Además del par trenzado, el estándar establece que se debe colocar un tercer cable común a todos los dispositivos conectado a la tierra de protección. La conexión se realiza preferentemente en un solo punto que generalmente se elige cercano al Master.

En la Figura 12 se muestra la topología de la red RS485 y el conexionado a los diferentes dispositivos que forman parte de la estación anemométrica.

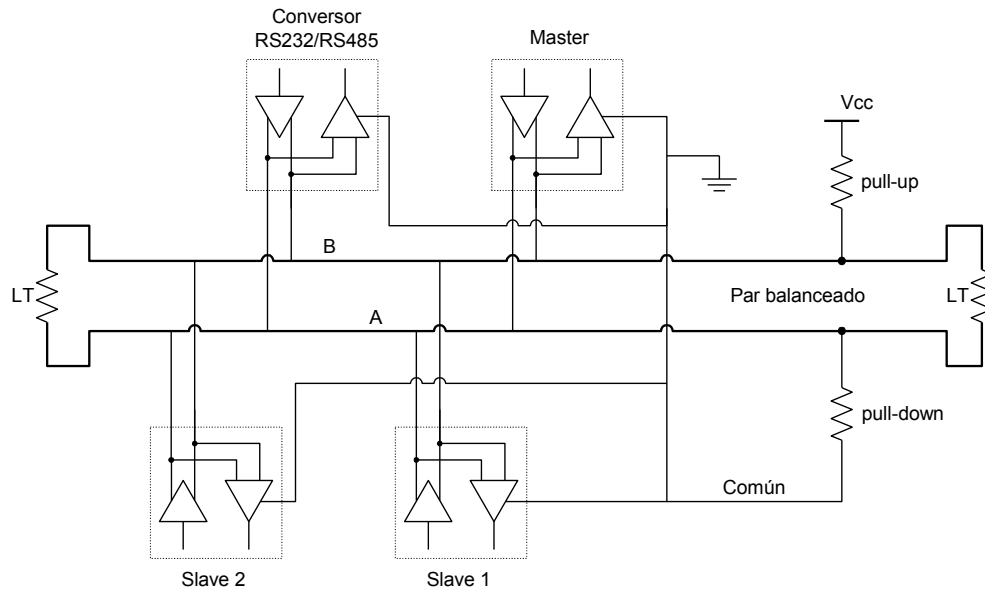


Figura 12. Topología de la red RS485

El estándar también especifica que deben colocarse dos terminadores de línea (LT), uno en cada extremo del bus, para evitar reflexiones en la transmisión causadas por desadaptaciones de impedancia. Los terminadores se conectan entre los dos conductores del par balanceado y tienen un valor de 120Ω ($0,25W$). Cuando no hay actividad en la red, el par balanceado es susceptible a ruido externo o interferencias por lo que es necesario polarizar la línea. Para esto se conecta una resistencia de pull-up a $5V$ y una resistencia de pull-down a masa. Los valores de estas resistencias son entre 450Ω y 650Ω y se colocan en un solo punto de todo el bus cercano al Master.

El driver elegido para implementar la red RS485 es el MAX1487 [21] de la empresa Dallas-Maxim por su bajo consumo, menor a $1mA$. Otros dispositivos que cumplen la misma función consumen más de $30mA$, como por ejemplo el DS75176 [20].

La función que realizan este tipo de drivers, es la de poder conectar un trancceptor que trabaja en modo desbalanceado con niveles de $0V$ a $5V$, como la USART del microcontrolador, a la red RS485, que trabaja en modo balanceado.

2.2.5 Conversor RS232/RS485

El estándar RS232 utiliza una línea de transmisión desbalanceada donde el nivel de tensión para un “1” lógico va desde $+8V$ a $+12V$ mientras que el “0” lógico va desde $-8V$ a $-12V$. Además este protocolo utiliza diferentes cables para la transmisión y la recepción. La red RS485 en cambio es una red de dos hilos donde se comparten los mismos para transmitir y recibir los datos. Los niveles de tensión de esta red son diferenciales dando esto una de las mayores ventajas que es la inmunidad al ruido de modo común.

El conversor RS232/RS485 permite la conexión de la PC, que se comunica a través de RS232, a la red RS485 de la estación anemométrica. Dicho conversor cuenta con detección de transmisión automática para aplicaciones de dos hilos y tiene LED indicador de recepción de datos. En la Figura 13 se muestra un esquema simplificado del conversor.

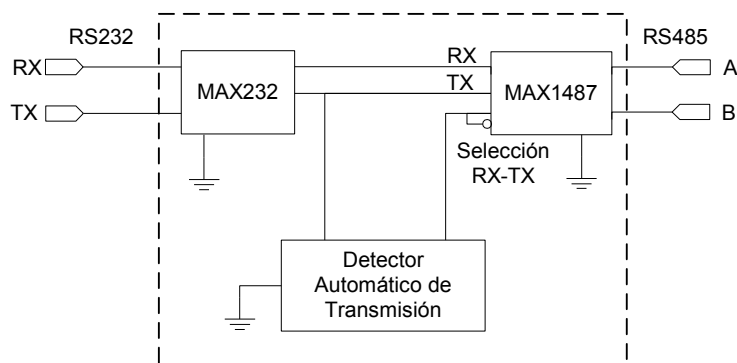


Figura 13. Esquema del conversor RS232/RS485

Para poder interconectar la RS232 con la RS485, se utiliza un MAX232 de la empresa Dallas-Maxim que adapta los niveles de tensión del RS232 a valores de $0V$ y $5V$, manteniendo desbalanceada la línea. Para realizar la conversión de la línea, con los niveles ya adaptados, a balanceada, se utiliza el MAX1487 explicado en la Sección 2.2.4. Este dispositivo cuenta con

dos pines complementarios que permiten seleccionar la dirección en que fluye la información. Así se puede conmutar el driver para transmitir o recibir desde la red RS485.

Por último un circuito de detección automática de transmisión, detecta cuando se envía información desde la PC y habilita al MAX1487 para que la información fluya hacia la red RS485. Por defecto el driver se encuentra configurado para recibir información desde la red RS485.

2.2.6 Display de cristal líquido

Como condición de diseño se estableció que el operario pueda interactuar con la estación anemométrica a través de un teclado y un display. Si bien existen muchas maneras de mostrar que tipo de acción se está realizando al pulsar los botones, se decidió que la información se muestre de una forma amena. Por ello se buscó un Display inteligente de cristal líquido (LCD) alfanumérico de veinte caracteres y dos líneas de impresión.

El display elegido es el WH2002A-YGB-ST de la compañía Winstar [48] el cual tiene backlight de color verde y cuenta con regulación de contraste para los caracteres. Mantiene los datos en memoria por lo que sólo es necesario enviar la información una sola vez, los datos se transmiten a través de ocho o cuatro hilos y se utilizan además tres hilos como bus de control.

2.2.7 Batería, panel solar y regulación de carga

La estación anemométrica tiene un consumo de aproximadamente $40mA$ en funcionamiento normal, el cual se incrementa a $120mA$ cuando se presionan los botones porque se enciende el backlight del display. Este consumo es elevado para utilizar sólo una batería como fuente de energía ya que para lograr la autonomía deseada (*2 meses*) la misma debería ser de gran capacidad. Para reducir la capacidad de la batería, y con ello el tamaño,

sin perder autonomía es necesario incorporar una fuente secundaria de energía. Por ello se decide utilizar un panel solar.

El panel solar seleccionado es un panel marca Solartec de 32 *celdas* de silicio monocristalino conectadas en serie. Tiene una tensión de vacío de 18V y entrega una corriente de cortocircuito de 360mA en condiciones de iluminación estándar ($1000W/m^2$). Se puede utilizar cualquier panel solar siempre que las tensiones que entregue sean mayores a la tensión de la batería y que la corriente generada en un día (solo genera mientras hay sol) sea mayor a la corriente total consumida en 24hs. Estas condiciones deben tenerse en cuenta para que el balance energético diario sea positivo, es decir, que la energía no usada se acumule en la batería para utilizarla en los momentos en los que no hay sol.

Se optó por una batería de Plomo-ácido de electrolito gelificado con una capacidad de 7Ah. Con esta capacidad se consigue una autonomía de aproximadamente 7 días si la misma no recibe carga de ningún tipo. El tipo de batería seleccionada tiene características que cubren las necesidades requeridas en instalaciones solares ya que pueden funcionar en forma cíclica. Al mismo tiempo puede funcionar como fuente secundaria cuando la estación anemométrica se conecta a la red de 220V dado que tiene buenas prestaciones en sistemas de backup y stand-by. La Figura 14 muestra una foto de la placa, panel solar y batería.

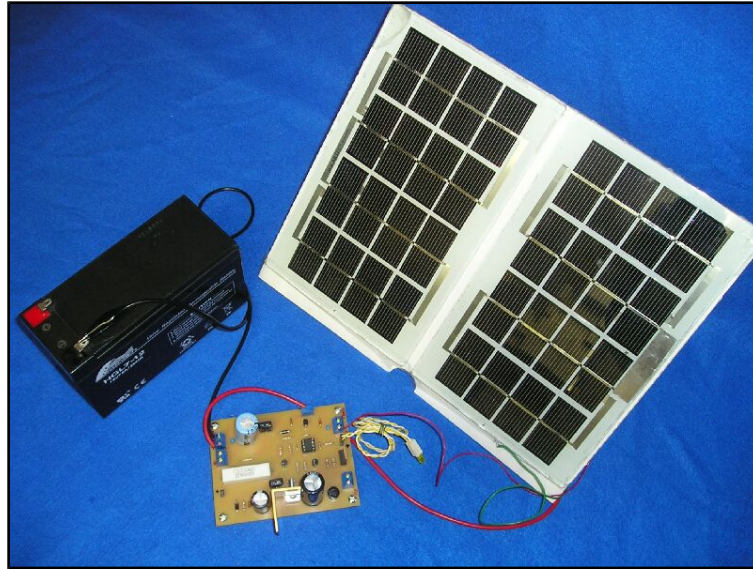


Figura 14. Batería, panel solar y regulador de carga

Para limitar la carga de la batería se usa un circuito regulador como se muestra en el esquema de la Figura 15. Este circuito cuenta con un comparador con histéresis que compara entre una tensión de referencia V_{ref} y la tensión V_I proporcional a la tensión de batería dada, por un divisor resistivo. Mientras la tensión de la batería es menor a $13,8V$ el comparador entrega a su salida $0V$ por lo que el MOSFET no conmuta. En esta situación la corriente entregada por el panel solar es inyectada a la batería a través del diodo. Cuando la batería alcanza el nivel de carga deseado el comparador conmuta disparando el MOSFET que pone en cortocircuito al panel solar. Así el transistor que alimenta al comparador se abre desconectando la alimentación del regulador que queda alimentado un tiempo por un capacitor. Cuando el capacitor se descarga, el MOSFET se abre y el panel vuelve a alimentar la base del transistor a través del diodo LED, saturando el transistor y volviendo a repetir el ciclo. De esta manera el LED permanece intermitente mientras la batería está cargada. Cuando la batería está descargada y el panel iluminado, el LED permanece encendido y la batería en carga. Si el panel no está iluminado no se alimenta la base del transistor y se desconecta el circuito regulador, así el circuito no consume energía de la batería. En esta

situación el diodo queda polarizado en inversa, impidiendo que la batería se descargue a través del panel solar quedando el LED apagado.

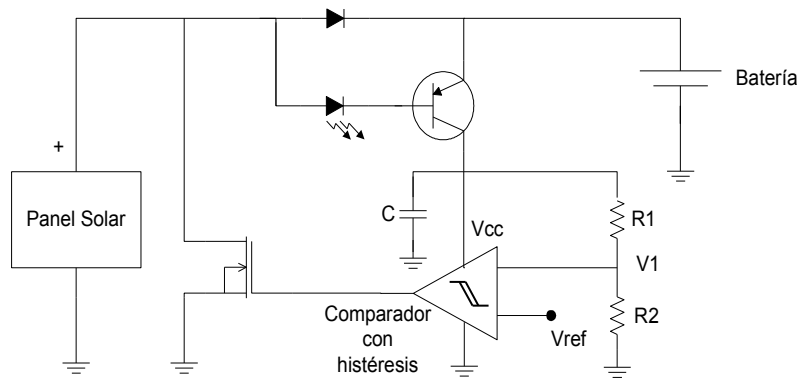


Figura 15. Esquema sintético del circuito regulador

2.2.8 Fuente de 220VAC-12VCC y cargador de batería

Si bien la estación anemométrica está diseñada para trabajar en sitios aislados, se decidió incorporar una fuente de tensión de 220VAC-12VCC para poder alimentar la estación directamente desde la red eléctrica domiciliaria. Esta fuente de tensión además cumple la función de cargador de batería.

En la Figura 16 se muestra una fotografía de la placa de la fuente de alimentación con su respectivo transformador y batería, mientras que en la Figura 17 se muestra el diagrama en bloques de la misma.

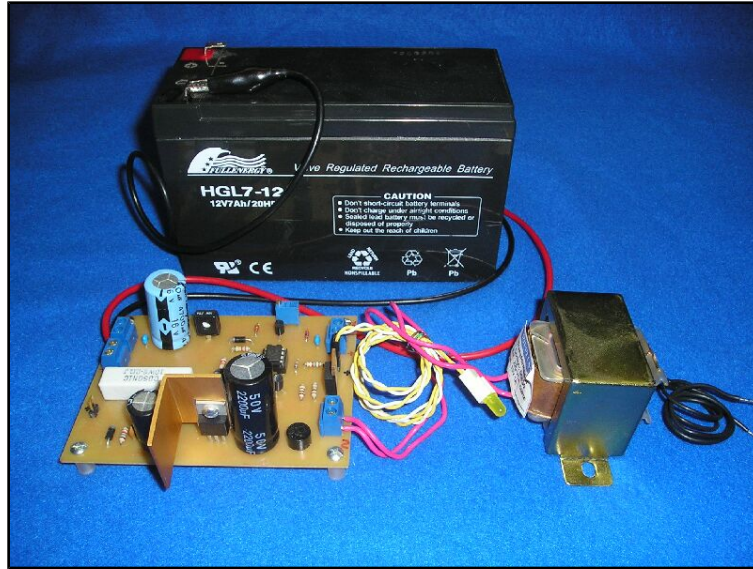


Figura 16. Fuente de 220VAC-12VCC y cargador de batería

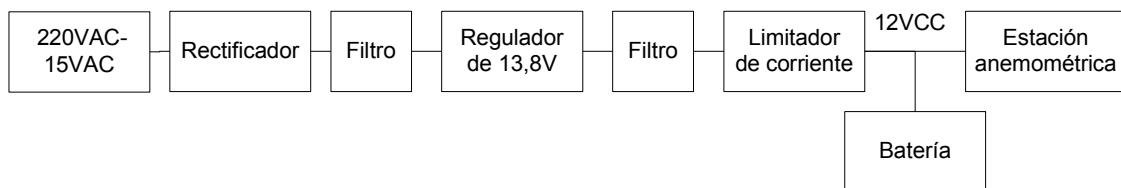


Figura 17. Diagrama en bloques de la fuente de alimentación

Luego de reducir los $220V$ de alterna mediante un transformador y convertirla a continua a través del rectificador, se elimina el riple por medio del filtro obteniéndose una tensión continua de aproximadamente $21V$. Esta tensión se regula luego a $13,8V$ y se filtra para eliminar el ruido.

Cuando la batería está descargada tiene una tensión menor a $12V$. Si se conecta la estación anemométrica a la red, la batería absorbe mucha corriente por lo que resulta necesario limitarla.

Si la estación anemométrica está conectada a la red, la batería funciona como sistema de backup.

La fuente de 220VAC-12VCC, el cargador de batería y el regulador de carga del panel solar se integran en un único circuito impreso (PCB) que se realizó con el software Protel 99 SE. En la Figura 18 se observa una vista reflejada del PCB mencionado.

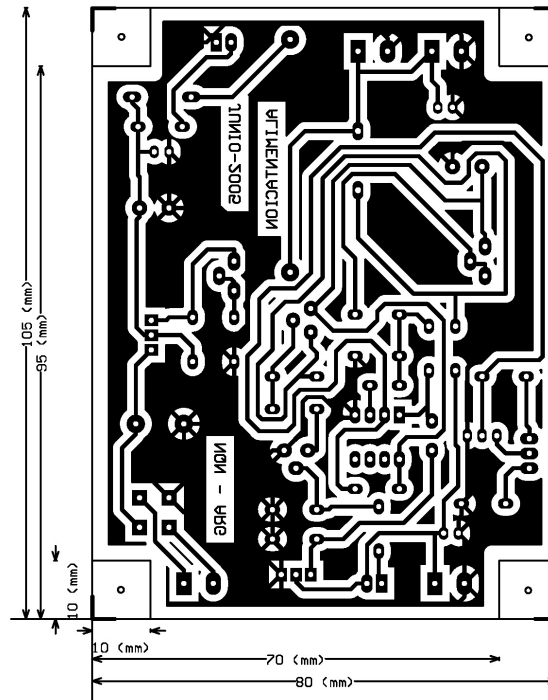


Figura 18. PCB de la fuente de alimentación y regulador de carga

2.2.9 Sensores

Como el equipo a desarrollar es una estación anemométrica, los sensores son una parte importante y se les debe prestar especial atención. En todos los casos se buscó usar dispositivos que cuenten con la etapa de adaptación de señal integrada y la entreguen de tal forma que pueda ser inyectada directamente al microcontrolador. En el caso de señales digitales se buscó, en lo posible, que el sensor contara con un protocolo que estuviera disponible en el microcontrolador. En el caso de señales analógicas se buscó que los niveles de tensión fueran adecuados para el convertor A/D del microcontrolador.

En esta sección se hace una breve introducción de los sensores utilizados y en el Capítulo 3 se tratan los mismos y su adaptación de señal con mayor profundidad.

Tabla 3. Clasificación de distintos tipos de estaciones anemométricas

Variable		Usos		
		Hogareña	Prospección eólica	Científica
Velocidad del viento	Nro. de sensores	1	2	3 o más
	Rango	0 a 78,3 m/s	0 a 78,3m/s	0 a 142,2m/s
	Resolución	0,5m/s	0,1m/s	0,01m/s
Dirección del viento	Nro. de sensores	1	2	3 o más
	Rango	0 a 360°	0 a 360°	0 360°
	Resolución	16 rumbos	1 a 10°	1°
Temperatura	Nro. de sensores	1	2	4 o más
	Rango	-45°C a 60°C	-45°C a 60°C	-45°C a 60°C
	Resolución	0,5°C	0,1°C	0,01°C
Presión atmosférica	Nro. de sensores	1	1	1
	Rango	600 a 1080hPa	600 a 1080hPa	600 a 1080hPa
	Resolución	1hPa	0,1hPa	0,1hPa
Humedad relativa	Nro. de sensores	1	3	3 o más
	Rango	0 a 100%	0 a 100%	0 a 100%
	Resolución	1 a 5%	0,1%	0,1%

Al momento de buscar sensores en el mercado se establecieron las condiciones basándose en el tipo de estación anemométrica a realizar. En la Tabla 3 se ven los rangos y las resoluciones de las variables medidas por equipos usados para diferentes fines, que se obtiene de la consulta a especialistas del LISAMET. Partiendo de estas pautas, inicialmente se buscaron sensores “listos para usar”, construidos especialmente para estaciones meteorológicas o anemométricas que ya están, incluso, montados para soportar las inclemencias del tiempo en abrigos meteorológicos tipo Stevenson.

Los abrigos meteorológicos (tipo Stevenson) evitan que la radiación solar y la lluvia perturben la medición de los sensores que están en su interior, además de permitir la libre circulación del aire. De esta manera se asegura que la medición de las variables se realice correctamente.

También se estudió la posibilidad de usar los elementos primarios de los sensores, realizar la adaptación de señal y la protección adecuada para los mismos construyendo los

abrigos meteorológicos. Finalmente, como ya se mencionó, se optó en general, por sensores con la adaptación de la señal integrada.

Para la medición de la temperatura se estudiaron elementos sensores como termocuplas, termopares, RTDs, y otros. Pero finalmente se decidió usar un sensor de estado sólido que entrega la señal en forma digital a través de un protocolo de comunicación. Este sensor es el DS18S20 de la empresa Dallas-Maxim [31].

Para medir la humedad relativa se optó por el sensor HIH3610 de la empresa Honeywell [30]. Este da un voltaje proporcional a la humedad relativa con niveles aptos para utilizar un conversor A/D.

Para la medición de la presión se escogió el MPX4115A de la empresa Motorola [34]. Este sensor está compensado para temperaturas entre -40°C y 125°C y tiene un rango de medición desde 150hPa a 1150hPa dando una variación de tensión desde $0,2\text{V}$ a $4,8\text{V}$. Además es ideal para ser usado con microcontroladores y para la medición de presión en estaciones meteorológicas.

La velocidad del viento se mide con anemómetros. Existen anemómetros de rotación, de placas de presión, de tubos de presión, que dependen de elementos calentados y ultrasónicos entre otros [12]. Se seleccionó el anemómetro NRG#40 de la empresa NRG [26]. Este es un anemómetro de rotación de eje vertical con tres coperolas de forma cónica y un generador de corriente alterna que entrega una señal que varía su frecuencia proporcionalmente a la velocidad.

Las veletas son dispositivos diseñados para medir la dirección del viento que poseen una parte móvil y un elemento transductor. La veleta que se eligió es la NRG#200P de la empresa NRG [28], la cual posee un potenciómetro de $10\text{K}\Omega$. El valor de la resistencia es proporcional a la dirección.

3. Sensores y adaptación de señal

3.1. Sensor de Temperatura

El DS18S20 [31] mide temperaturas de -55°C a 125°C , tiene una resolución de 9 bits ($0,5^{\circ}\text{C}$) y una exactitud de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Dicho sensor tarda en completar una conversión de temperatura aproximadamente 750ms . Realiza la medición y entrega el dato a través de un protocolo serie de un hilo llamado “1-Wire”. Este protocolo permite conectar más de un dispositivo al bus de comunicaciones aunque en este caso sólo se conecta un sensor directamente al microcontrolador. Tiene detección de errores a través de CRC (Cyclical Redundancy Checking) de 8 bits que permite realizar una medición más robusta. Este sensor, que se alimenta con tensiones de 3V a $5,5\text{V}$, realiza la medición y entrega el dato en forma serial sin tener que adaptarse la señal mediante un circuito externo.

Como el microcontrolador utilizado, no implementa este protocolo en hardware, se tuvo que programar el mismo por software. La secuencia utilizada para realizar una lectura de temperatura se muestra en la Tabla 4.

Tabla 4. Secuencia de lectura de la temperatura

Dato	Comentarios
Reset	El μC envía un pulso de Reset
Presencia	El DS18S20 responde con un pulso de Presencia
0xCC	El μC envía un comando de salto de ROM
0x44	El μC envía un comando de inicio de conversión de temperatura
Reset	El μC envía un pulso de Reset
Presencia	El DS18S20 envía un pulso de Presencia
0xCC	El μC envía un comando de salto de ROM
0xBE	El μC envía un comando de lectura del Scratchpad (memoria temporal)
9 bytes de datos	El μC lee todo el Scratchpad incluido el CRC

En la Tabla 5 se describe cada uno de los bytes del Scratchpad del sensor de temperatura.

Tabla 5. Descripción del Scratchpad del sensor de temperatura

Byte	Descripción
0	Byte más significativo de la temperatura
1	Byte menos significativo de la temperatura
2	Byte más significativo de la temperatura de alarma
3	Byte menos significativo de la temperatura de alarma
4	Reservado (0xFF)
5	Reservado (0xFF)
6	<i>COUNT_REMAIN</i> (0x0C)
7	<i>COUNT_PER_C</i> (0x10)
8	CRC

El DS18S20 tiene la salida calibrada en grados centígrados. La temperatura es almacenada como un número en complemento a dos con signo extendido en el registro de temperatura.

Una resolución mayor a *9 bits* puede ser calculada usando los bytes 6 y 7 del Scratchpad mediante la ecuación

$$TEMPERATURE = TEMP_READ - 0,25 + \frac{COUNT_PER_C - COUNT_REMAIN}{COUNT_PER_C},$$

donde *TEMPERATURE* es la temperatura corregida en °C, *TEMP_READ* es la temperatura obtenida con resolución *0,5°C* truncada al valor entero menor, *COUNT_PER_C* es un valor predefinido (*16*) que indica la cantidad de partes en la que se divide un grado centígrado (*una parte = 0,0625°C*). *COUNT_REMAIN*, es la cantidad de partes que faltan para llegar a *16* (un grado centígrado).

3.2. Sensor de Presión

El MPX4115A [34] está basado en un transductor piezo-resistivo y tiene integrado amplificadores operacionales y arreglos de resistencias para dar una señal de salida compensada térmicamente y preacondicionada. Es un sensor económico y con una precisión aceptable para este equipo. Su rango de medición va desde *150hPa* a *1150hPa*. Se alimenta

con tensión continua entre $4,85V$ y $5,35V$ siendo radiométrico en este rango. Tiene un error máximo de $\pm 15hPa$ entre $0^{\circ}C$ y $85^{\circ}C$ aunque funciona entre temperaturas de $-40^{\circ}C$ a $125^{\circ}C$ aumentando el error en este rango. Es ideal para aplicaciones con microcontroladores.

La Figura 19, muestra la tensión de salida versus la presión del sensor. Se da al mismo tiempo la función transferencia usada para obtener la presión medida P a partir de la tensión de salida V_{out} y de la tensión de alimentación V_s .

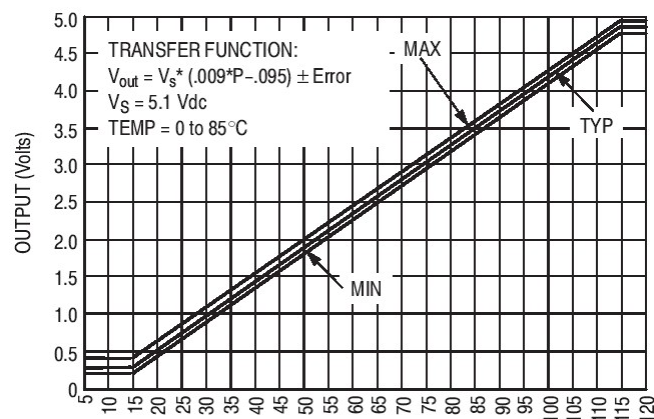


Figura 19. Curva característica del sensor de presión

Los microcontroladores con conversores A/D de 8 bits o superiores tienen una resolución tal que hace que deba tenerse en cuenta el ruido que es inherente al transductor piezo-resistivo. Este sensor tiene dos fuentes de ruido, la primera es ruido blanco dado por el flujo no uniforme de portadores en la unión y es independiente de la temperatura. La segunda fuente de ruido es el resultado de los defectos de la red cristalina de la oblea y es inversamente proporcional a la frecuencia, por lo que es más dominante en las bajas frecuencias. Además el ruido puede provenir desde otras fuentes externas al circuito. El transductor piezo-resistivo, genera ruidos del orden de los milivolts y es amplificado por el amplificador operacional integrado. Lo anterior hace que, en la salida, el ruido tenga un espectro que va de $500Hz$ a $1MHz$ y con un nivel de tensión tal que, en conversores A/D de 10 bits , afecten a los 2 o 3 bits menos significativos.

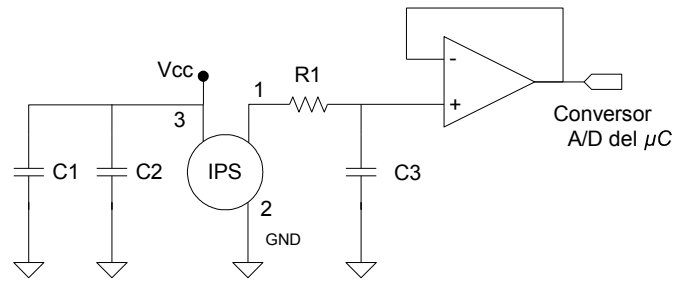


Figura 20. Circuito de adaptación de la señal del sensor de presión (IPS)

Para lograr estabilidad en los datos medidos se hace necesaria la realización de una adaptación de señal adecuada mediante el circuito de la Figura 20. Esta adaptación de señal se basa en una nota de aplicación del fabricante [35]. Se utilizan los capacitores C1 y C2 para filtrar el ruido de alta frecuencia de la fuente. Además a la salida (1) del sensor IPS se coloca un filtro pasa bajo (C3 y R1), con frecuencia de corte en 650Hz , para filtrar el ruido de bajas frecuencias. Finalmente se coloca un amplificador operacional rail-to-rail (permite hacer un uso completo del rango de tensión de alimentación en su salida) colocado como buffer con el objetivo de adaptar las impedancias con la entrada del conversor A/D del microcontrolador.

3.3. Sensor de Humedad

El H1H-3610 [30] opera en temperaturas de -40°C a 85°C , tiene un consumo de $200\mu\text{A}$ y una exactitud de $\pm 2\%$ en todo el rango ($0-100\%$). El sensor entrega la señal preacondicionada y da a la salida un voltaje proporcional a la humedad relativa. La función de transferencia a 25°C está dada por

$$V_{out} [V] = V_{supply} [V] (0,0062 \cdot HR_{sensor} [\%] + 0,16),$$

donde V_{out} es la tensión de salida del sensor entre $0,8\text{V}$ y $3,9\text{V}$, V_{supply} es la tensión de alimentación del sensor y HR_{sensor} es la humedad relativa dada en porcentaje.

La Figura 21 muestra como varía la medición de la humedad con la temperatura. Para realizar una medición más precisa debe utilizarse una función para compensar las variaciones por temperatura. La función usada es

$$RH[\%] = \frac{RH_{sensor}[\%]}{1,0546 - 0,00216 \cdot T[^\circ C]},$$

donde RH es el porcentaje de humedad relativa real o corregida, RH_{sensor} es el porcentaje de humedad relativa dada por el sensor y T es la temperatura ambiente instantánea medida en grados Celsius.

Para obtener señales con niveles de ruido despreciables se realizó un circuito de adaptación semejante al utilizado para el sensor de presión buscando las mismas prestaciones y resultados.

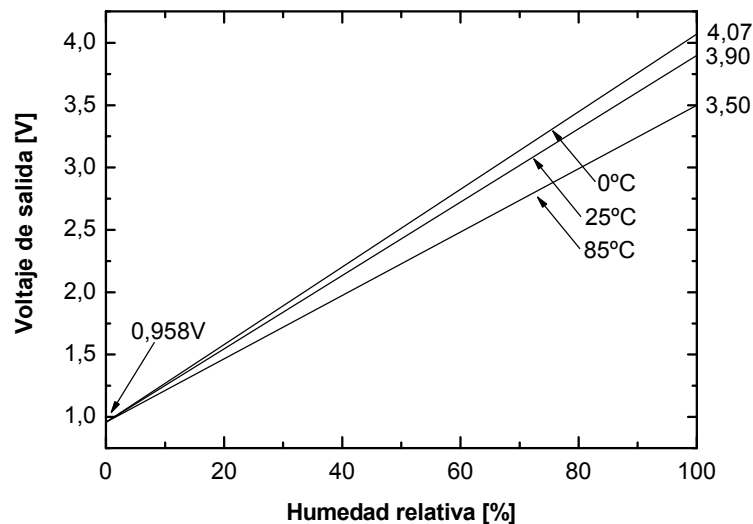


Figura 21. Voltaje de salida Vs. Humedad relativa a 0°C, 25°C y 85°C

3.4. Anemómetro

El NRG #40 [26] tiene un rango de medición entre $1m/s$ y $96m/s$ y su exactitud es de $0,1m/s$ en un rango de $1m/s$ a $25m/s$. El tipo de señal que entrega es una onda senoidal que varía su frecuencia proporcionalmente a la velocidad del viento con una función de transferencia

$$v[m/s] = 0,765 \cdot f[Hz] + 0,35,$$

donde v es la velocidad del viento medida en m/s , y f es la frecuencia medida en Hz . La frecuencia va desde $0Hz$ a $125Hz$.

Para entregar una señal adecuada se realiza una adaptación de señal que se explica a continuación.

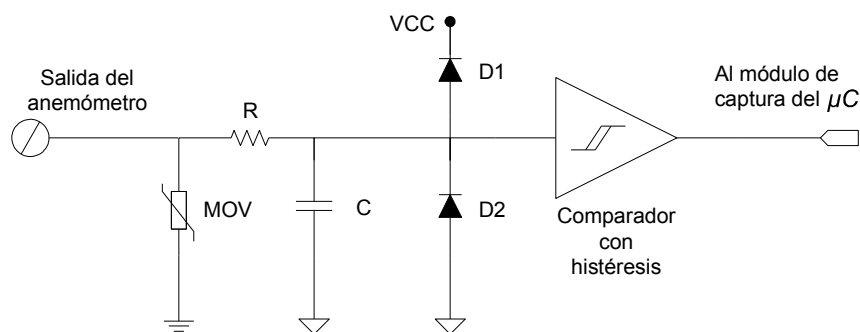


Figura 22. Circuito para adaptación de señal del anemómetro

El circuito de adaptación de la señal del anemómetro que se muestra en la Figura 22 está basado en una nota de aplicación del fabricante [27]. El varistor (MOV) cumple la función de proteger de sobre voltajes al sistema de medición ya que el sensor es susceptible a descargas electrostáticas. Se debe tener la precaución de que la masa de este componente esté a chasis. El filtro pasa bajos (R y C) elimina ruidos de alta frecuencia que pueden hacer disparar en falso el comparador. Los dos diodos (D1 y D2) limitan el nivel de la señal de entrada al comparador con histéresis. Esto es necesario ya que el anemómetro genera una tensión proporcional a la velocidad, alcanzando un máximo de $12V$ pico a pico para altas

velocidades. Finalmente se utiliza un comparador con histéresis con un doble propósito, generar una onda cuadrada a la salida y minimizar la posibilidad de que se considere la variación por ruido de la señal como un flanco.

3.5. Veleta

La NRG #200P [28] entrega una tensión proporcional a la dirección del viento a través de un potenciómetro plástico conductivo de $10K\Omega$ y su linealidad está dentro del 1% . Este sensor es radiométrico y se alimenta con tensión continua.

Para este sensor se realiza el circuito de adaptación de señal mostrado en la Figura 23 y está basado en una nota de aplicación del fabricante [29].

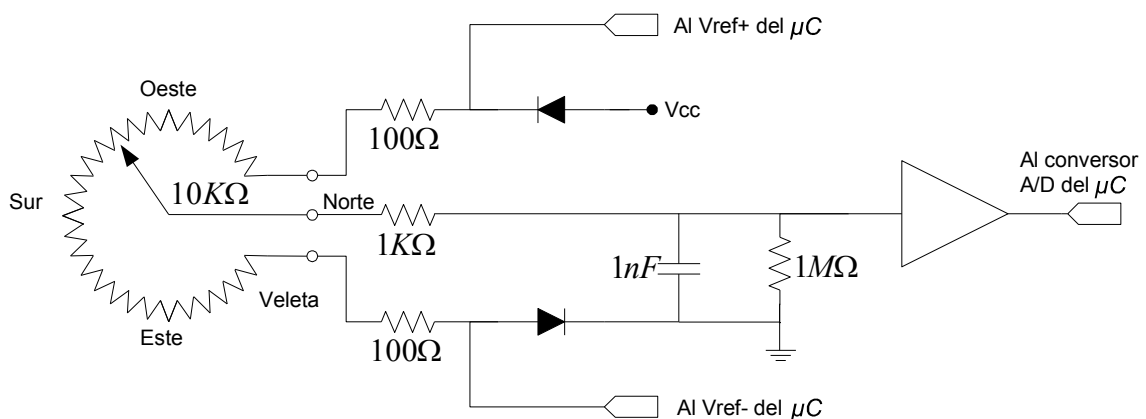


Figura 23. Circuito de adaptación de señal de la veleta

Dado que el potenciómetro es circular hay una pequeña región en la que el cursor del mismo no hace contacto eléctrico y se denomina deadband o zona muerta. El ancho máximo de la deadband es de 8° y el típico es de 4° . Agregando las resistencias de 100Ω como se ve en la Figura 23, se reduce levemente el rango del potenciómetro para compensar la deadband del sensor. Al mismo tiempo, estas resistencias evitan cortocircuitos directos en el caso de un problema en el cableado.

La resistencia de $1K\Omega$ se coloca para evitar cortocircuitos que causen daños por sobrecorriente en el sensor. Esta resistencia junto con el capacitor conforman un filtro pasa bajos para eliminar ruidos en la señal.

La resistencia a pulldown de $1M\Omega$ se coloca para asegurar que el conversor A/D del μC indique cero (Norte) cuando el cursor del potenciómetro está en la deadband. El valor de esta resistencia es grande para evitar que afecte a la lectura.

El amplificador operacional, conectado como buffer, cumple la función de adaptar las impedancias entre el sensor y el conversor A/D del microcontrolador.

Los diodos tienen como finalidad alimentar el potenciómetro con tensiones de aproximadamente $0,5V$ por encima de masa y por debajo de la alimentación de $5V$. Esto se hace para lograr que el amplificador operacional (rail-to-rail) no sature cuando en su entrada se coloquen valores de tensión cercanos a estos puntos.

3.6. Ruidos en la medición

Los ruidos pueden afectar la medición de los parámetros sensados en la estación anemométrica y pueden proceder del propio circuito como los transitorios en la alimentación o ruidos digitales. Por este motivo, se prestó especial cuidado en el diseño de los circuitos impresos considerando separar las masas analógicas de las digitales y colocar capacitores de desacoplo en las alimentaciones de los principales componentes. Sin embargo, las fuentes de ruido también pueden ser externas y acoplarse o inducirse sobre el propio sensor o sobre el cable que los conecta con el equipo. Estas fuentes de ruido pueden ser ruidos industriales, la propia red eléctrica o incluso emisiones de radio.

Para reducir todas estas influencias externas, una buena solución es el empleo de cables trenzados, con lo que se eliminan los ruidos en modo diferencial o el uso de cable apantallado. Hay que tener en cuenta que el apantallamiento, para que sea efectivo, debe

hacerse de tal manera para no añadir efectos indeseados, debidos a las tensiones generadas en los bucles de masa. Por regla general, las pantallas solo deben conectarse a masa en uno de los extremos como se muestra en la Figura 24.

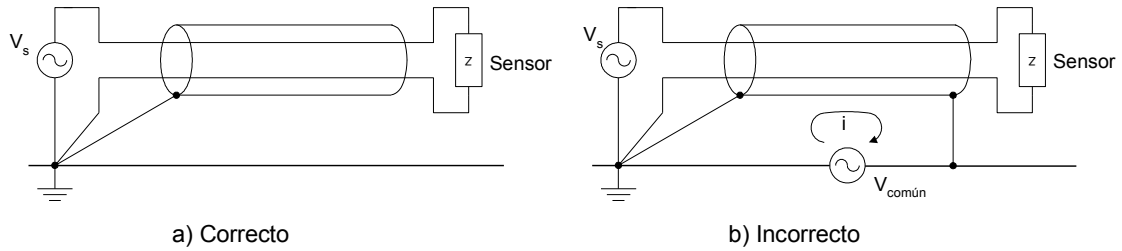


Figura 24. Conexión del cable apantallado de un sensor

4. El protocolo de comunicación

Para realizar el sistema mixto fue necesaria la implementación de una red que, mediante un protocolo, llevara adelante la comunicación entre el Master y los esclavos o entre el Master y la PC. Dicho protocolo tiene un esquema Master/Slaves, está montado sobre una red RS485 y la velocidad de transmisión es, en la mayoría de los casos, de *9600 baudios*. La transferencia de memoria externa a PC, que se explica en la Sección 5.7, se realiza a *19200 baudios*. El protocolo se desarrolló basándose en Modbus [24] [25].

A lo largo del capítulo se describen los tiempos involucrados en la transmisión, los campos de la trama y todos los detalles del protocolo llevado a cabo.

4.1. Unidad de información y enmarcado

El formato utilizado para la unidad básica de información es el usado por la USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) también conocida como SCI (Serial Communications Interface) del microcontrolador [3][4] que consiste de *11 bits* como se muestra en la Figura 25.

Start	0	1	2	3	4	5	6	7	Par	Stop
-------	---	---	---	---	---	---	---	---	-----	------

Figura 25. Formato de la unidad básica de información para el protocolo de transmisión

Cuando se habla de *byte* en esta tesis se hace referencia a la unidad de información recién descrita, ya que el contenido de información útil son los *8 bits* de datos enumerados del 0 al 7. En esta implementación se usa *paridad par*, aunque no se realice ninguna acción para el control de errores a este nivel.

Así como es necesario agrupar letras para formar palabras y que además estas palabras estén separadas entre sí, es necesario agrupar bytes en tramas y separarlas de alguna manera para que la información pueda ser entendida.

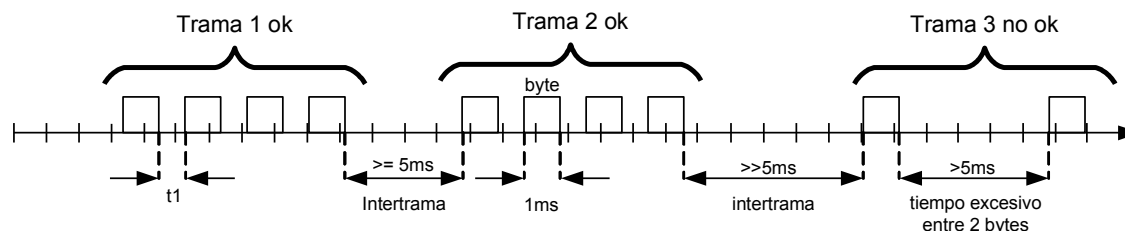


Figura 26. Tiempos involucrados en el protocolo

Para diferenciar dos tramas en el protocolo, se introducen intervalos de tiempo entre las mismas como se muestra en la Figura 26. El tiempo que lleva transmitir un byte por el medio físico es de aproximadamente $1ms$ si se transmite a 9600 baudios pero varía con la velocidad de transmisión. El tiempo entre bytes t_1 de una misma trama es del orden de los microsegundos. Para detectar que una trama ha finalizado deben transcurrir más de $5ms$ sin datos en el medio físico. Cualquier separación entre dos bytes que supere este tiempo se toma como intertrama. Si accidentalmente dos bytes de una misma trama se distancian más de este tiempo límite, se considera que finalizó una trama, quedando incompleta, y al momento de procesarla será descartada.

4.2. Esquema Master/Slaves

Un sistema de tipo Master/Slaves tiene un nodo (llamado Master) que envía comandos a uno de los nodos esclavos y procesa las respuestas. Los nodos esclavos no transmiten datos sin tener un pedido desde el Master y no se comunica con otros esclavos. La comunicación es siempre iniciada por el Master que envía pedidos a los esclavos de dos maneras:

- En el modo *unicast*, el Master envía un pedido a un esclavo. Después de recibir el pedido y procesarlo, el esclavo devuelve un mensaje de respuesta al Master.
- En el modo *broadcast*, el Master envía un mensaje a todos los esclavos. No se envían respuestas a los mensajes broadcast enviados por el Master. La dirección 0x00 está reservada para mensajes broadcast y deben ser aceptados por todos los esclavos.

4.3. Descripción de la trama del protocolo

La Figura 27 muestra la descripción general de la trama implementada y tiene el mismo aspecto tanto para los pedidos como para las respuestas.



Figura 27. descripción general de la trama implementada

El primer campo contiene la dirección del dispositivo al que se le envía el pedido o del que se recibe la respuesta. Cuando el Master envía un pedido, coloca la dirección del esclavo al que va dirigido. Cuando es una respuesta de un esclavo, éste coloca su propia dirección indicando al Master quien es el que responde al pedido. Si este campo contiene el valor reservado para mensajes broadcast todos los esclavos procesan la información pero no responden. En la Tabla 6 se dan los valores reservados en el protocolo y su significado.

Tabla 6. Valores reservados para los dispositivos del sistema

Código de dispositivo	Dispositivo
0x00	Código reservado para mensajes broadcast
0x01	Esclavo 1: se encuentra a la altura 1
0x02	Esclavo 2: se encuentra a la altura 2
0x04	PC

El *código de función* indica el tipo de acción a realizar. Este puede estar seguido de un campo de datos que contienen parámetros de pedido o respuesta. En la Tabla 7 se detallan todas las funciones implementadas en el protocolo.

Tabla 7. Lista de funciones implementadas en el protocolo

Código de Función	Descripción	Comentario
0x01	Inicio de medición	Indica a los esclavos que deben comenzar a registrar
0x02	Pedido de datos	Solicita a los esclavos la información registrada en configuraciones de intervalo distintas a 1seg
0x03	Sincronización de tiempos	Indica a los esclavos que deben reiniciar sus contadores de tiempo para sincronizarse con el Master
0x04	Datos del Master	Envía a la red los datos de la presión, temperatura y humedad registrados por el Master
0x05	Intervalo 1 segundo	Ordena a los esclavos que se configuren para trabajar con este intervalo de adquisición
0x06	Intervalo 1 minuto	
0x07	Intervalo 10 minutos	
0x08	Intervalo 30 minutos	
0x09	Intervalo 60 minutos	
0x0A	Detener adquisición	Ordena a los esclavos que dejen de adquirir
0x0B	Pedido de datos en intervalo 1 segundo	Pide a los esclavos que envíen una trama con los datos registrados durante un segundo
0x0C	Transferencia de memoria	Informa que la trama contiene datos extraídos de la memoria
0x0D	Error en la memoria	Informa que hay un error en el almacenamiento de los datos, que la memoria está vacía o que no está conectada
0x0E	Cancelar la transferencia de memoria	Informa al Master que el usuario canceló la transferencia desde la PC
0x0F	Pedido de configuración desde PC	El Master informa a la PC que va a configurarse con datos que se envíen desde la misma
0x10	Datos de configuración	La trama contiene los datos de la configuración de la estación anemométrica

Este protocolo incluye un campo de 2 bytes de chequeo de errores basado en el método de CRC (Cyclical Redundancy Checking) [24] de 16 bits aplicado al contenido de todo el mensaje (campos de Dirección, Función y Datos).

El campo de CRC se inserta al final del mensaje donde el byte de menor orden se agrega primero seguido del de mayor orden.

El valor del CRC lo calcula y lo inserta el dispositivo que envía el mensaje. El dispositivo que recibe el mensaje recalcula el CRC y lo compara con el valor real recibido en el campo CRC. Si los dos valores son distintos significa que ha ocurrido un error.

El primer paso para calcular el CRC es colocar en un registro de *16 bits* 0xFFFF. A este registro lo llamamos CRC16. Luego comienza a aplicarse el siguiente proceso a los sucesivos bytes del mensaje.

Durante la generación del CRC se realiza una OR exclusiva entre el contenido del registro y el primer byte del mensaje. Luego se rota en la dirección del bit menos significativo (LSB) poniendo un cero en la posición del bit más significativo (MSB). Se extrae el LSB y se examina. Si el LSB es un uno se realiza una OR exclusiva del registro con un valor predefinido (0xA001). Si el LSB es cero no se realiza la OR exclusiva. El proceso se repite hasta que se hayan efectuado ocho rotaciones. Luego de la última rotación, se hace una OR exclusiva del próximo byte del mensaje con el valor actual del registro CRC16 y el proceso se repite por ocho rotaciones más, como se mencionó anteriormente. El contenido final del registro, luego de haber aplicado el procedimiento a todos los bytes del mensaje, es el valor del CRC que se agrega a la trama.

4.4. Diagramas de estados del protocolo

A continuación se explica el funcionamiento de las comunicaciones mediante los diagramas de estados del Master y del Slave. En los mismos sólo se consideran las acciones tomadas en estos dispositivos respecto a la transferencia de la información, obviándose todas las otras tareas que el microcontrolador realiza mientras se encuentra en alguno de esos estados.

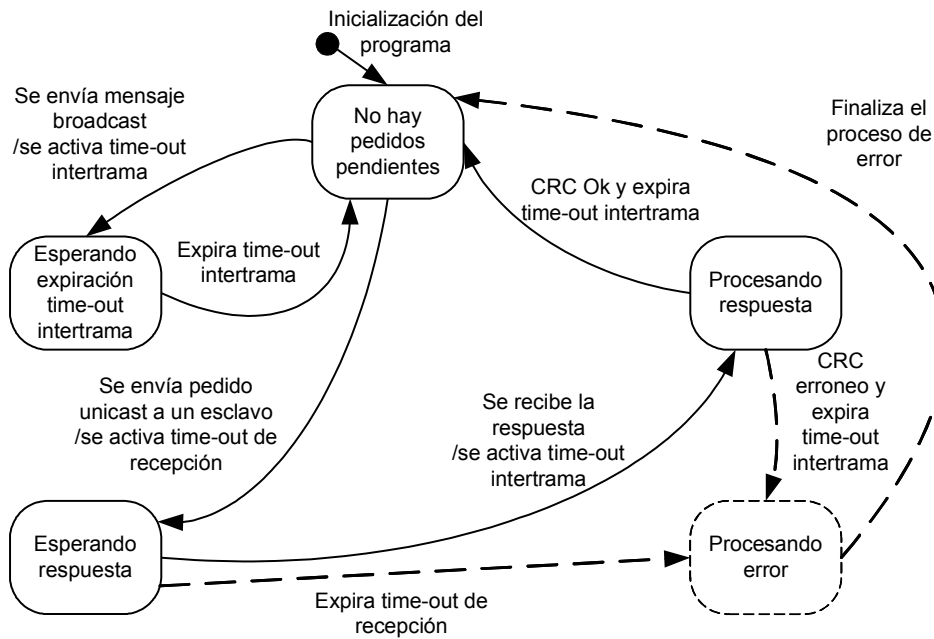


Figura 28. Diagrama de estados del protocolo del Master

En la Figura 28 se muestra el diagrama de estados del protocolo del Master. El estado “no hay pedidos pendientes” es el estado inicial. El μC Master se encuentra en este estado hasta que se envía un pedido unicast a uno de los esclavos o un mensaje broadcast. En el caso de un mensaje broadcast, el Master sólo espera que expire el time-out de intertrama (5ms), para respetar el formato del protocolo. En el caso de pedido unicast, se inicia un time-out de recepción. Puede ocurrir que la respuesta llegue sin errores, con errores, o que no llegue en el tiempo esperado. Si llega una respuesta, se analiza para determinar que esté libre de errores y se ejecutan las tareas que sean necesarias. Luego de que expira el time-out de intertrama, se finaliza el proceso. Si la trama contenía un error de CRC, se finaliza el proceso por error una vez que haya expirado el time-out de intertrama. Si la respuesta no llega antes de que expire el time-out de recepción, el proceso finaliza por error. En el caso que el proceso termine por un error, el sistema puede llegar a retransmitir el pedido.

Una de las particularidades del protocolo implementado es que, si bien utiliza un esquema Master/Slaves, el microcontrolador no espera respuesta a los mensajes unicast para

la transferencia de la memoria a la PC. Las razones por las que se realiza esta excepción se explican en la Sección 5.7.

Para hacer hincapié en el concepto de transmisión y recepción de mensajes se analizó el protocolo desde el punto de vista de tramas completas. Dentro de este esquema no se contempla el caso en el que un mensaje llega incompleto.

A un nivel mayor de detalle, el protocolo analiza las tramas byte por byte. Así cuando se recibe el primer byte de una respuesta, antes de que expire el time-out de recepción, se dispara un time-out de intertrama que se va reseteando a medida que llegan los sucesivos bytes de una misma trama. Si expira el time-out de intertrama antes de que se reciba el mensaje completo (ver trama 3 de la Figura 26), la trama se descarta.

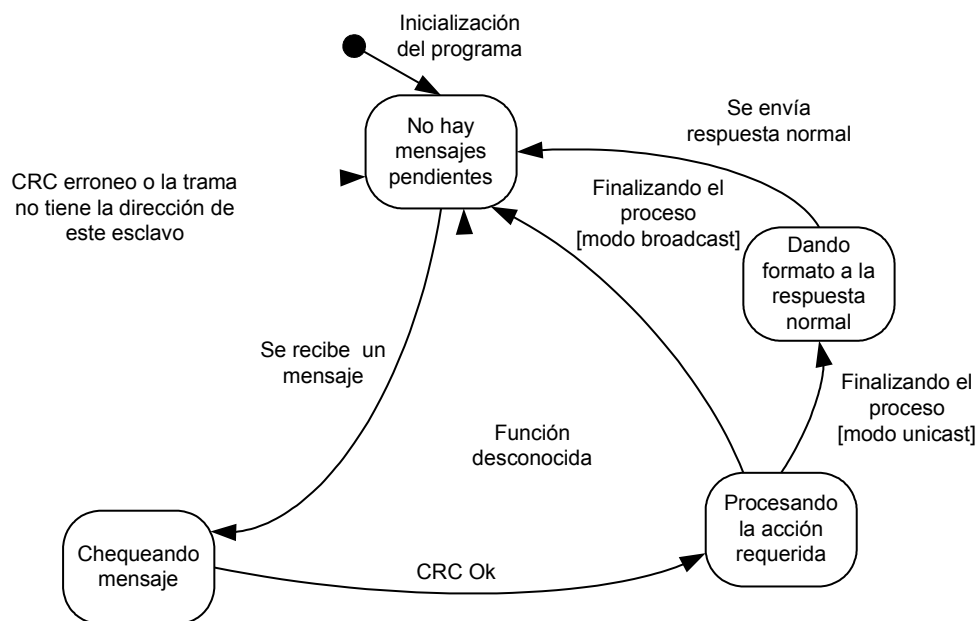


Figura 29. Diagrama de estados del protocolo del esclavo

La Figura 29 muestra el diagrama de estados del protocolo del esclavo. El esclavo por defecto se encuentra en el estado “no hay mensajes pendientes”. Cuando llega un mensaje lo analiza y si no contiene la dirección que le corresponde lo desecha y vuelve al estado “no hay

mensajes pendientes”. Otra posibilidad es que el mensaje contenga un error de CRC, entonces el esclavo lo descarta. Ahora bien, si el mensaje contiene la dirección correcta y supera el chequeo de errores, se procesa el mensaje realizando las acciones que correspondan y se finaliza el proceso, enviando una respuesta cuando así se requiera.

5. Master: software y hardware

El microcontrolador Master, PIC18F452 [4], es el cerebro de la estación anemométrica y cumple principalmente con la función de recolectar la información de las mediciones realizadas por los microcontroladores Slaves y almacenarla junto a las variables sensadas localmente. El almacenamiento se realiza en la memoria serial externa una vez por período y se le imprime fecha y hora para que quede establecido el momento en que se realizaron las mediciones, esto le da robustez a los datos almacenados.

Además de lo mencionado anteriormente el microcontrolador Master se encarga de establecer un vínculo con el usuario ya sea a través del LCD y teclado o de la PC, lleva control absoluto del tiempo basado en la señal externa del reloj DS1307 y sincroniza a los microcontroladores Slaves periódicamente. También realiza detección de errores y control de flujo en las comunicaciones con los dos microcontroladores Slaves y con la PC a través de la red RS485.

En la Figura 30 se muestra un diagrama en bloques del microcontrolador con sus principales módulos y periféricos, se indican también las correspondientes conexiones con los componentes externos. En las diferentes secciones a lo largo de todo el capítulo se irá describiendo el funcionamiento y uso de cada una de las partes.

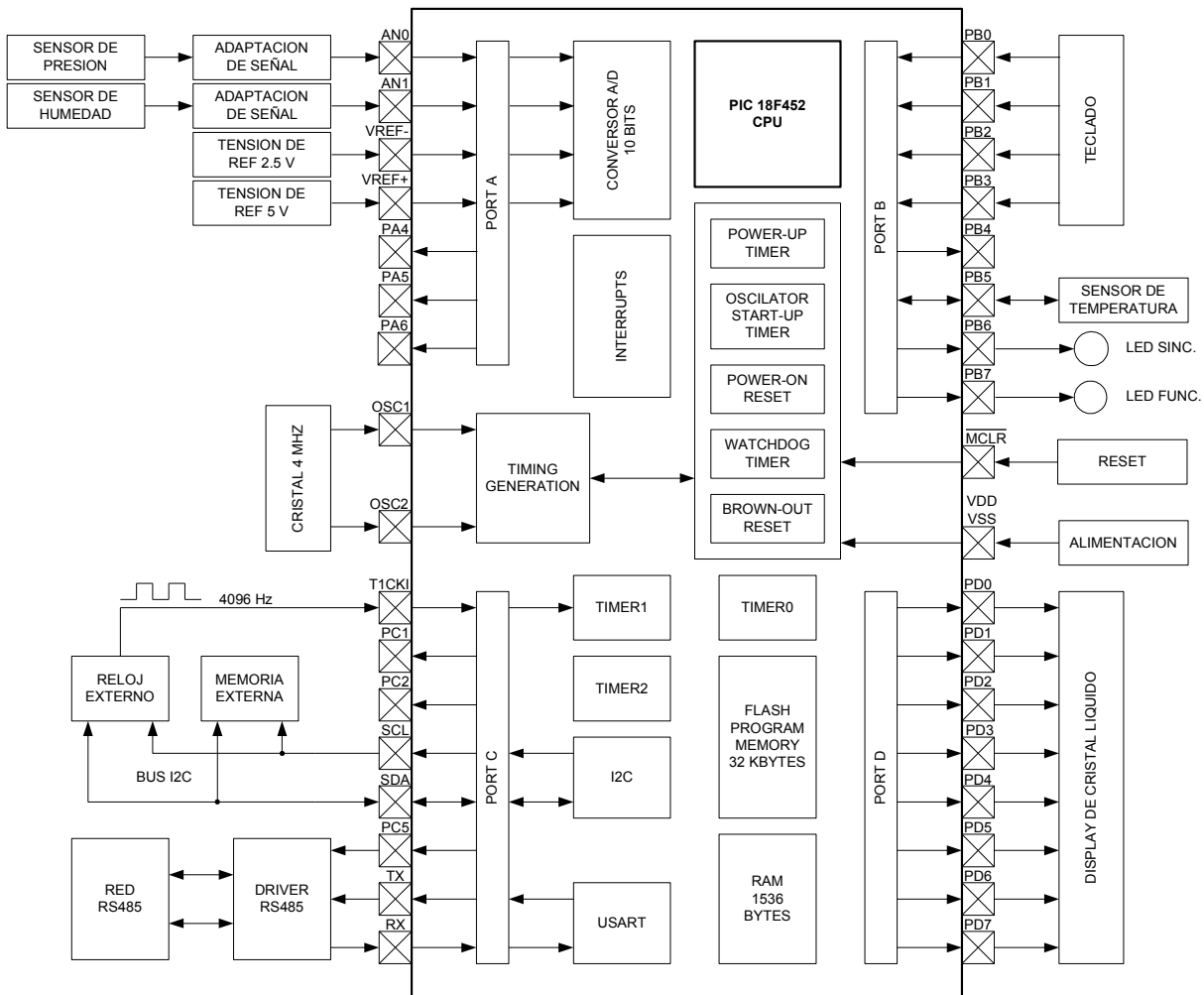


Figura 30. Diagrama en bloques del microcontrolador Master

5.1. Estructura del software

Todas las funciones en el microcontrolador Master se realizan en tiempo real y en ocasiones se requiere que se ejecuten en forma simultánea. Además de los programas específicos de cada una de las tareas, se necesita coordinar la ejecución concurrente de los mismos. Para ello, se emplea la técnica de programación multitarea, adaptada a microcontroladores de escasa memoria RAM, que le dan al sistema un aspecto dinámico en la progresión de la ejecución del programa.

La técnica consiste en descomponer el sistema en *tareas concurrentes*, cada una de las cuales tenga una función bien determinada y cuya concepción pueda realizarse de forma autónoma y no dependiente de las características del resto de las tareas del sistema.

Entre las características de las tareas podemos resaltar:

- Independencia funcional
- Posibilidad de ejecución concurrente
- Utilización compartida de los recursos del sistema

Durante el proceso de ejecución del programa sólo una de las tareas podrá utilizar el procesador (CPU) en cada instante, a esta tarea se le asigna el estado “*activa*” y a las restantes el estado “*inactiva*”. Las tareas que se encuentran inactivas pueden estar en el estado “*dormida*” en el caso de no requerir el uso del CPU, “*preparada*” en el caso de estar a la espera del turno para el uso del mismo o “*bloqueada*” cuando se encuentra esperando un evento externo para seguir su ejecución normal. Las tareas en el estado “*bloqueada*” pasan por el estado “*preparada*” antes de ser activadas. En la Figura 31 se muestra el diagrama de estados de una tarea.

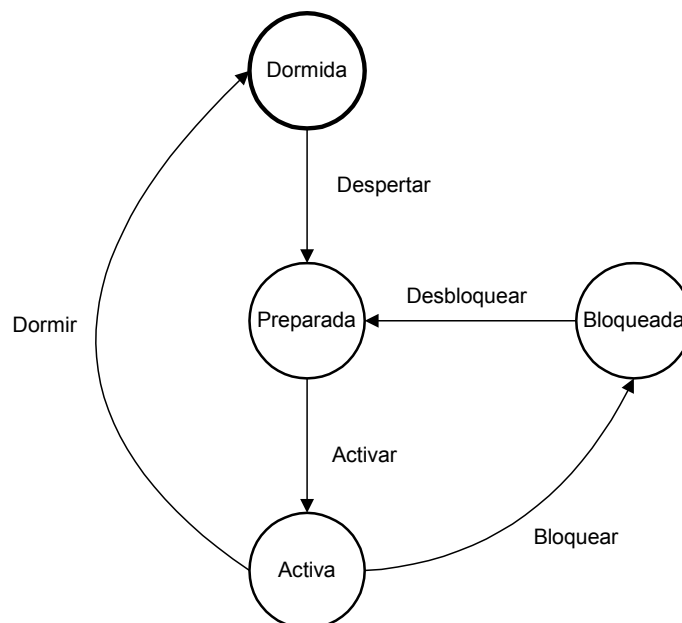


Figura 31. Diagrama de estados de una tarea

La separación del sistema en tareas conlleva la aparición de necesidades tanto de comunicación como de coordinación entre las mismas. La gestión de la asignación y sincronización del uso del CPU y demás recursos del sistema generalmente lo realiza el Scheduler o Monitor de tareas, que es el núcleo básico de todo sistema operativo. En el caso de la estación anemométrica, desarrollada en esta tesis, cada tarea del microcontrolador Master administra su propio tiempo de CPU, con el compromiso de diseño de que sea mínimo e indispensable. En caso de que una tarea necesite mucho tiempo para ejecutarse en forma completa, se la fracciona en partes y se le asigna un registro de estado interno. De esta manera, la tarea tiene autocontrol de su estado de ejecución, permitiéndole liberar el CPU y retomarlo luego para continuar la ejecución del programa en el punto donde lo dejó. La gran ventaja de esto es que las demás tareas tienen la oportunidad de usar el CPU en caso de requerirlo. Un ejemplo de esta situación es la descarga de memoria a PC que se explica en la Sección 5.7 del presente capítulo.

Hay tareas que son autónomas, es decir, que no dependen de otras tareas ni de ningún otro evento externo a ellas una vez que están en el estado “*preparada*”, ya sean tareas que toman el CPU por única vez o que lo hacen las veces necesarias para completar la totalidad de la tarea en forma secuencial; esto no quita que una tarea pueda poner a otra en el estado “*preparada*” inicialmente. Otras tareas, realizan una fracción de su función y luego dependen de un evento externo para continuar con la ejecución (por ejemplo una respuesta de un Slave). En este caso la tarea se autobloquea y libera el CPU a la espera de que el evento externo la pase nuevamente al estado “*preparada*”.

Con estos criterios empleados en el diseño, la función del Scheduler se reduce simplemente al llamado de las tareas que se encuentran preparadas a la espera del uso del CPU, esto es, pasar las tareas del estado “*preparada*” al estado “*activa*” en el diagrama de la Figura 31. El encargado de despertar a las tareas no es el Scheduler, sino que lo puede hacer

una interrupción periódica cada un segundo, regida por el reloj externo o bien, alguna otra tarea.

En el diagrama de flujo simplificado de la Figura 32 se puede observar el funcionamiento del Scheduler, que hace de secuenciador principal de las tareas a realizar por el microcontrolador Master.

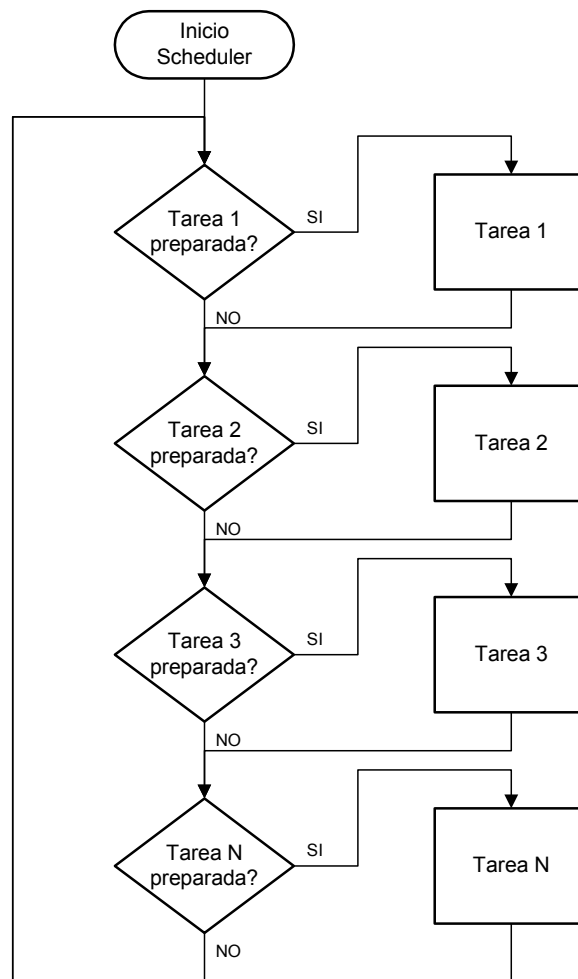


Figura 32. Diagrama de flujo simplificado del Scheduler

Es importante destacar que la inteligencia del algoritmo principal reside entonces en la comunicación y coordinación entre tareas, no en el propio Scheduler. Por otro lado, la sincronización se realiza mediante la interrupción periódica cada un segundo.

5.2. Interfaz de usuario

La interfaz de usuario consta de un display inteligente de cristal líquido (LCD) de 20 caracteres por 2 líneas (Sección 2.2.6) y de un teclado de cuatro teclas con funciones simples que le permiten al operario navegar en el menú que se muestra en pantalla. Dicho menú, es de utilidad para realizar tanto funciones de configuración como de visualización de datos y estado de funcionamiento. También se puede hacer uso de otras herramientas con las que cuenta la estación anemométrica como borrar y descargar memoria.

5.2.1 Características generales del menú

En la Figura 33 se muestra el aspecto de la pantalla del menú principal del equipo.

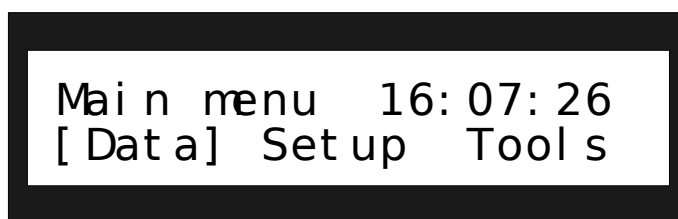


Figura 33. Pantalla del menú principal

Si el equipo se encuentra adquiriendo datos, se muestra la hora actual en el ángulo superior derecho de la pantalla, si en cambio, está detenido a la espera de ser configurado para iniciar el muestreo, no se visualiza la hora.

Debido a que en la pantalla sólo se pueden representar 40 caracteres, en el texto del menú se utilizó el idioma inglés, que es más sintético que la lengua castellana. Hay que tener en cuenta que se trata de un inglés técnico de fácil comprensión que hace que no sea necesario tener un gran dominio de dicha lengua extranjera.

El display cuenta con backlight que es de utilidad al usuario cuando la iluminación en el ambiente donde se instala la estación anemométrica es pobre o nula. El mismo, se enciende

cuando se presiona una tecla cualquiera y se apaga automáticamente, para ahorrar energía, luego de que transcurren 15 segundos sin presionar alguna. El tiempo de apagado del backlight se controla mediante el uso del Timer2 del microcontrolador.

La estructura completa del menú se muestra en el diagrama de la Figura 34 incluyendo una breve descripción de sus funciones constituyentes, para mayor detalle consultar el manual del usuario adjunto en el Anexo Error: Reference source not found.

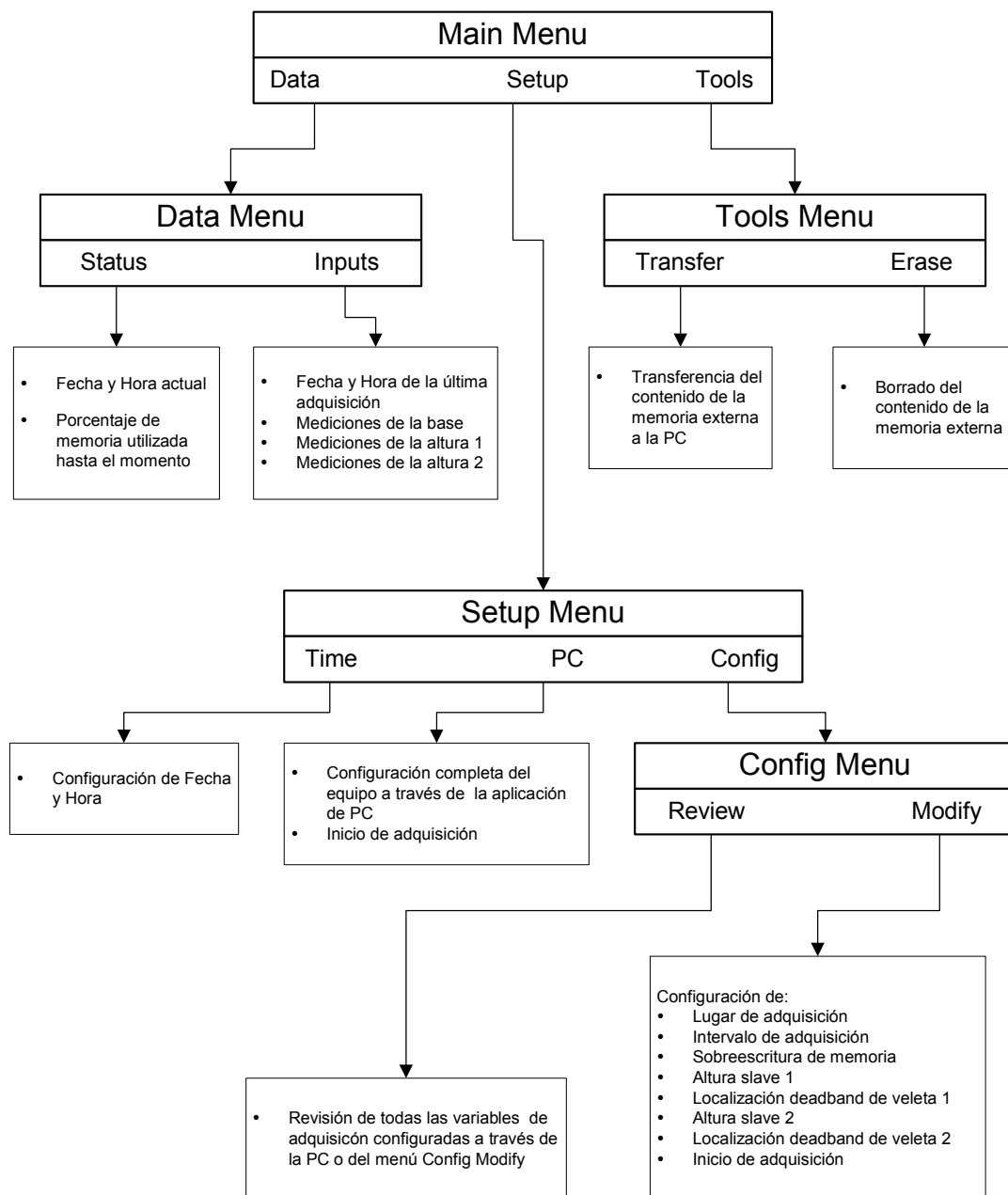


Figura 34. Esquema general del menú de usuario

Las cuatro teclas de las que dispone la interfaz de usuario son: Enter, Flecha Izquierda, Flecha Derecha y Escape. Las mismas permiten navegar el menú con facilidad para poder seleccionar la acción deseada. Cada una de las teclas se implementa con un pulsador normal abierto, en el que se presenta el fenómeno de rebote que es necesario tener en cuenta.

5.2.2 Fenómeno de rebote en pulsadores

El rebote es una señal que se produce siempre en cualquier interruptor mecánico. Los interruptores mecánicos al momento de cerrarse o de abrirse no lo hacen en forma instantánea, sino que producen una oscilación durante un instante de tiempo. Es decir, que al producirse el contacto mecánico, el circuito se cierra y se abre rápidamente durante un cierto lapso. Este lapso es del orden de los milisegundos, lo cual no importa para la mayoría de las aplicaciones, tales como interruptores de la red eléctrica, switches para bajas tensiones, etc. Sin embargo, para un teclado conectado a un microcontrolador, este tiempo es considerable ya que su velocidad de procesamiento hace que se puedan detectar todas las oscilaciones. Esto hace que se interprete que la tecla se presionó más de una vez en unos pocos milisegundos por lo que hay que tomar las precauciones necesarias para evitarlo. En la Figura 35 se presenta el circuito del pulsador conectado con una resistencia a pull-down y la señal de rebote que se produce en el mismo.

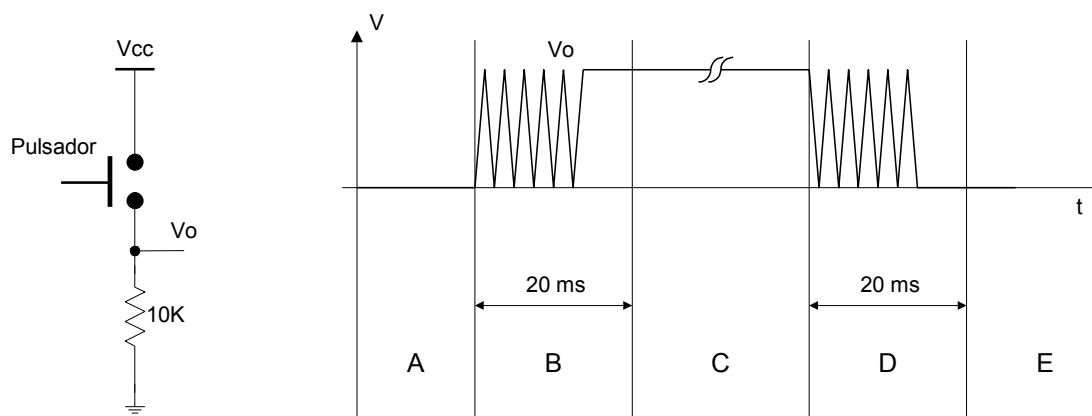


Figura 35. Fenómeno de rebote de un pulsador

Antes de accionar el pulsador, la salida V_o entrega directamente la tensión de masa, o sea un nivel bajo (A). Cuando se acciona el pulsador, se produce un rebote que no durará más de $20ms$, según experiencias prácticas (B). Luego V_o se encuentra a V_{cc} durante el tiempo que se mantiene apretado el pulsador (C). Cuando se libera el pulsador, se produce nuevamente un rebote de las mismas características que el anterior (D). Finalmente V_o queda a un nivel bajo, terminando la secuencia (E).

Para solucionar este problema se realizan con el microcontrolador los siguientes pasos. Cuando se detecta un nivel alto en la entrada en la que se encuentra el pulsador, se activa un contador de $20ms$. Luego de pasado este lapso, se vuelve a leer la entrada, si ésta continúa en nivel alto se valida la tecla para que se realice la acción que corresponda, si no, se interpreta que hubo ruido. El procedimiento cuando se suelta el pulsador es el mismo para eliminar el rebote pero no se realiza acción alguna. El contador de $20ms$ se realiza con el módulo Timer2 del microcontrolador el cual se configura con una base de tiempo de $1ms$, no se utilizan interrupciones sino que se implementa con polling (encuesta) porque no es necesario que sea preciso.

5.3. Inicio de adquisición

El proceso de inicio de adquisición es aquel por el cual la estación anemométrica comienza a funcionar según el modo en el que fue configurada por el usuario, ya sea a través de la PC o por medio del menú de usuario del equipo. Puede dividirse en dos subprocesos principales, la configuración y el inicio propiamente dicho. En la presente sección, se describirán cada uno de estos procesos además de la disposición de los diferentes parámetros de configuración en el Header de la memoria externa.

5.3.1 Subproceso configuración

La configuración se realiza en el segundo previo al inicio, es decir, a partir de que se inicia el proceso se cuenta con un segundo para configurar a los dos microcontroladores Slaves y para guardar los parámetros de configuración en el Header de la memoria externa. El subproceso de configuración se describe con el diagrama de estados de la Figura 36.

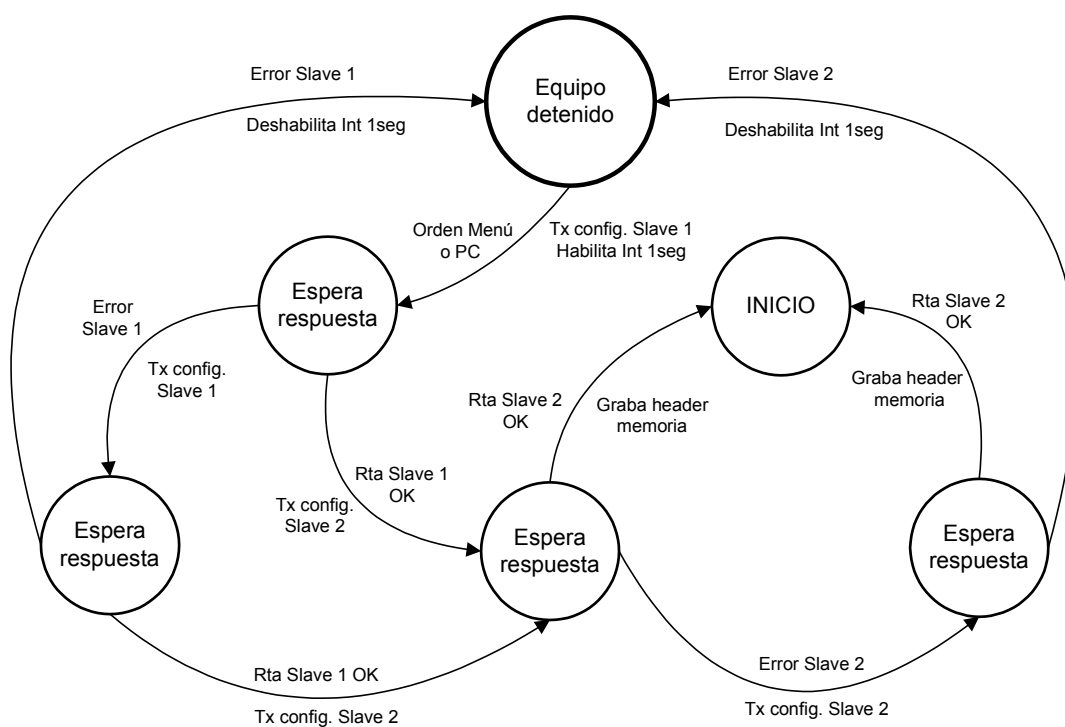


Figura 36. Diagrama de estados del subproceso configuración

La configuración comienza en el estado “*equipo detenido*” donde el microcontrolador Master espera la orden del usuario para iniciar el proceso. En ese momento, se transmite al Slave 1 la configuración seleccionada haciendo uso del protocolo explicado en el Capítulo 4, se habilita la interrupción periódica cada 1 segundo y se pasa al estado “*espera respuesta*”. Si la respuesta del microcontrolador Slave 1 es correcta, se transmite la configuración al Slave 2. Si en cambio expira el time-out de recepción, implementado con el Timer0, o hay error de CRC, se intenta configurar nuevamente al mismo microcontrolador (Slave 1). En caso de

fracasar dos veces se retorna al estado “*equipo detenido*”, mostrando un mensaje de error en el display y deshabilitando la interrupción periódica, donde se queda a la espera de un nuevo intento. El procedimiento con el Slave 2 es idéntico.

En la Figura 37 se muestran ejemplos del proceso de configuración para un intervalo de adquisición de *1 segundo* en el que el Master envía función *0x05*. En el ejemplo A el Slave responde correctamente al primer pedido con función *0x05*. En el ejemplo B el pedido del Master no llega a destino y luego de que expira el time-out de recepción realiza una retransmisión, el Slave responde correctamente al segundo pedido. En el caso C la trama que no llega a destino es la respuesta del Slave, desde el punto de vista del Master la situación es idéntica al ejemplo B, no así desde el Slave. El mismo recibe correctamente el primer pedido y se configura, cuando llega el segundo pedido entiende que lo configuran nuevamente y responde. Una causa por la que una trama no llegara a destino podría ser por ejemplo un falso contacto en el cableado de la red RS485. Los ejemplos anteriormente citados hacen referencia a retransmisiones causadas sólo por pérdida de tramas en la red que quizá no sea muy frecuente. En caso de que las tramas lleguen con errores, producidos por ejemplo por interferencias o descargas atmosféricas en la red, los mismos se detectan por medio del CRC y la forma de proceder con las retransmisiones es igual que para la pérdida de tramas.

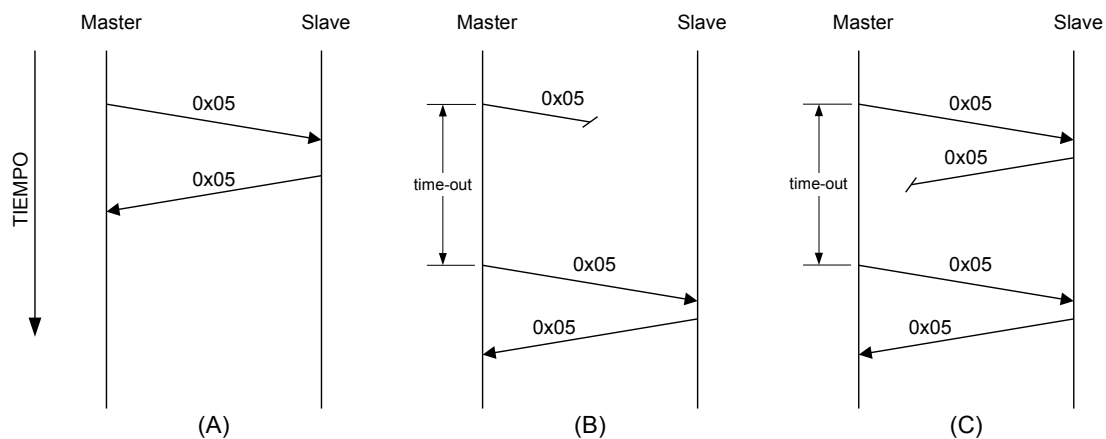


Figura 37. Ejemplos del proceso de configuración

Una vez configurados los dos microcontroladores Slaves, se graban los parámetros de configuración en el Header de la memoria externa y se pasa al estado “*inicio*”. En este estado comienza lo que llamamos subproceso inicio que se explica en la Subsección 5.3.3.

5.3.2 Header de la memoria

El Header de la memoria externa consta de 16 bytes ubicados desde la dirección 0 a la 15 como se muestra en la Figura 38

0	Identificación del equipo (ID)		
1	Lugar de adquisición [1]		
2	Lugar de adquisición [2]		
3	Lugar de adquisición [3]		
4	Lugar de adquisición [4]		
5	Lugar de adquisición [5]		
6	Lugar de adquisición [6]		
7	Lugar de adquisición [7]		
8	Lugar de adquisición [8]		
9	Deadband 1		Deadband 2
10	OE	OF	Estado
11	Intervalo de adquisición		
12	Altura Slave 1		
13	Altura Slave 2		
14	CONT_REC H		
15	CONT_REC L		

Figura 38. Header de la memoria

En el primer byte se aloja un número de 0 a 255 que identifica al equipo en el que se realiza la adquisición. Los 8 bytes siguientes guardan una palabra que hace referencia al lugar donde se instaló el equipo. El byte 9 está compuesto de dos nibbles que mediante un código indican cada uno la localización de la deadband (zona muerta) de la veleta de cada

microcontrolador Slave. El bit OE (overwrite enable) del byte 10 indica si está habilitada o no la sobrescritura de la memoria y el bit OF (overwrite flag) indica si hubo o no sobrescritura. El nibble menos significativo del byte 10 guarda el estado de funcionamiento del equipo que puede ser “*equipo detenido*” o “*equipo adquiriendo*”. El byte número 11 almacena un código que indica la configuración del intervalo de adquisición. Los bytes 12 y 13 guardan un número de 0 a 99 que indican la altura en metros a las que se instalan el Slave 1 y 2 respectivamente. Por último los bytes 14 y 15 forman la parte alta y baja de un contador de 16 bits (CONT_REC) que lleva la cuenta de la cantidad de paquetes de datos que se almacenan en la memoria.

5.3.3 Subproceso inicio

El subproceso inicio se describe con el diagrama de estados de la Figura 39 y comienza cuando transcurre el primer segundo a partir de que se habilitó la interrupción periódica en el subproceso configuración.

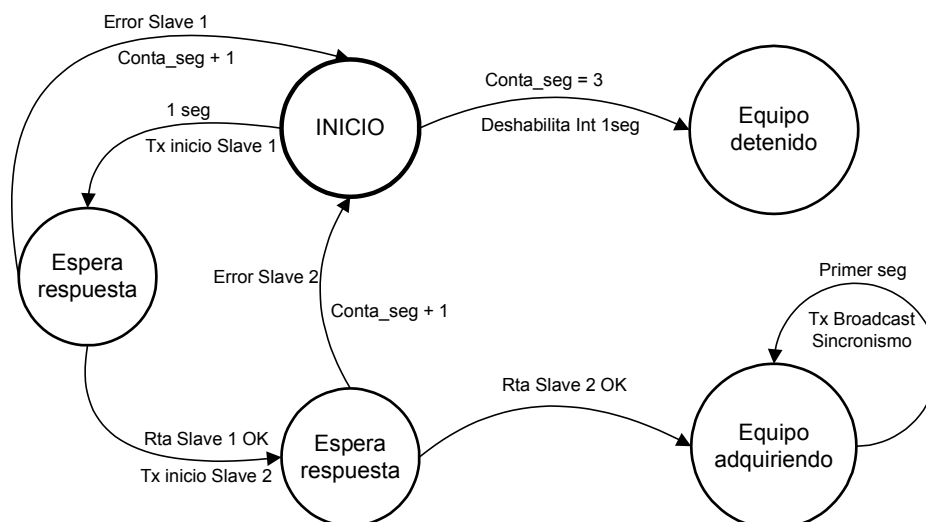


Figura 39. Diagrama de estados del subproceso inicio

En el instante que se cumple el segundo, se transmite la función inicio al primer microcontrolador Slave y se pasa al estado “*espera respuesta*”. Si la respuesta no llega dentro del tiempo previsto (expira el time-out) o llega pero el cálculo del CRC resulta erróneo, se retorna al estado “*inicio*” y se incrementa el Conta_seg que lleva la cuenta de la cantidad de intentos de inicio realizados. Si de otra manera, la respuesta es correcta dentro del tiempo estipulado, se procede enviando la función inicio al segundo microcontrolador Slave y se espera su respuesta, si hay error se vuelve al estado “*inicio*” de la misma forma que ocurre con el Slave 1. Luego de un intento de inicio fallido se espera a la próxima interrupción de 1 segundo para repetir el proceso, no se lo hace inmediatamente porque es importante que todo el sistema arranque el muestreo sincronizado. Por este mismo motivo los time-outs de recepción se ajustan con poco margen. Se realizan un total de 3 intentos de inicialización, si luego del tercer intento (Conta_seg = 3) no se tiene éxito, se aborta el proceso y se retorna al estado “*equipo detenido*” mostrando en pantalla un mensaje de error y deshabilitando la interrupción periódica. También se guarda en el nibble menos significativo del byte 10 del Header el código que indica que el equipo está detenido. En este estado el equipo queda disponible para que el usuario vuelva a intentar configurarlo e iniciar la adquisición si así lo desea.

Si los dos microcontroladores Slaves responden en tiempo y forma a la función de inicio, el proceso finaliza exitosamente quedando en el estado “*equipo adquiriendo*”, que tal como su nombre lo indica, es el estado de funcionamiento normal donde la estación anemométrica adquiere datos y los almacena en la memoria externa no volátil.

Durante el tiempo que dura el proceso de inicio, un máximo de 3 segundos, se bloquea el teclado para evitar la intervención del usuario ya que se trata de un proceso crítico en lo que a tiempos se refiere.

En el primer segundo después del inicio, se transmite una trama broadcast con función de sincronismo, para que los dos microcontroladores Slaves trabajen en forma simultánea y sincronizados con el reloj patrón del microcontrolador Master.

5.4. Control de tiempos de adquisición

La estación anemométrica consta de una red de microcontroladores cada uno con un reloj independiente. Los dos microcontroladores Slaves poseen un reloj basado en submúltiplos de la frecuencia de oscilación del cristal de $4MHz$, el cual marca la velocidad de procesamiento del CPU ($F_{osc} / 4 = 1MHz$). El microcontrolador Master usa esta frecuencia para implementar los time-outs de recepción, a través del Timer0, y los contadores para la eliminación del rebote de los pulsadores y apagado del backlight, que utilizan al Timer2. En cambio, no se basa en esta frecuencia para implementar su reloj de control de tiempos de adquisición, sino que utiliza para tal fin un reloj externo denominado DS1307 [19], que será la referencia de tiempo absoluta en el sistema.

El DS1307 es un Reloj de Tiempo Real (RTC) que funciona con un cristal de $32768Hz$ ($2^{15} Hz$) que además de proporcionar fecha y hora en formato BCD para estamparlas en memoria cuando se registran datos, posee una salida de una señal cuadrada configurable a frecuencias submúltiplos del cristal ($32768Hz$, $8192Hz$, $4096Hz$, $1Hz$). Por ser estas frecuencias submúltiplos de 2^{15} puede obtenerse un segundo de forma exacta, utilizando el Timer1 del microcontrolador configurado como contador asincrónico. El Timer1 cuenta flancos de la señal de $4096Hz$ inyectada en la entrada T1CKI (Timer1 Clock Input) del microcontrolador, cuando la cuenta llega a 4096 genera una interrupción habiendo transcurrido hasta ese instante exactamente un segundo, esta interrupción periódica es la referencia temporal del sistema y está apareada con el reloj del DS1307. Esto le permite al microcontrolador Master realizar el muestreo, pedido de datos a los Slaves y demás tareas que

requieran control de tiempo basado en uno de sus timers internos y sólo pedirle los datos de fecha y hora al DS1307 al momento de tener que estamparlos en la memoria. Como tanto el microcontrolador Master a través de su Timer1 como el DS1307 con su circuitería interna, se basan en definitiva en el mismo cristal de 32768Hz para implementar sus relojes, el atraso o adelanto de los mismos dependen principalmente de defectos propios del tallado del cristal y de la variación de su frecuencia de oscilación con la temperatura. Para mejorar la exactitud de los relojes, se realiza una calibración a temperatura ambiente ajustando un capacitor variable dispuesto en serie con el cristal de 32768Hz , como se indica en la Figura 40. El procedimiento de calibración consistió en medir con un frecuencímetro la señal de salida del DS1307 y ajustar el capacitor variable hasta obtener una medición de 4096Hz . Luego de realizada la calibración se pudo verificar mediante un osciloscopio, en una salida del microcontrolador destinada para tal fin, que la señal generada por la interrupción periódica del Timer1 fuera de semiperíodo un segundo.

Con esta calibración se mejora la exactitud para la temperatura de ajuste, pero no se puede evitar la variación de la oscilación del cristal con los cambios de temperatura.

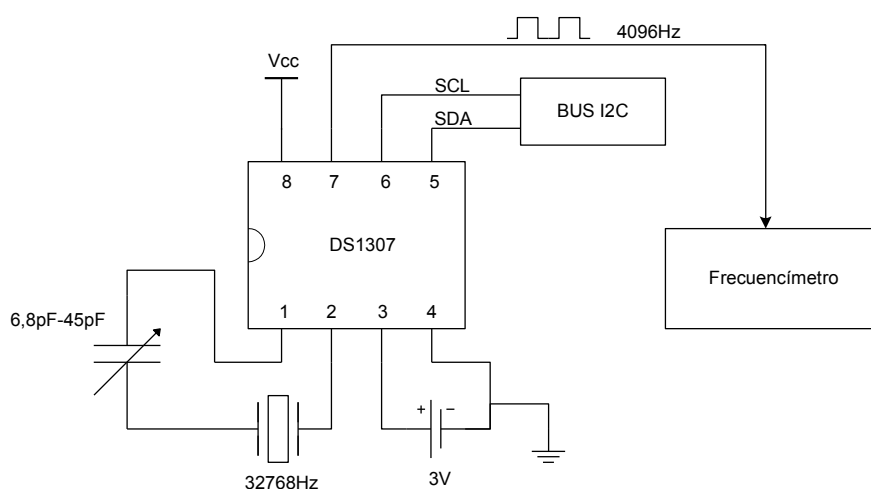


Figura 40. Calibración del reloj externo DS1307

Como se mencionó al inicio de esta sección, cada microcontrolador Slave lleva control del tiempo en forma independiente de igual modo que el Master. Aunque se pone especial cuidado en el proceso de inicio explicado en la Sección 5.3 para que todo el sistema arranque en forma simultánea, al tener cada microcontrolador un reloj independiente se hace inevitable la ocurrencia de desfasajes. Los desfasajes de los relojes de los microcontroladores Slaves se miden relativos al reloj del microcontrolador Master considerado como patrón. El sistema de adquisición requiere que estos desfasajes se mantengan acotados en cierto margen de tal forma que no generen errores de ningún tipo. Un ejemplo de error sería que el Master solicite los datos a un Slave y éste no los tenga listos debido a un atraso de su reloj.

Para mantener estos desfasajes acotados, ya sean atrasos o adelantos, es necesario sincronizar a los microcontroladores Slaves periódicamente para corregirlos. Cuando un reloj atrasa simplemente hay que adelantarlos, se perderán algunos ticks (mínima fracción de tiempo que cuenta el reloj) pero el tiempo continuará transcurriendo normalmente. Cuando un reloj adelanta, en cambio, no se lo puede atrasar simplemente porque aparecen inconsistencias temporales ya que existiría dos veces el mismo tiempo. Una solución clásica a este problema es hacer correr al reloj más despacio hasta que se corrija el adelanto.

La sincronización de relojes en sistemas distribuidos es un tema complejo y muy estudiado existiendo gran cantidad de algoritmos para su implementación como lo son el método de Cristian o el algoritmo de Berkeley por mencionar algunos ejemplos. En la estación anemométrica motivo de esta tesis, se utiliza un método ad-hoc muy sencillo y aplicable en una red de microcontroladores, que consiste en que el microcontrolador Master envía periódicamente una trama broadcast con el código de función de sincronización (*0x03*). Cuando los microcontroladores Slaves reciben la trama con esta función simplemente ponen sus contadores a cero, es decir, corrigen el desfasaje. De esta forma, luego de una

sincronización, los relojes de los microcontroladores Slaves quedan retrasados respecto del reloj del Master sólo el tiempo de transmisión de la trama, que es alrededor de $5ms$.

Las inconsistencias temporales aparecen cuando se corrigen adelantos mayores a un tick del reloj, por esto, el artilugio en la aplicación de esta técnica consiste en sincronizar a los Slaves, con la suficiente frecuencia, para que no ocurran derivas de tiempo en sus relojes mayores a un tick. Los relojes de los microcontroladores Slaves tienen un tick de $40ms$, lo que significa que la acción de sincronización debe ser lo suficientemente frecuente como para que no exista un desfasaje temporal mayor a $40ms$. Para determinar la periodicidad con la que se deba realizar la sincronización, se ensayaron y midieron los desfasajes de los relojes Slaves relativos al Master y se determinó como evoluciona el desfasaje con el tiempo. Los resultados arrojaron un desfasaje promedio de $80\mu s$ cada un segundo, lo que hace que haya un desfasaje aproximado de $10ms$ cada dos minutos. Así se determina un tiempo prudencial de dos minutos entre tramas con función de sincronismo, que es un compromiso entre flujo de información por la red y mantener los desfasajes temporales acotados a menos de $40ms$. Se deja un margen de seguridad de cuatro contemplando que los desfasajes puedan llegar a ser algo mayores a $10ms$ por defectos propios del cristal o errores del microcontrolador. Aunque al utilizar un mensaje broadcast en la sincronización, el microcontrolador Master no tiene certeza de que los microcontroladores Slaves lo recibieron, hay que tener en cuenta que la tasa de ocurrencia de errores en la red RS485 es baja.

5.5. Medición de temperatura, humedad y presión

Una de las principales tareas que realiza el microcontrolador Master en cada intervalo de adquisición es tomar la señal que cada sensor le suministra, analógica o digital según el caso, y procesarla para obtener el valor de la magnitud sensada en formato y unidades entendibles para el usuario. Las señales entregadas por cada sensor, son previamente

acondicionadas y filtradas para minimizar el ruido eléctrico y las interferencias con el objetivo de mejorar la exactitud y precisión de las mediciones. El filtrado y acondicionamiento de las señales de cada sensor se explica en detalle en el Capítulo 3.

Al final de cada intervalo, el microcontrolador Master compacta la información recolectada de cada sensor, para luego ser grabada en memoria de manera tal que se optimice la capacidad de la misma.

A continuación se detallan los procesos de medición de cada una de las variables sensadas en el microcontrolador Master.

5.5.1 Proceso de medición de Temperatura

El muestreo de temperatura se realiza cada un segundo mediante el sensor DS18S20, explicado en detalle en la Sección 3.1, que entrega los datos al microcontrolador en forma digital. El sensor tarda como máximo *750ms* en completar una medición, por tal motivo, se le envía la orden para que inicie la primera inmediatamente después de finalizado el proceso de configuración de los Slaves. Esto tiene como finalidad que el microcontrolador Master tenga el dato disponible luego de transcurrido el primer segundo de adquisición.

El proceso de muestreo consiste en leer la memoria temporal del DS18S20 denominada Scratchpad, en la cual se encuentra alojada la información de la última medición de temperatura realizada. La lectura del Scratchpad, se realiza enviando un pedido al sensor, mediante el cual, se le indica además que inicie una nueva medición, es decir, cada segundo se lee la medición anterior y se inicia una nueva para ser leída en el segundo siguiente. En el último byte del Scratchpad el sensor incluye el CRC8 calculado y lo envía, en caso de que el microcontrolador Master detecte un error, descarta los datos y los solicita nuevamente.

Una vez comprobada la integridad de los datos del Scratchpad (CRC correcto), se procede a realizar el cálculo necesario para aumentar la resolución de la medición utilizando

la temperatura leída, $TEMP_READ$, y los bytes $COUNT_PER_C$ y $COUNT_REMAIN$ en la siguiente ecuación:

$$Temperatura [^{\circ}C] = TEMP_READ - 0,25 + \frac{COUNT_PER_C - COUNT_REMAIN}{COUNT_PER_C}$$

La temperatura leída ($TEMP_READ$) se obtiene luego de truncar los $0,5^{\circ}C$ del valor entregado por el sensor en los bytes 0 y 1 del Scratchpad.

Si la medición corresponde a la primera del intervalo de adquisición, se inicializan las variables que almacenan la temperatura mínima y máxima (T_m y T_M) con el valor de tal medición. Las sucesivas muestras se van comparando con dichas variables, que son reemplazadas de resultar alguna medición mayor que la temperatura máxima o menor que la temperatura mínima registradas hasta el momento.

El resultado de la medición de cada segundo se va acumulando en una variable de punto flotante ($32\ bits$), que será utilizada al final del intervalo para realizar el promedio correspondiente. El promedio se realiza dividiendo el valor de temperatura acumulado por la cantidad de muestras tomadas a lo largo de todo el intervalo de adquisición. Luego de calcular el promedio se redondea el resultado, se lo multiplica por diez y se lo almacena en una variable entera signada de $16\ bits$. Al asignar el contenido de una variable flotante a una entera se trunca la parte decimal, lo que hace necesaria la previa multiplicación por diez para conservar un punto decimal de la medición y así obtener la resolución requerida de $0,1^{\circ}C$. Cuando se muestra el valor de la temperatura en el LCD, se lo divide previamente por diez, lo mismo sucede en la aplicación de PC cuando se presenta el dato en la pantalla. Sabiendo que el rango de medición en el que se utiliza el sensor de temperatura es de $-40^{\circ}C$ a $60^{\circ}C$ y teniendo en cuenta que se guarda el valor multiplicado por diez, sólo se necesitan $11\ bits$ en lugar de 16 para representar todos los valores posibles.

Cuando la configuración del intervalo de adquisición es de un segundo los valores que se almacenan son todos instantáneos, de lo que resulta obvio que no se realizan promedios y que no existe temperatura mínima ni máxima, sí se redondea y multiplica por diez.

Para saber si se mide adecuadamente la temperatura, se realizó un ensayo en el que se compararon los datos registrados por la estación anemométrica y los tomados simultáneamente por una estación meteorológica comercial marca Davis [51] modelo Weather Monitor II, utilizada como patrón. La Figura 41 muestra la diferencia entre las temperaturas medidas por el equipo patrón y las de la estación anemométrica. Además se observa que la variación de la temperatura durante el ensayo no abarca todo el rango de medición del sensor.

Si bien no se cuenta con el instrumental para efectuar un ensayo riguroso, el contraste realizado determinó que el comportamiento del sensor DS18S20 es semejante al del equipo tomado como patrón.

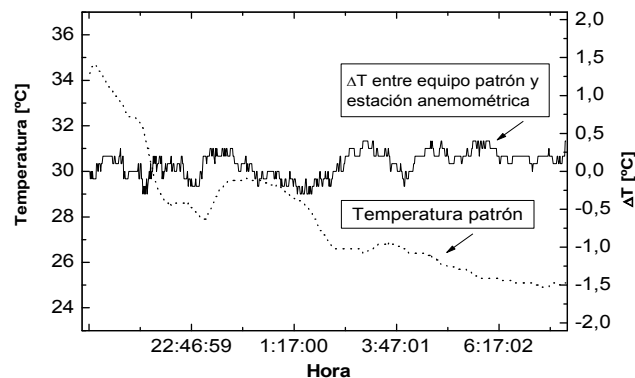


Figura 41. Contraste del sensor de temperatura con un equipo comercial

5.5.2 Proceso de medición de Humedad

La humedad se mide una única vez por intervalo de adquisición mediante el sensor HIH3610, que entrega una señal analógica continua previamente acondicionada y filtrada (ver

Sección 3.3). Esta señal continua ingresa a la entrada del conversor A/D del microcontrolador del cual se obtiene una muestra digital de *10 bits*. La salida del sensor varía entre *0,8V* y *3,9V* por lo que la V_{REF-} del conversor A/D se fija a masa y la V_{REF+} a *5V*.

La medición de humedad se inicia en el último segundo del intervalo de adquisición luego de haber medido la temperatura instantánea, valor que se utiliza para poder realizar el cálculo de compensación por temperatura. Una vez finalizada la conversión, se calcula la humedad relativa mediante la siguiente función transferencia en la que se incluye la compensación por temperatura:

$$Humedad[\%] = \left(\frac{Muestra_A/D}{1024} - 0,16 \right) \cdot \frac{1}{(1,0546 - 0,00216 \cdot Temp_inst[^\circ C]) \cdot 0,0062}$$

Las cuentas se realizan con variables de punto flotante de *32 bits* debido a que están involucrados números decimales y se desea no perder precisión. El resultado final se almacena en una variable entera de *8 bits*, suficiente para representar todo el rango de variación del sensor que va del *0%* al *100%* con la resolución requerida del *1%*.

En el mismo estudio realizado para contrastar el sensor de temperatura, se ensayó el sensor de humedad. La Figura 42 muestra que la diferencia que existe entre los datos del sensor HIH3610 y los del patrón es aceptable, considerando que el error del sensor es de $\pm 2\%$.

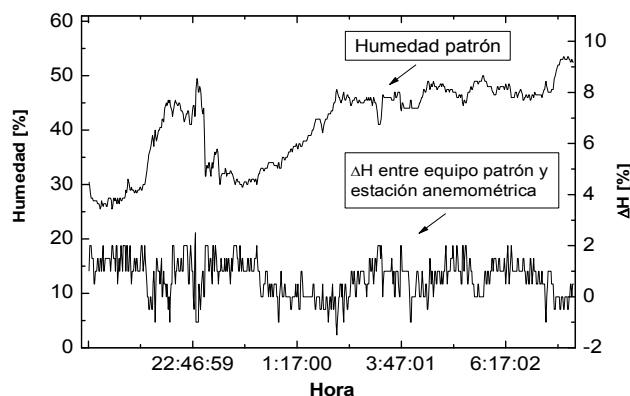


Figura 42. Contraste del sensor de humedad con un equipo comercial

5.5.3 Proceso de medición de Presión

La presión también se mide una única vez por intervalo de adquisición utilizando el conversor A/D del microcontrolador, que muestrea en su entrada la señal proporcionada por el sensor MPX4115A. Si bien la señal llega acondicionada y filtrada a la entrada del conversor A/D, como se vio en la Sección 3.2, aún es un poco ruidosa por lo que resulta necesario filtrarla nuevamente por software. El procedimiento de filtrado es sencillo y consiste en realizar cuatro muestreos consecutivos y promediarlos. Entre el filtrado por hardware y el filtrado por software en conjunto se logra atenuar el ruido de la señal a valores aceptables [35].

El sensor entrega en su salida una tensión que va desde $0,2V$ hasta $4,8V$ y es proporcional a la presión atmosférica. La V_{REF-} se fija a $2,5V$ y la V_{REF+} a $5V$ por lo que las mediciones que resultan menores a $2,5V$ no se detectan. La presión correspondiente a $2,5V$ es $600hPa$ y es la mínima medible con la estación anemométrica en cuestión. Esta restricción surge por una situación de compromiso en el criterio de diseño ya que para representar la medición de presión entre $600hPa$ y $1100hPa$ con una resolución de $1hPa$ se requieren $9 bits$. Para representar presiones menores sería necesario utilizar un bit más, lo cual no tiene mayor sentido ya que $600hPa$ es la presión que aproximadamente hay en la cumbre del volcán Lanín ($3776 metros snm$). Además, en el caso de fijar la V_{REF-} a masa no se podría lograr la resolución de $1hPa$ requerida, una alternativa es utilizar un valor intermedio entre $0V$ y $2,5V$ como V_{REF-} para cumplir con el requerimiento de resolución y ampliar el rango de medición a valores menores a $600hPa$.

Después de obtener la muestra del sensor ya filtrada, se calcula el valor de la presión mediante el uso de la siguiente función transferencia:

$$Presión [hPa] = \left(\frac{\frac{Muestra_A/D \cdot 2,5 V}{1024} + 2,5 V}{5 V} + 0,095 \right) \cdot \frac{1}{0,0009} - 600 .$$

La constante 600 es un offset para trasladar el rango de medición de 600-1100hPa a un nuevo rango de 0-500hPa y así utilizar menos bits para la representación y almacenamiento, la aplicación de PC cuando lee los datos de presión corrige el offset para que la lectura sea transparente para el usuario. Tal como se hizo con la humedad y temperatura las cuentas se realizan en punto flotante y luego se asigna el resultado a una variable entera de 16 bits. Al momento de almacenar la presión en memoria sólo se conservan los 9 bits menos significativos que contienen información, los restantes son “0” porque como se dijo anteriormente con 9 bits alcanza para cubrir la totalidad del rango de medición.

Con el objetivo de verificar el correcto funcionamiento del sensor en todo su rango se realizó un contraste en condiciones de laboratorio (ver Figura 43). El ensayo se efectuó con un equipo marca DH-Budenberg [50] modelo GPC3, el cual mide presiones en un rango de 1,25hPa a 1800hPa absolutos con una precisión de $\pm 0,005\%$ a fondo de escala. Se observó que el sensor MPX4115A ensayado tiene un offset promedio de 17hPa en defecto, para todo el rango de medición, respecto del equipo tomado como referencia (ver Figura 44). Este offset se corrige por software.



Figura 43. Sistema utilizado para contrastar el sensor de presión

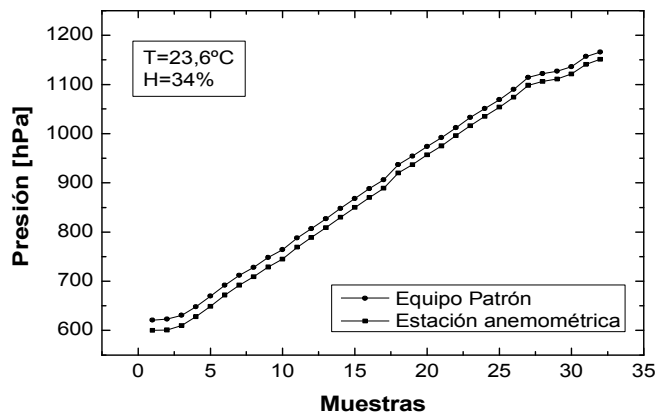


Figura 44. Contraste del sensor de presión con un equipo patrón en todo su rango de medición

5.6. Pedido de datos y grabación en memoria

Una vez que el equipo se encuentra funcionando con la configuración elegida por el usuario, el microcontrolador Master debe solicitar periódicamente a los microcontroladores Slaves los datos que recabaron durante el intervalo de adquisición antecedente a cada pedido. El proceso de pedido de datos a los Slaves y grabación en memoria se explica mediante el diagrama de estados de la Figura 45.

El microcontrolador Master se encuentra en el estado *“equipo adquiriendo”*, cuando se cumple el tiempo en el que hay que solicitar los datos a los Slaves porque ha transcurrido un intervalo, se transmite una trama al primer microcontrolador Slave con la función pedido de datos, *0x02* o *0x0B*, y se pasa al estado *“espera respuesta”*. La función *0x0B* se utiliza cuando el intervalo de adquisición fue configurado en un segundo, para las demás configuraciones de intervalo se utiliza función *0x02*. En el caso de que el Slave 1 no responda, expira el time-out y se retransmite el pedido, se procede de igual forma si llega la respuesta pero se encuentra error de CRC. En el diagrama de estados los dos casos se representan con una única flecha con el nombre Error Slave 1. Los time-outs de recepción son más holgados

que en el proceso de inicio debido a que los microcontroladores Slaves requieren más tiempo para procesar el pedido. Además, no resulta crítico que no respondan en forma inmediata.

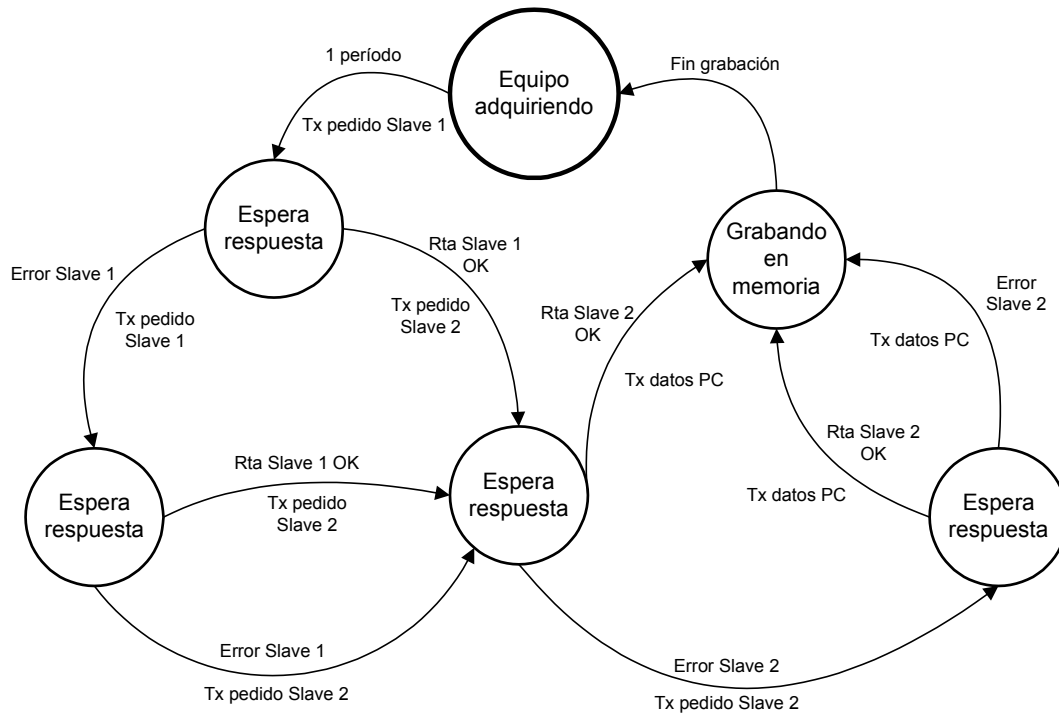


Figura 45. Diagrama de estados del proceso pedido de datos y grabación en memoria

Haya respondido el Slave 1 en forma correcta al primer o al segundo intento de pedido de datos, o no haya respondido a ninguno de los dos pedidos, se procede de igual forma a realizar la solicitud al segundo microcontrolador y se pasa nuevamente a un estado “*espera respuesta*”. La forma de actuar con el pedido de datos al Slave 2 es la misma que la explicada para el primer Slave, cualquiera sea su resultado se pasa al estado “*grabando en memoria*” y se transmite un paquete a la red con la dirección de la PC, que contiene la información de las variables sensadas localmente en el intervalo. El objetivo de la transmisión de dicho paquete es proporcionarle a la PC, en caso de que esté conectada en modo monitor, los datos de temperatura, humedad y presión medidos por el Master. La PC en modo monitor observa el tráfico de la red, analiza y procesa los datos y los presenta en pantalla pero ninguno de los

microcontroladores componentes de la estación anemométrica se entera de su presencia. La PC no responde al paquete que envía el Master y por consiguiente, el mismo no espera respuesta alguna. El funcionamiento del modo monitor se explica en detalle en la Sección 7.1.

Los datos correspondientes al último intervalo de adquisición registrados en cada uno de los Slaves y en el Master, se pueden observar en el display a través del submenú **Inputs**.

En el estado “*grabando en memoria*” se guardan, en la memoria externa, los datos medidos por los dos Slaves más los propios del Master y se estampa la hora. Si algún Slave no respondió a la solicitud de envío de datos, se graban “ceros” en las posiciones de memoria que le corresponden. Cuando finaliza la grabación se actualiza el contador de cantidad de paquetes de datos grabados (CONT_REC) en el Header de la memoria y se pasa al estado “*equipo adquiriendo*”. En este estado se espera a que transcurra otro período para repetir todo el proceso.

En caso que la memoria se llene, se toman dos acciones diferentes según si se habilitó o no la sobrescritura en la configuración. Si la sobrescritura no está habilitada, se procede a finalizar el muestreo y adquisición de datos en el microcontrolador Master y se pasa al estado “*equipo detenido*” (se graba el código correspondiente en el Header). Además, se envía una trama broadcast con la función detener adquisición (0x0A) para que los dos microcontroladores Slave también detengan el muestreo.

Si la sobrescritura está habilitada, después de grabar el paquete de datos que llena la memoria, se escribe un “1” en el bit bandera de sobrescritura (OF) que será de utilidad a la aplicación de PC cuando se transfieran los datos. No se detiene el muestreo y se inicializa el puntero de dirección de memoria para que al finalizar el próximo intervalo de adquisición, el paquete de datos correspondiente se grabe al principio de la memoria, exactamente a partir del byte 16 a continuación del Header. El muestreo y adquisición finaliza sólo por intervención del usuario.

El funcionamiento del equipo con habilitación de sobrescritura permite guardar los últimos datos medidos, sabiendo que se paga el precio de ir perdiendo los datos más antiguos. Por el contrario, cuando no se permite la sobrescritura se conservan los datos desde el inicio de la adquisición, pero a partir de que se llena la memoria no se registra más y no se obtienen datos hasta que el usuario intervenga.

5.6.1 Organización de la memoria externa

La memoria externa en la que se almacenan los datos adquiridos por el equipo está compuesta por dos chips AT24C1024 [17], que tienen una capacidad de 128 Kbytes cada uno haciendo un total de 256 Kbytes entre ambos.

Según el intervalo de adquisición con el que esté configurado el equipo, la memoria se organiza de diferente forma porque varía la cantidad de datos a almacenar. Con el intervalo configurado en un segundo no se realizan promedios ni se calcula desvío estándar, ya que el intervalo coincide con la frecuencia de muestreo del equipo y los datos registrados son todos instantáneos. Por este motivo, la cantidad de datos a almacenar en memoria por período, para esta configuración es menor que para cualquiera de las otras posibles. En la Figura 46 se muestra el orden y el formato de los datos almacenados en memoria cada un segundo.

0	D	D	D	D	D	M	M	M	M	Y	Y	Y	Y	Y	Y	Y	h	h	h	h	h	m	m	m	m	m	m	s	s	s	s	s	s
4	0	0	0	0	0	0	0	0	TEMPERATURA								HUMEDAD								PRESIÓN								
8					P	T	T	T	0	0	0	0	0	0	0	0	1	VELOCIDAD 1								DIRECCIÓN 1							
12	TEMPERATURA 1										T1	T1	T1	D1	V1	V1	0	0	0	0	0	0	0	0	2	VELOCIDAD 2							
16	DIRECCIÓN 2								TEMPERATURA 2										T1	T1	T1	D1	V1	V1									

Figura 46. Organización de memoria. Intervalo de adquisición 1 segundo

Los cuatro primeros bytes contienen el día, mes, año, hora, minutos y segundos del momento en que se almacenan los datos. El DS1307 proporciona estos datos en formato BCD

pero para guardarlos en este formato se necesitarían *6 bytes*. Por ello, se realiza una conversión de formato para compactarlos en *4 bytes* y aprovechar mejor la capacidad de la memoria. El byte 4 es un separador que indica que los datos que siguen a continuación corresponden al microcontrolador Master. Los bytes 5, 6 y 7 contienen los *8 bits* menos significativos de la temperatura, humedad y presión. El byte 8 completa los *3 bits* más significativos de la temperatura y el bit menos significativo de la presión. Luego el byte 9 es nuevamente un separador que indica que los datos que lo suceden pertenecen al microcontrolador Slave 1. Los bits menos significativos de la velocidad, dirección y temperatura del Slave 1 se encuentran en los bytes 10, 11 y 12 respectivamente. El byte 13 completa los bits más significativos de estas variables. El byte 14 es el separador del Slave 2 y a continuación del mismo se encuentra a los bits menos significativos de la velocidad, dirección y temperatura de dicho Slave. Por último, en el byte 15 se guardan los bits más significativos de mencionadas variables.

El total de bytes de memoria utilizados en cada intervalo de adquisición, para esta configuración de un segundo, es de *19*. Teniendo en cuenta que la capacidad total de la memoria es de *256 Kbytes* y que *16* son empleados por el Header, resulta que se pueden almacenar los datos correspondientes a *13795* intervalos de medición, *6897* en el primer chip y *6898* en el segundo. Sobran *13 bytes* en el primer chip y *10* en el segundo que no se utilizan. Como se guardan datos cada un segundo significa que la memoria tiene una autonomía de *13795 segundos* para esta configuración, esto es, *3 horas y 50 minutos* aproximadamente.

El orden y formato de los datos en memoria, para configuraciones del intervalo de adquisición en *1, 10, 30 y 60 minutos*, se muestra en la Figura 47. Los cuatro primeros bytes correspondientes al estampado de fecha y hora son idénticos para todas las configuraciones de intervalo de adquisición. Las temperaturas, velocidades y direcciones ahora son el promedio del intervalo pero conservan el mismo formato que las correspondientes instantáneas. Se

agregan la temperatura máxima y mínima con su byte complementario para el microcontrolador Master. También se incluyen tanto para el microcontrolador Slave 1 como para el 2, el desvío estándar, la velocidad máxima y mínima, la dirección de la máxima y mínima ráfaga, la temperatura máxima y mínima y todos los bytes complementarios necesarios para completar los bits más significativos de cada variable.

0	D	D	D	D	D	M	M	M	M	Y	Y	Y	Y	Y	Y	h	h	h	h	m	m	m	m	m	m	s	s	s	s	s	s		
4	0	0	0	0	0	0	0	0	TEMPERATURA PROMEDIO								HUMEDAD								PRESIÓN								
8					P	T	T	T	TEMPERATURA MÁXIMA								TEMPERATURA MÍNIMA										TM	TM	TM	Tm	Tm	Tm	
12	0	0	0	0	0	0	0	1	VELOCIDAD PROMEDIO 1								DIRECCIÓN PROMEDIO 1								TEMPERATURA PROMEDIO 1								
16	ST	ST	T	T	T	D	V	V	DESVÍO ESTÁNDAR 1								VELOCIDAD MÁXIMA 1								DIRECCIÓN MÁXIMA 1								
20	TEMPERATURA MÁXIMA 1										TM	TM	TM	DM	VM	VM	VELOCIDAD MÍNIMA 1								DIRECCIÓN MÍNIMA 1								
24	TEMPERATURA MÍNIMA 1										Tm	Tm	Tm	Dm	Vm	Vm	0	0	0	0	0	0	0	0	2	VELOCIDAD PROMEDIO 2							
28	DIRECCIÓN PROMEDIO 2								TEMPERATURA PROMEDIO 2								ST	ST	T	T	T	D	V	V	DESVÍO ESTÁNDAR 2								
32	VELOCIDAD MÁXIMA 2								DIRECCIÓN MÁXIMA 2								TEMPERATURA MÁXIMA 2										TM	TM	TM	DM	VM	VM	
36	VELOCIDAD MÍNIMA 2								DIRECCIÓN MÍNIMA 2								TEMPERATURA MÍNIMA 2										Tm	Tm	Tm	Dm	Vm	Vm	

Figura 47. Organización de memoria. Intervalo de adquisición distinto a 1 segundo

Para estas configuraciones del intervalo de adquisición, se emplean entonces, un total de 40 bytes cada vez que se graban datos en memoria. Esto significa que pueden completarse un total de 3276 ciclos de grabación en el primer chip, 16 bytes se utilizan para el Header y sobran 16. En el segundo chip también hay capacidad para realizar 3276 grabaciones y sobran 32 bytes. En total se pueden grabar entonces 6552 paquetes de 40 datos. De ello se desprende que la autonomía de la memoria externa depende de cómo esté configurado el intervalo de adquisición. En la Tabla 8 se muestra la autonomía de la memoria externa según el intervalo de adquisición seleccionado. Si el usuario lo desea puede, a través del submenú **Status**, observar el porcentaje de memoria utilizado hasta el momento. De esta manera, según como esté configurado el intervalo de adquisición, puede estimar el tiempo que resta para que la memoria se llene.

Tabla 8 Autonomía de la memoria externa

	Intervalo de adquisición				
	1 segundo	1 minuto	10 minutos	30 minutos	60 minutos
Autonomía	3,83 horas	4,55 días	45,5 días	136, 5 días	273 días

5.7. Descarga de memoria a PC

La descarga de memoria a PC es un proceso que vincula a la memoria serial externa de la estación anemométrica con una computadora personal (PC), en la que se encuentre instalada la aplicación diseñada para tal fin que se explica en la Sección 7.2. El papel del microcontrolador Master en dicho proceso es fundamental, ya que es el encargado de hacer de interlocutor entre los dos dispositivos antes mencionados y de controlar el flujo de información.

En la Figura 48 se muestra un diagrama de estados simplificado del proceso de descarga de memoria a PC. El proceso comienza cuando el usuario lo indica a través del submenú **Transfer**. En caso de que el equipo se encuentre adquiriendo, se muestra en pantalla un mensaje de advertencia indicando que se finalizará el muestreo. En este momento el usuario puede arrepentirse o continuar con el inicio del proceso de transferencia. Si se decide iniciar la transferencia, el primer paso consiste en leer y analizar el Header de la memoria. Si de éste análisis se concluye que hay un error en el almacenamiento de los datos, que la memoria está vacía o que no está conectada, se envía un mensaje de error a la PC y se finaliza el proceso. Además, se muestra un mensaje de error en el display. En el caso de que el análisis indique que los datos almacenados son íntegros, se procede a enviar una trama a la PC con el contenido completo del Header. El objetivo de enviar el Header es que la aplicación de la PC cuente con tal información, para que además de almacenarla en el archivo correspondiente,

pueda prever, entre otras cosas, la forma en que el microcontrolador le enviará los sucesivos datos. Al instante de enviar la trama con el Header se inicia un time-out, si el mismo expira, se reintenta el envío. En caso de no tener éxito nuevamente, se finaliza el proceso y se envía un mensaje de error al display. Lo mismo ocurre si hay respuesta pero se detecta error de CRC.

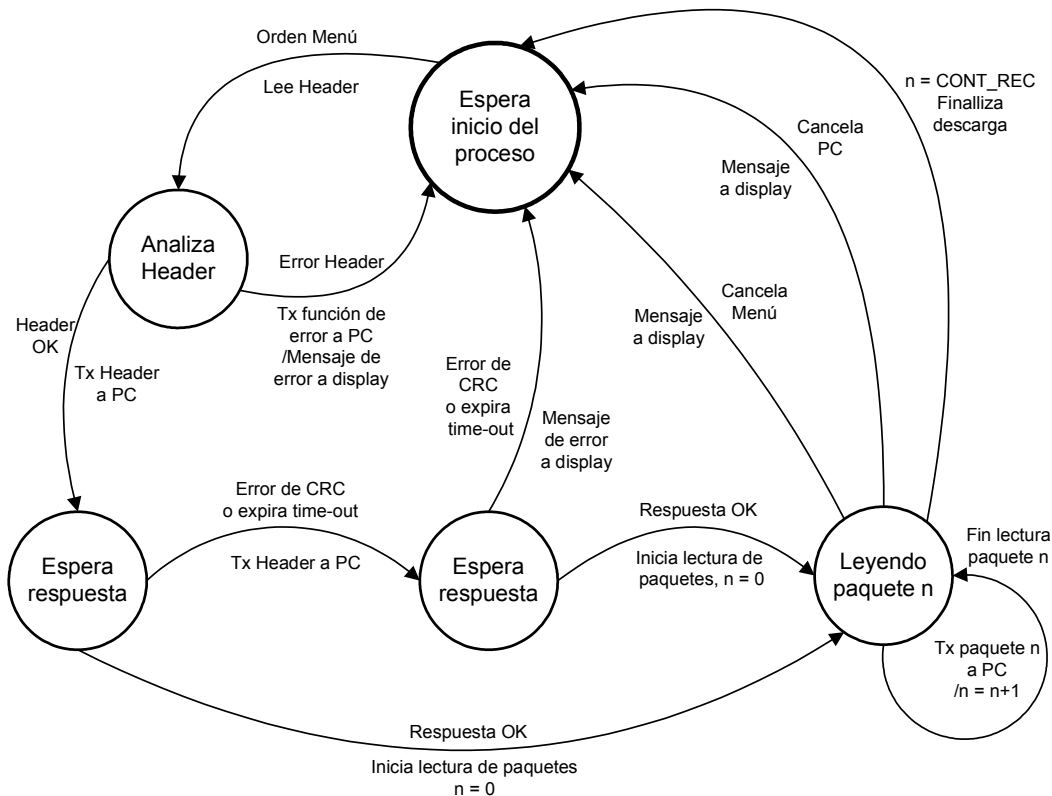


Figura 48. Diagrama de estados del proceso descarga de memoria a PC

Una vez finalizado satisfactoriamente el handshake inicial, el microcontrolador Master lee el primer paquete de datos de la memoria externa y lo envía por la red con la dirección de la PC. Terminada la primera transmisión, lee el próximo paquete y lo envía a la red de igual manera. El proceso se repite hasta completar la transferencia de la totalidad de los paquetes. Cabe aclarar que el total de paquetes almacenados se obtiene de la variable CONT_REC presente en el Header. El avance de la descarga se indica tanto en el display del equipo como en el monitor de la PC y puede ser cancelada en cualquier momento por el usuario, haciendo

uso del menú o de la aplicación. La cancelación del proceso es posible porque, como se explicó en la Sección 5.1, la programación es multitarea. Es decir, el proceso no hace uso exclusivo del CPU sino que lo libera entre lectura de un paquete y el siguiente o entre transmisiones por ejemplo. De esta manera, se puede chequear si se presiona la tecla Escape para cancelar la descarga desde el menú. En caso que se cancele el proceso se muestra un mensaje en el LCD que lo confirma.

Obsérvese que no se espera confirmación de la PC a cada paquete enviado, por lo que de haber un error en alguno de los paquetes la PC simplemente lo descarta. El motivo por el cual se adopta esta modalidad, radica en la baja tasa de falla en la comunicación a la corta distancia en que se realiza y priorizando disminuir al mínimo posible el tiempo de descarga. Implementar una transferencia segura con confirmación por paquete se traduciría en prácticamente una duplicación del tiempo de descarga, que de hecho ya resulta prolongado con la modalidad adoptada, aproximadamente 8 minutos cuando la memoria está completamente llena. Implementar un protocolo con reconocimiento negativo (NOACK) implica tener que incluir control de secuencia lo cual agrega complejidad y no se justifica. De todos modos la cantidad de paquetes descartados se indican en la aplicación de PC y queda a consideración del usuario intentar una nueva descarga libre de errores.

La velocidad de transferencia de datos en la red RS485 es de 9600 baudios en la mayoría de los casos, pero tal como se advirtió en el Capítulo 4, el caso de la transferencia de memoria a PC es una excepción en la que se trabaja a 19200 baudios. De mas está aclarar que el aumento de velocidad busca minimizar el tiempo de descarga.

Se realizó un análisis de rendimiento comparativo para velocidades de transmisión de 9600 y 19200 baudios en el que se observa por ejemplo, que para datos almacenados en configuraciones distintas a 1 segundo, el rendimiento aumenta de 10,2 paquetes/seg a 14,2 paquetes/seg para velocidades de 9600 y 19200 baudios respectivamente. Nótese que a pesar

de duplicarse la velocidad el rendimiento sólo se mejora un 40%. Esto se debe a que la velocidad de transmisión no es el único parámetro a tener en cuenta, también influyen la velocidad de procesamiento del microcontrolador y la velocidad de lectura de la memoria externa, que se mantienen constantes para ambos casos.

5.8. Borrado de memoria

El borrado de memoria es una más de las herramientas con las que cuenta la estación anemométrica y consiste en escribir “ceros” en la totalidad de las direcciones de los dos chips, incluyendo el Header. El uso de esta herramienta es útil una vez que se está seguro de que los datos contenidos en la memoria fueron descargados y debidamente almacenados en algún medio físico alternativo (CDRW, disco rígido, etc.). De esta manera la memoria queda en condiciones de volver a ser utilizada para adquirir nuevos datos. Cabe aclarar que la memoria puede reutilizarse sin un borrado previo.

El proceso se inicia una vez más por indicación del usuario a través del menú, submenú **Erase** en este caso. Tal como se procede en la transferencia de memoria a PC, se muestra un mensaje de advertencia en caso de que el equipo esté muestreando ya que de continuar se detendrá la adquisición, además se pide reconfirmación antes de proceder con el borrado porque la pérdida de datos será irreversible. El avance del borrado de memoria se muestra en el LCD, completándose el mismo cuando se indique 100% y aparezca el símbolo &.

A diferencia de la mayoría de los procedimientos de escritura en memoria externa que realiza el equipo, en los que se usa el modo de escritura por byte, en el borrado de memoria se emplea el modo de escritura por página por lo que el procedimiento resulta considerablemente más rápido.

5.9. Configuración desde PC

La configuración desde PC permite al usuario modificar todos los parámetros de funcionamiento de la estación anemométrica, incluida la fecha y la hora, a través de la aplicación de PC. La explicación detallada de cada uno de los parámetros que se pueden configurar, y cómo hacerlo, se encuentra en el *manual del usuario* en el Anexo A.

El proceso de configuración desde PC se explica, del punto de vista del microcontrolador Master, con el diagrama de estados de la Figura 49. En la Sección 7.3 se analiza el proceso con un enfoque más orientado a las acciones que se llevan a cabo en la aplicación de la PC.

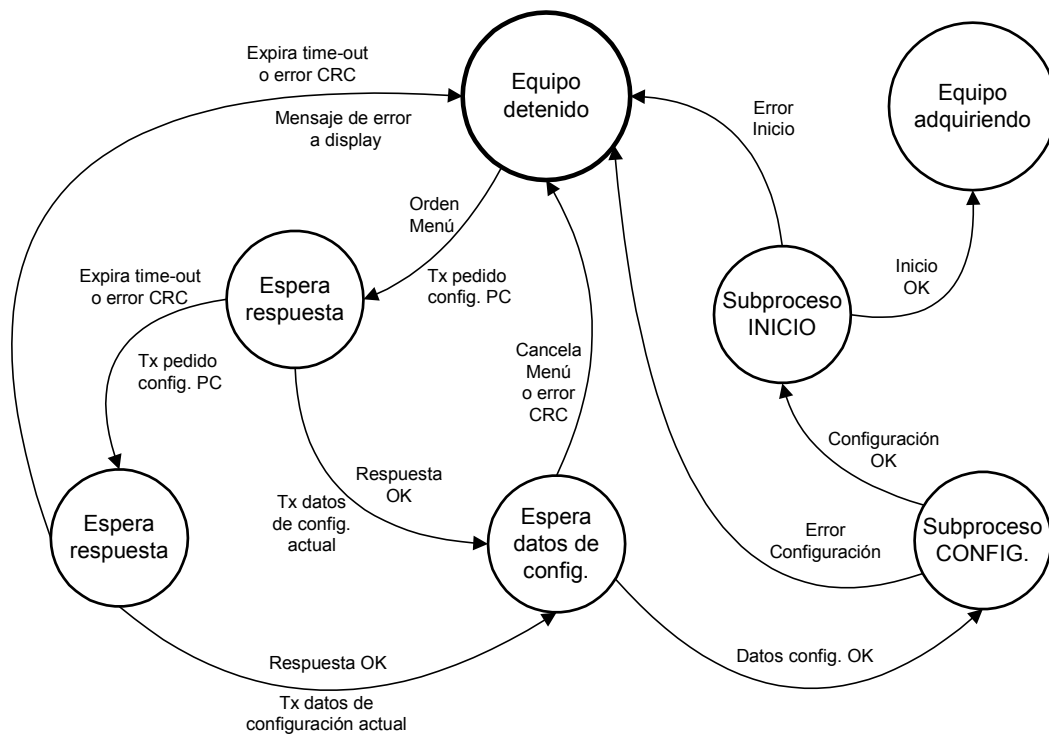


Figura 49. Diagrama de estados del proceso configuración desde PC

El proceso lo inicia el usuario por medio del teclado del equipo seleccionando la opción **PC** del submenú **Setup** y sólo es posible iniciarlo si la estación anemométrica está en el estado “*equipo detenido*”. Si se encuentra adquiriendo datos (estado “*equipo*”

adquiriendo”), se muestra un mensaje en el display que advierte que si se decide continuar se detendrá el muestreo. Una vez que se recibe la orden del menú, se transmite una trama con función pedido de configuración desde PC (0x0F) y se pasa al estado “*espera respuesta*”. Si la PC no responde, o lo hace pero se detecta error de CRC, se realiza un segundo intento. En caso de volver a fallar, se finaliza el proceso mostrando un mensaje de error en el display. Si se recibe la respuesta correcta de la PC, se pasa al estado “*espera datos de configuración*” y se envía una trama con función 0x10, la cual contiene los parámetros de configuración almacenados en el Header de la memoria, además de la fecha y hora actuales leídas del DS1307. En este estado, se espera a que lleguen los nuevos datos de configuración que el usuario seleccione en la aplicación o que el mismo cancele el proceso desde el menú. Si se reciben los datos de configuración correctamente, se envía la fecha y hora al DS1307 y se intenta un proceso de inicio de adquisición (subprocesos configuración e inicio) de la forma explicada en la Sección 5.3. Si los datos de configuración son erróneos o los subprocesos de configuración o inicio fallan, se retorna al estado “*equipo detenido*” en el que se puede realizar un nuevo intento.

5.10. Configuración de Fecha y Hora

La configuración de la fecha y de la hora se realiza a través del submenú **Time** utilizando el teclado de la estación anemométrica o a través de la PC, junto con la configuración de todos los demás parámetros.

En el caso que la configuración se realice desde la estación anemométrica, el usuario modifica los valores del día, mes, año, hora, minutos y segundos (en este orden) que se almacenan en variables de 8 bits en forma decimal. Luego de que el usuario confirme la fecha y hora seleccionada, cada una de las variables se convierten a BCD y se envían de manera

consecutiva al DS1307. Para transmitir los datos se utiliza el protocolo I²C con el formato ya descrito en la Subsección 2.2.2.

Si se intenta configurar la fecha y la hora cuando el equipo se encuentra adquiriendo, se muestra un mensaje de advertencia en el display indicando que si se decide continuar se detendrá el muestreo.

5.11.Causa y efecto de los Resets

La estación anemométrica desarrollada en la presente tesis tiene la particularidad de que una vez configurada e iniciado el muestreo por un operario, funciona en forma autónoma, en ocasiones, en lugares aislados y durante un tiempo prolongado. Como es de esperar, a lo largo de su funcionamiento el equipo no está libre de la ocurrencia de diversas fallas, tanto de origen interno como externo. Dadas estas características se estableció como condición de diseño que ante cualquier falla se intentará reestablecer el funcionamiento normal del equipo, en la medida que sea posible y en el estado en que se encontraba.

Para cumplir con su cometido el microcontrolador Master está dotado con la habilidad de poder generar un reset por diferentes causas, ante ciertas fallas. A continuación se explican cada uno de los reset y la acción que realiza el microcontrolador luego de la ocurrencia de cualquiera de ellos.

5.11.1 *Brown-out Reset*

El microcontrolador PIC18F452 posee un módulo que está continuamente sensando el valor de la tensión de alimentación, cuando ésta baja de cierto margen configurable, puede generar un reset. La finalidad de este reset es evitar que el microcontrolador continúe la ejecución del programa, y posiblemente realice operaciones inválidas, mientras la tensión de

alimentación no esté dentro del rango de operación permitido. Una de las causas de este reset puede ser una baja de tensión temporaria en la línea de *220V*.

5.11.2 Watchdog Timer Reset

El Watchdog Timer (WDT) es un contador independiente con un oscilador RC interno. En operación normal el WDT genera un reset del dispositivo cuando ocurre un time-out por desbordamiento del contador. El período nominal del time-out es de *18ms* (varía con la temperatura, con VDD y entre dispositivos diferentes) pero el WDT posee un postscaler asociado de ser necesarios períodos más largos, pudiéndose alcanzar time-outs de hasta *2,3 segundos*. La potencialidad del WDT está en poder detectar si el microcontrolador se “cuelga”, es decir, detectar si el programa entra en un bucle infinito o se queda en algún bucle por demasiado tiempo. La técnica consiste entonces en calcular o medir el tiempo que el microcontrolador tarda en completar un ciclo completo de ejecución del programa en el peor de los casos, y configurar el postscaler de manera tal que el time-out sea superior a dicho tiempo sumado a un margen de seguridad establecido (3 o 4 veces). Mediante un ensayo que consistió en hacer un “toggle” en un pin del microcontrolador cada vez que el puntero del programa pasara por un mismo punto del lazo principal, y observar mediante un osciloscopio el período de la onda generada en diferentes situaciones de funcionamiento, se determinó que la configuración adecuada del postscaler sea *1:32* lo que corresponde a *512ms* de time-out. El WDT debe ser reseteado (inicializado a 0) cada vez que se complete un ciclo completo del programa para evitar que ocurra un time-out mientras la ejecución sea normal. La acción de resetear el WDT se lleva a cabo en el lazo principal del programa donde tiene lugar la ejecución del Scheduler.

5.11.3 Power-on Reset

Este reset se genera cuando el microcontrolador detecta que la tensión de alimentación (VDD) se eleva producto de haberse conectado la fuente de energía. Si bien la causa de este reset puede ser el encendido normal del equipo por voluntad del operario, también puede ser causa del reestablecimiento de la energía tras un corte. La falta de energía que genera la falla puede ser por ejemplo porque la batería deje de funcionar por estar a temperaturas extremadamente bajas, o porque esté descargada y el panel no reciba la suficiente radiación solar para cargarla al permanecer el cielo nublado demasiado tiempo.

El microcontrolador posee dos Timers asociados al Power-on Reset, el PWRT (Power-up Timer) y el OST (Oscillator Start-up Timer). El PWRT opera con un oscilador RC interno y provee un retardo fijo de $72ms$ durante el cual el dispositivo se mantiene en reset para permitir que VDD alcance un valor aceptable. El OST proporciona un retardo adicional de 1024 ciclos del oscilador (en la entrada OSC1) luego de que culminó el retardo del PWRT, esto ayuda a asegurarse que el cristal comenzó a oscilar y se estabilizó.

5.11.4 MCLR Reset

El Master Clear Reset (MCLR) no se produce por sí sólo ante una falla sino que lo genera voluntariamente el operario tras presionar un pulsador. La finalidad del mismo es poder forzar un reset en el momento que se lo desee para que el microcontrolador se inicialice, esto es de utilidad por ejemplo ante una eventual falla generalizada no detectada por los demás mecanismos.

5.11.5 Acciones realizadas ante la ocurrencia de algún reset

Luego de haber explicado las diferentes fuentes de reset con las que se cuenta en el microcontrolador Master, se expone cómo se procede ante la ocurrencia de alguno de ellos.

En general, el propósito de cualquier reset es llevar al microcontrolador a un estado conocido, a partir del cual se puedan tomar diferentes acciones para su inicialización según haya sido la causa que generó el mismo. En particular, para el equipo en cuestión se decide realizar siempre la misma acción, persiguiendo el objetivo de reestablecer el normal funcionamiento en el modo previo al reset, cualquiera haya sido su causa. El primer paso consiste en leer el Header de la memoria externa y observar el contenido del byte 10, en cuyos 4 bits menos significativos se encuentra almacenado el estado de funcionamiento, “*equipo detenido*” o “*equipo adquiriendo*”. Según el resultado de la lectura se procede de las siguientes formas:

Equipo adquiriendo: el código que acusa este estado es *0x05* e indica que hasta el momento en que se produjo el reset el equipo se encontraba muestreando según la configuración también almacenada en los diferentes bytes del Header. La acción a tomar en este caso, es reestablecer los parámetros de configuración necesarios (Intervalo de adquisición, CONT_REC, etc.) e intentar un proceso de inicialización para retomar el funcionamiento normal. En caso de que no estén dadas las condiciones, la adquisición no se inicia.

Equipo detenido: el código leído en este caso es *0x07* e indica que el sistema no estaba adquiriendo al momento de producirse el reset. En este estado se restaura la configuración guardada en memoria externa pero no se realiza el proceso de inicialización. El objetivo de esta restauración es contar con el valor de los parámetros configurados en memoria RAM para poder mostrarlos en pantalla en caso de que el usuario lo solicite. La utilidad de este procedimiento radica en poder chequear el contenido del Header de diferentes memorias, para así contar con los datos suficientes para identificar el equipo donde la memoria estuvo colocada, en qué lugar se adquirió, con qué configuración, el porcentaje de memoria utilizado, entre otros.

Estado no reconocido: a este estado se llega si la memoria está vacía, no tiene formato, se encuentra con errores o simplemente no está conectada. La forma de actuar en este caso es inicializar todas las variables en un valor por defecto y por supuesto no inicializar el muestreo.

5.12. Diseño del circuito impreso

El desarrollo de la estación anemométrica se efectuó íntegramente sobre placas de prueba (protoboards), en condiciones de laboratorio. Una vez finalizada esta etapa, se migró de cada una de las placas de prueba a los respectivos prototipos de los circuitos impresos (PCB's). En la Figura 50 se observa el aspecto del Master tanto en la placa de prueba como montado en su circuito impreso correspondiente.

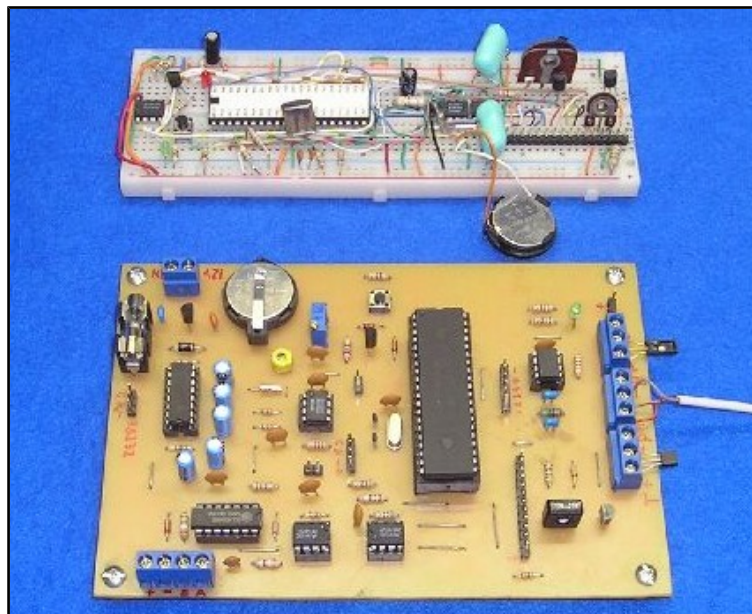


Figura 50. Evolución del Master

Los circuitos impresos se realizaron con el software Protel 99 SE que es una herramienta para el diseño asistido por computadora de PCB's.

Para el diseño se tuvieron en cuenta las siguientes reglas:

- Ordenamiento de los componentes según la funcionalidad y señales asociadas a los mismos.
- Filtrado del ruido de las líneas de alimentación de los circuitos integrados (CI's). Esto se realizó colocando capacitores de desacople próximos a los CI's.
- Separación de masas analógicas y digitales para evitar que el ruido de las componentes de alta frecuencia de las señales digitales, interfieran en las analógicas. Este problema es significativo, ya que una señal de ruido de $5mV$ afecta directamente a las mediciones realizadas con el conversor A/D de 10 bits utilizado.

En la Figura 51 se muestra el diseño del PCB de la placa Master. Además se realizaron las placas de la memoria (ver Figura 52), de los sensores de la base (Figura 53) y del teclado (Figura 54).

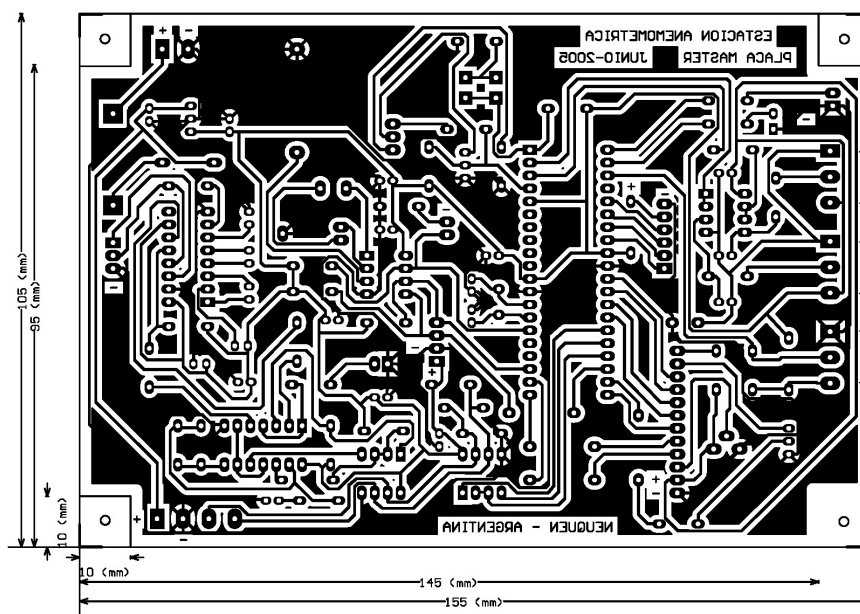


Figura 51. Diseño del PCB del Master

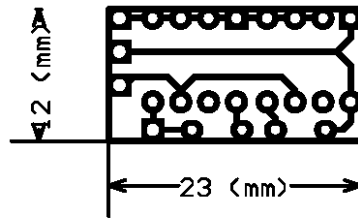


Figura 52. Diseño del PCB de la memoria

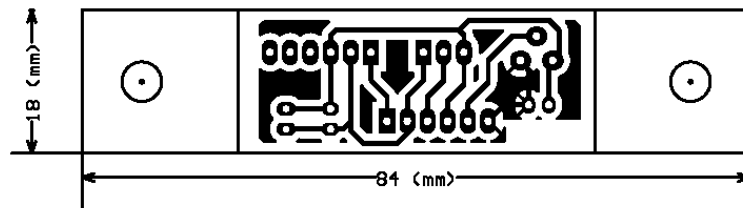


Figura 53. Diseño del PCB de los sensores de la base

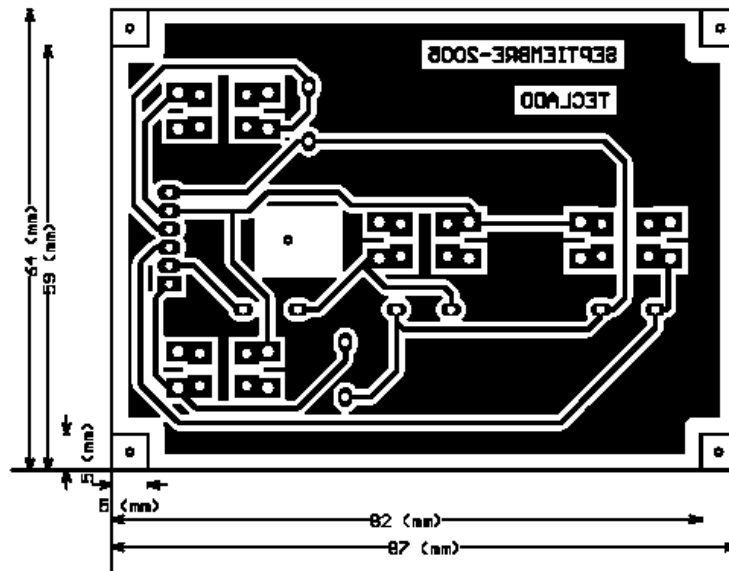


Figura 54. Diseño del PCB del teclado

6. Slave: software y hardware

Como se mencionó anteriormente, la estación anemométrica realiza mediciones a dos alturas, donde se encuentra en cada una un microcontrolador con su respectivo hardware. En estos dos lugares de medición se tienen circuitos eléctricos idénticos salvando la identificación de cada Slave. Esto se hace a través de una entrada del microcontrolador por la cual se selecciona por hardware si es Slave 1 o Slave 2 para luego poder direccionarlo desde el Master. En este capítulo se hará una explicación del software y hardware de un Slave genérico cuyo circuito impreso se muestra en la Figura 55.

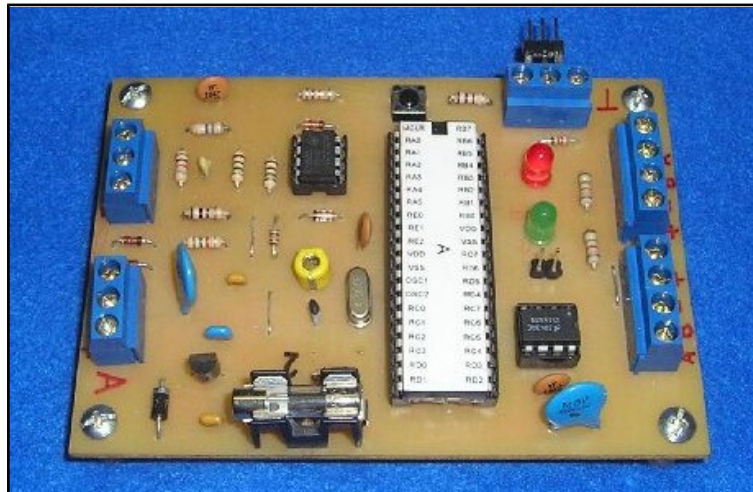


Figura 55. Placa del Slave

El microcontrolador utilizado en los Slaves es el PIC16F877A y se encarga de administrar todos los procesos que incumben a las mediciones de temperatura, velocidad y dirección del viento, como así también, el procesamiento de los datos para luego transmitirlos al microcontrolador Master a través de la red RS485.

6.1. Esquema general

En la Figura 56 se muestran, en un diagrama en bloques del microcontrolador Slave, las principales partes del mismo y la adaptación de señal para las distintas mediciones.

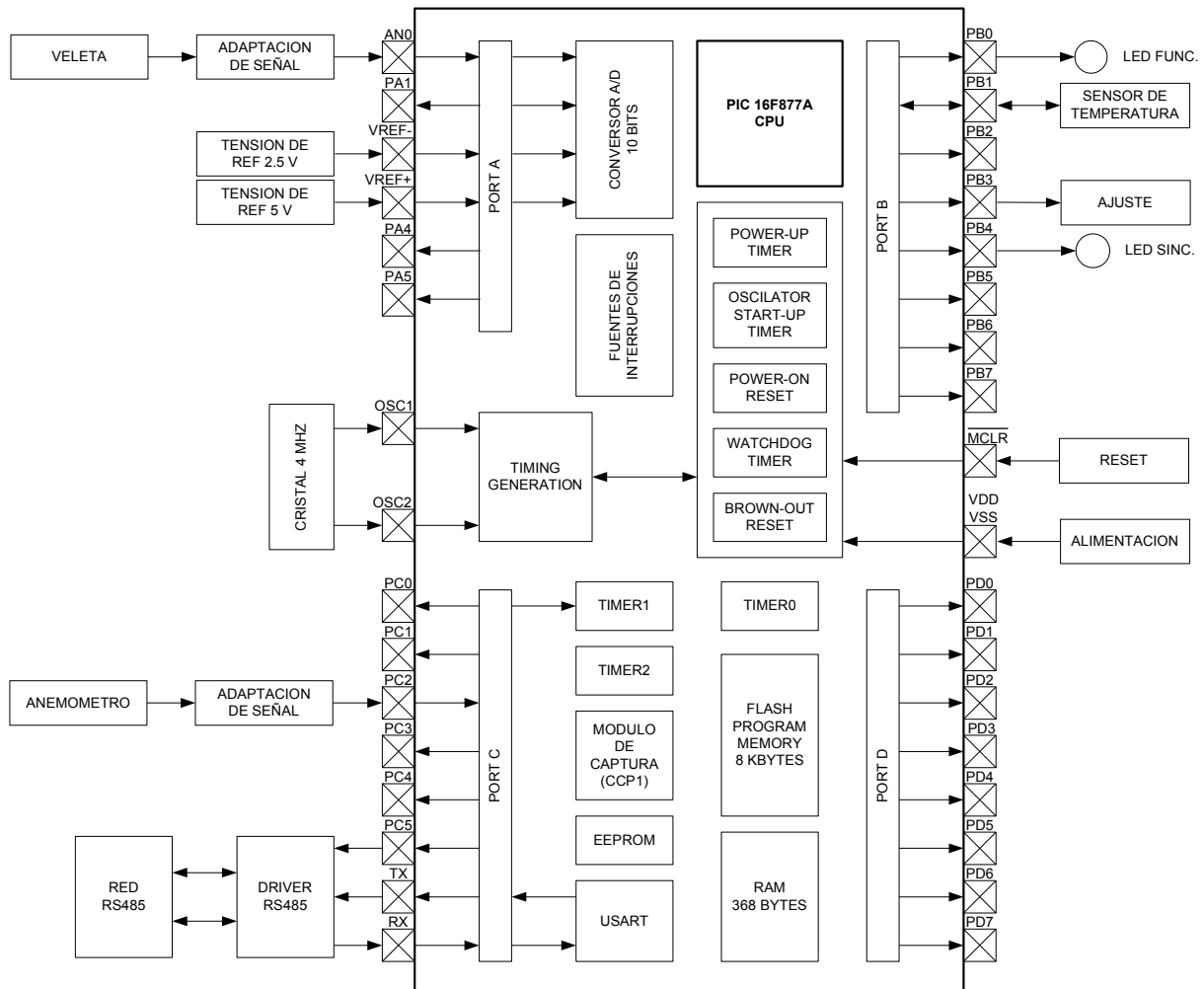


Figura 56. Diagrama en bloques del microcontrolador Slave

Una de las partes utilizadas del microcontrolador, son las fuentes de interrupción. Se usan cuatro fuentes de las catorce que tiene disponibles, a continuación se detalla a qué módulos están asignadas:

- Timer2. El microcontrolador Slave se vale de esta fuente de interrupción, con su base de tiempos configurada en $40ms$, para obtener el intervalo de muestreo

de un segundo en el que se ejecutan los procesos de medición. Dicha fuente de interrupción está siempre habilitada mientras el equipo está adquiriendo ya que es la que prepara la mayoría de los procesos del Slave.

- USART. Esta fuente de interrupción es configurada sólo para la recepción de datos, así el Slave siempre está a la espera de la recepción de las órdenes del Master.
- Módulo de captura (CCP1). El Slave mide la velocidad del viento a través de este módulo y utiliza esta fuente de interrupción para observar los cambios de nivel en la entrada del microcontrolador a la cual se conectó el anemómetro. A su vez este módulo tiene asociado el Timer1 que da una referencia de tiempo cuando ocurre un evento en la entrada.
- Timer0. La fuente de interrupción de este timer se utiliza tanto en la recepción como así también en la transmisión de datos. Es decir, a través de ella se controlan los tiempos del protocolo utilizado en esta estación anemométrica.

El microcontrolador Slave realiza el proceso de medición de dirección del viento a través del módulo de conversión A/D. Además, mide la temperatura a la altura correspondiente mediante el sensor DS18S20.

La técnica elegida para la programación de los Slaves es la de multitarea mencionada en la Sección 5.1. Dicha elección se hizo por la compleja coordinación de los procesos de medición de las distintas variables. El algoritmo principal del microcontrolador está compuesto por un Scheduler o secuenciador que es el que se encarga de activar los procesos del Slave.

6.2. Medición de temperatura, velocidad y dirección del viento

En los microcontroladores Slaves, los procesos de medición de estas tres variables se ejecutan una vez por segundo, realizando cálculos de valores máximos, mínimos, promedios y desvíos estándar según el intervalo de adquisición con el que esté configurada la estación anemométrica.

Para cada altura, se tuvieron en cuenta los circuitos de adaptación de señal de los sensores de velocidad y dirección del viento citadas en las Secciones 3.4 y 3.5 respectivamente. En el caso de la medición de temperatura, el sensor entrega una señal digital por lo que no tiene un circuito de adaptación de señal (ver Sección 3.1).

A continuación se describirán los procesos de medición de temperatura, velocidad y dirección del viento que se ejecutan en el Slave.

6.2.1 *Proceso de medición de Temperatura*

Este proceso se basa en el manejo del sensor DS18S20 mediante el protocolo 1-wire explicado en la Sección 3.1. A través de dicho proceso, el microcontrolador envía la orden de inicio de conversión al sensor y pide los datos medidos por el mismo. Luego, al recibir estos últimos, realiza un chequeo de errores mediante el algoritmo CRC. Si el chequeo no resulta exitoso, queda a la espera en el Scheduler de ejecutarse nuevamente el proceso. Ahora, si el chequeo resulta exitoso, se va calculando (en punto flotante) el valor máximo, mínimo y promedio del intervalo de adquisición. Si el intervalo de adquisición es de *1 segundo*, la variable queda con la temperatura instantánea del intervalo de muestreo. El proceso descrito es idéntico al del microcontrolador Master explicado en la Sección 5.5.1.

Cuando el microcontrolador Slave da la orden al sensor de que inicie una conversión tarda como máximo *750ms* en realizarla. Por lo que hay que esperar dicho tiempo para que el Slave pueda pedirle el dato medido. Este tiempo es considerable con respecto a la frecuencia

de muestreo de un segundo con la que se hacen las mediciones en la estación anemométrica, ya que quedan sólo *250ms* para poder armar los datos de todas las mediciones del Slave. La solución que se encontró fue dar la orden de inicio de conversión en cada segundo seguida de un pedido de dato medido, así siempre se pide la medición del intervalo anterior. En el caso que se inicie la medición en la estación anemométrica, se da la orden de inicio de conversión al sensor cuando llega la función de configuración enviada por el Master.

6.2.2 *Proceso de medición de Velocidad del viento*

En este proceso se calcula velocidad máxima, mínima, promedio y desvío estándar del intervalo de adquisición, salvo cuando el intervalo es de *1 segundo* donde se mide velocidad instantánea.

Para medir la velocidad del viento más alta del intervalo de adquisición, cada segundo se compara el valor de la velocidad recién medida con el valor máximo registrado hasta ese momento. Si el valor medido es mayor a dicho valor máximo, esta velocidad se transforma en el nuevo valor máximo del intervalo. Además se almacena la dirección en la que ocurrió la velocidad máxima. Por otro lado, la velocidad del viento más baja del intervalo de adquisición se calcula de manera similar a la velocidad máxima.

El promedio de velocidad del viento que se realiza en este proceso es el aritmético y se calcula como la suma de todas las muestras tomadas en un intervalo de adquisición dividido la cantidad de muestras adquiridas en ese intervalo. Dicho promedio se expresa matemáticamente de la siguiente forma,

$$prom = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \text{ donde } x_i \text{ son las muestras y } n \text{ es el valor total de muestras del intervalo}$$

de adquisición.

Por último, para calcular el desvío estándar (*STD*) de los datos, indicador que da noción de la turbulencia del viento, se utilizan con todas las muestras del intervalo de adquisición tomadas cada un segundo. Matemáticamente se expresa,

$$STD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n v_i\right)^2}{n-1}}$$

, donde v_i son las muestras de la velocidad y n es el total de

muestras del intervalo de adquisición.

Estos cálculos se realizan en punto flotante y al final del intervalo de adquisición se realiza un redondeo y se lo multiplica por 10. Esto último se hace para poder representarlos con un decimal después de la coma. Esta multiplicación hace que el rango de la variable de la medición de velocidad del viento quede de 0 a 960 con lo que se necesitan 10 bits para poder representarla.

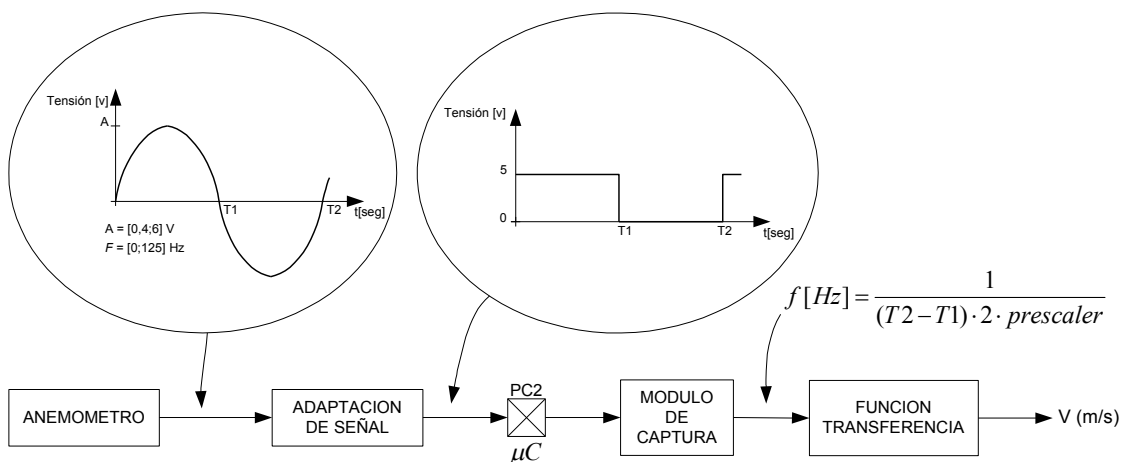


Figura 57. Esquema del proceso de medición de la velocidad del viento

Para medir velocidad del viento se utilizó un anemómetro NRG#40 el cual entrega una señal sinusoidal a su salida como se explicó en la Sección 3.4. Dicha señal pasa por una etapa de adaptación, quedando una onda cuadrada entre 0V y 5V de frecuencia variable proporcional a la velocidad del viento. Luego, la señal es inyectada en la entrada del

microcontrolador a la cual está asociado el módulo de captura. Con este módulo se mide un semiperíodo de la onda cuadrada para luego de realizar los pasos matemáticos indicados en la Figura 57, obtener la frecuencia. Finalmente, al pasar la misma por la función transferencia del sensor se obtiene la velocidad del viento en m/s (ver Figura 57).

Con el módulo de captura (CCP1) se pueden observar cambios de nivel (flancos ascendentes y/o descendentes) a la entrada del microcontrolador. Este módulo es independiente, es decir, realiza su función mientras el CPU del microcontrolador es utilizado por otro proceso. Esta característica es importante porque aporta flexibilidad al proceso, ya que de lo contrario se tendría que dedicar un proceso a observar los cambios de nivel en la entrada. Si fuera así y no apareciera ningún cambio en el intervalo de muestreo, no se podrían realizar los otros procesos de medición. Este módulo tiene asociado, además de la fuente de interrupción, el Timer1 de *16bits* del cual captura el valor cuando ocurre un evento en la entrada del microcontrolador.

El módulo se habilita al inicio del intervalo de medición y se configura el mismo según que tipo de evento pueda aparecer en la entrada. Este módulo puede ser configurado para que capture un flanco ascendente o descendente observando la entrada y previendo qué flanco vendrá. Esto último se entenderá mejor a través del siguiente ejemplo, si la entrada está en nivel bajo se preverá que el flanco que viene es ascendente. Después que sucede el primer cambio de nivel, dentro de la interrupción del CCP1 se configura nuevamente el módulo, para poder observar el segundo flanco de la señal de onda cuadrada que es inyectada en la entrada del Slave. Cada vez que ocurre un cambio de nivel, se guarda el valor del Timer1 capturado por el módulo en una variable temporal. Luego de pasar dos cambios consecutivos en la entrada, se deshabilita el módulo y se realiza una resta entre los valores guardados, quedando así un valor proporcional al semiperíodo de la señal de entrada.

El semiperíodo de la señal cuadrada que el microcontrolador puede observar varía entre $4ms$ ($125Hz$) y $480ms$ ($1,04Hz$). El valor máximo del semiperíodo que el Slave observa podría ser mayor a $480ms$ ya que el sensor entrega una señal de salida que llega hasta $1162ms$ (semiperíodo de $581ms$). Pero esto es en el caso en que uno de los semiperíodos de la señal de entrada entra completo en el intervalo de muestreo (ver gráfico *a* de la Figura 58). Así se puede calcular el semiperíodo de la señal de entrada valiéndose de los dos cambios de nivel de la señal cuadrada que se encuentran en el intervalo de muestreo. Ahora si ninguno de los semiperíodos de la señal de entrada entra completo en el intervalo de muestreo como se muestra en el gráfico *b* de la misma figura, el microcontrolador sólo observará un cambio de nivel y no podrá calcular el semiperíodo de la señal de entrada.

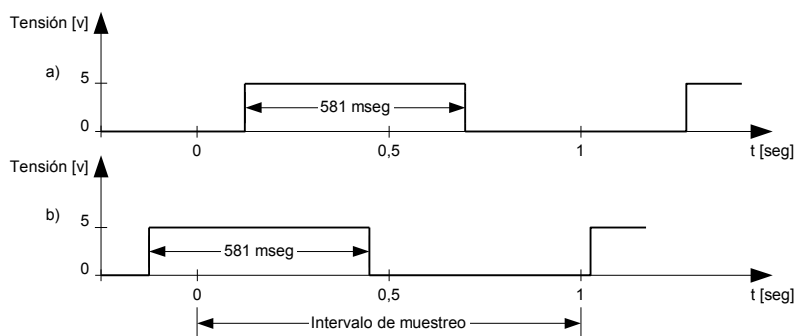


Figura 58. Señal de semiperíodo máximo que entrega el anemómetro

El valor máximo teórico del semiperíodo con el que siempre se puede medir la velocidad del viento es de $500ms$. Para este valor el microcontrolador siempre cuenta con dos flancos para medir el semiperíodo de la señal de entrada. En la Figura 59 se presentan algunos ejemplos.

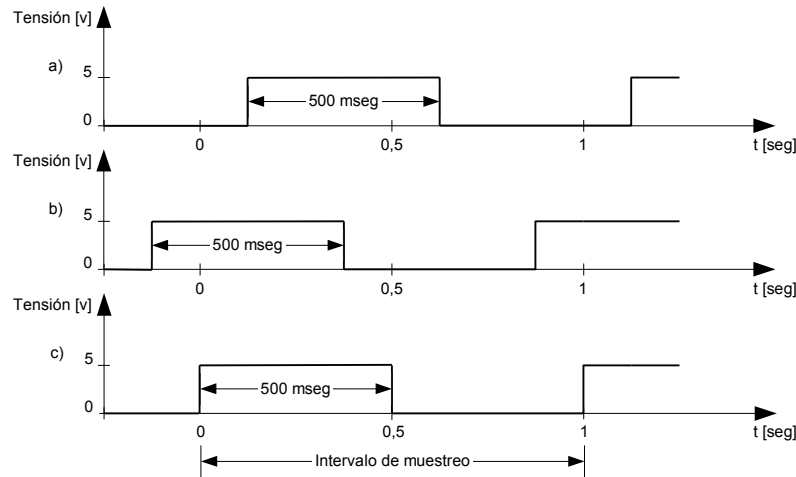


Figura 59. Ejemplos de una señal de semiperíodo de 500ms

Se llegó a la conclusión de que sólo se podrán medir semiperíodos mayores a 500ms dependiendo de la aleatoriedad de cómo entre la señal de entrada con respecto al intervalo de muestreo de un segundo con el que cuenta la estación anemométrica. Una posible solución hubiese sido ampliar el intervalo de muestreo pero estaría fuera de los parámetros con los que se pensó desarrollar la estación anemométrica.

Además, existe otra limitación con el valor máximo de semiperíodo que el microcontrolador puede medir. Este valor está limitado por el prescaler del Timer1 del microcontrolador y el cristal del mismo. El máximo valor del prescaler con el que se puede configurar el Timer1 es 8 y con un cristal de 4MHz se puede llegar a medir como máximo 524ms. Si la señal de entrada sobrepasara este último valor se desbordaría el contador del Timer1 y la medición sería errónea. Para solucionar esta cuestión se implementó una ventana de medición para evitar el desborde del contador del Timer1 (ver Figura 60). Esta ventana es implementada a través de un contador, utilizando el Timer2, que es activado en la interrupción asignada al módulo de captura cuando ocurre el primer cambio de nivel. Al cabo de un tiempo, entre 480ms y 520ms, sin aparecer el segundo flanco, se deshabilita el módulo de captura del microcontrolador desde la interrupción del Timer2. Si aparece un segundo

cambio de nivel en la entrada, se deshabilita el módulo de captura desde la interrupción asociada a este último. Cuando el contador está activado, se incrementa cada vez que la fuente de interrupción del Timer2 con base de tiempo de $40ms$ se ejecuta. El tiempo de la ventana es variable entre $480ms$ y $520ms$ debido a la incertidumbre de la ocurrencia del primer cambio de nivel, en el cual se activa el contador, con respecto a la interrupción del Timer2 que es la que incrementa dicho contador. Esta diferencia de tiempo es variable y puede tomar valores entre 0 y $40ms$.

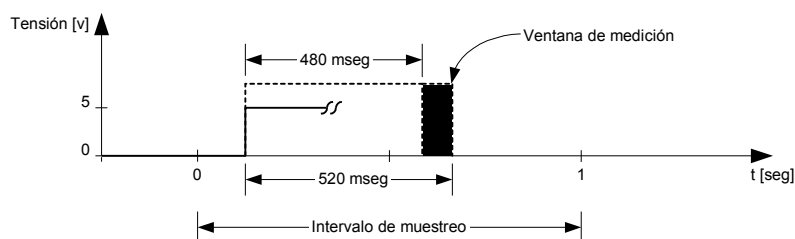


Figura 60. Ventana de medición del proceso de medición de la velocidad del viento

Finalmente se concluye que el valor máximo de semiperíodo que el Slave puede observar siempre es de $480ms$. Para este valor la estación anemométrica siempre puede calcular el valor de la velocidad del viento. No obstante, no se descarta que el Slave pueda medir valores entre $480ms$ y $520ms$, esto dependerá de si entra un semiperíodo completo en el intervalo de muestreo para que el microcontrolador pueda realizar la medición.

Lo anteriormente expuesto es para casos donde la velocidad del viento es baja. Ahora para observar la “calma”, se realizó un algoritmo con el cual después de un cierto tiempo que no aparezca ningún cambio de nivel en la entrada, se deshabilita el proceso de medición de velocidad del viento quedando el valor de la variable en $0m/s$. El algoritmo se implementó a través de un contador de $480ms$, que se inicia al comienzo del intervalo de muestreo y se incrementa con una base de tiempo de $40ms$ cada vez que la fuente de interrupción del Timer2

se ejecuta. En la Figura 61 se muestra un ejemplo donde no aparece ningún cambio de nivel en el intervalo de muestreo, es decir, no hay viento. Al cabo de $480ms$ del comienzo del intervalo de muestreo se deshabilita el proceso pudiendo así observar la “calma”. Véase que al no presentarse ningún cambio de nivel, no se activó la ventana de medición ya que la misma se habilita cuando aparece un flanco en la señal de entrada.

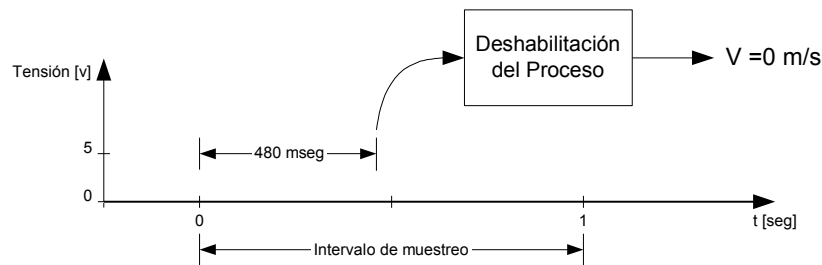


Figura 61. Ejemplo cuando hay “calma”

El valor del contador con el que se observa la calma se eligió de tal forma de que el microcontrolador pueda detectar una señal de entrada de semiperíodo máximo de $480ms$. Este valor se debe a un caso particular, ya que si justo antes de cumplirse los primeros $480ms$ aparece un cambio de nivel, el microcontrolador puede observar, con la ventana de medición, esta velocidad (ver gráfico *a* de la Figura 62). Recordar que el valor máximo de la ventana de medición que detecta siempre el Slave es de $480ms$. Si el cambio de nivel se hace presente en la entrada después de $480ms$, es decir, una señal de entrada con un semiperíodo mayor a $480ms$, la estación anemométrica no lo observará. Para estos casos la velocidad del viento es muy baja y la estación anemométrica lo considera como “calma” (ver gráfico *b* de la Figura 62).

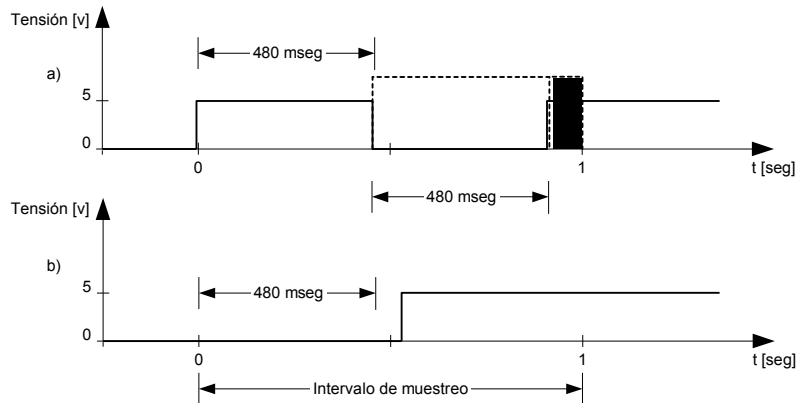


Figura62. Casos puntuales cuando la velocidad del viento es muy baja

El tiempo que le lleva al microcontrolador medir la velocidad del viento en el peor de los casos es de $960ms$ como se ve en la Figura 63. Esto se debe a que si el primer cambio de nivel se presenta entre los $440ms$ y $480ms$ del intervalo de muestreo, la ventana de medición se extenderá hasta los $960ms$. Quedando así $40ms$ para poder realizar los cálculos de valores máximos, mínimos y promedios que transmite el Slave cuando se lo solicita el Master.

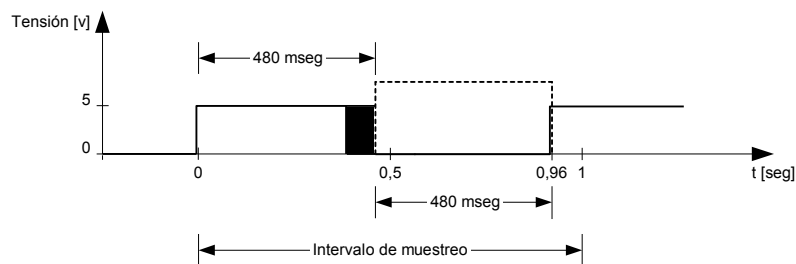


Figura 63. Tiempo máximo del proceso de medición

Como se vio en la Sección 3.4 el anemómetro tiene una exactitud de $0,1m/s$ (entre $5m/s$ y $25m/s$), su rango de medición es de $1m/s$ a $96m/s$ y tiene la siguiente función de transferencia

$$v[m/s] = 0,765 \cdot f[Hz] + 0,35 .$$

La frecuencia de la señal que entrega el anemómetro varía de 0Hz a 125Hz . Se puede apreciar en esta función que hay una relación lineal entre la velocidad del viento y la frecuencia. Ahora, si la expresamos en función del período de la señal que entrega el sensor, quedará

$$v[\text{m/s}] = 0,765 \cdot \frac{1}{T[\text{s}]} + 0,35.$$

Se puede observar que la ecuación anterior es una función homográfica. Para mostrar esto más claramente, en la Figura 64 se realizó la gráfica de la misma, donde se puede apreciar que a variaciones (Δv) en velocidades pequeñas, corresponden grandes variaciones de período (por ejemplo, ΔT_1 en la Figura 64). Y a variaciones (Δv) en velocidades grandes, corresponden pequeñas variaciones de período (por ejemplo, ΔT_2 en la Figura 64).

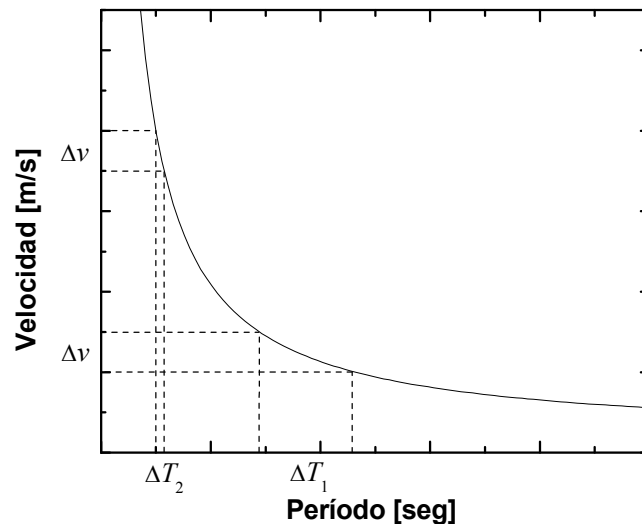


Figura 64. Gráfica de la velocidad en función del período

Con el microcontrolador Slave se buscó detectar las variaciones de $0,1\text{m/s}$ que corresponden a la exactitud que posee el anemómetro, que serían las variaciones (Δv) citadas en el párrafo anterior. Para poder observar la velocidad más baja se configuró el prescaler del Timer1 en 8 como se explicó anteriormente en esta sección. Ahora para altas velocidades, con esta configuración no se podría detectar la exactitud que tiene el

anemómetro debido a la no linealidad de la función transferencia. En la Tabla 9 se observa que una diferencia de $0,1m/s$ a bajas velocidades corresponde a una diferencia grande en período. Pero a altas velocidades, una diferencia de $0,1m/s$ corresponde a una diferencia pequeña en período, alrededor de $8\mu s$. Con esta diferencia de período y con el prescaler en 8, no se alcanza a la exactitud del anemómetro. La solución para este problema fue implementar un autoescalamiento, es decir, después de cierta frecuencia cambiar la configuración del prescaler de forma tal que se llegue a la resolución requerida por la estación anemométrica.

Tabla 9. Cálculos de velocidad en función del período obtenidos de la función transferencia del anemómetro

$v[m/s]$	$\Delta v[m/s]$	$T[\mu s]$	$\Delta T[\mu s]$
1,88	0,1	500.000	30.674
1,98		469.324	
8	0,1	100.000	1.290
8,1		98.710	
17,94	0,1	43.478	245
18,04		43.233	
27,125	0,1	28.571	106
27,225		28.465	
46,25	0,1	16.666	36
46,35		16.630	
61,55	0,1	12.500	20
61,65		12.480	
76,85	0,1	10.000	13
76,95		9.987	
95,975	0,1	8.000	8
96,075		7.992	

El Slave cambia el prescaler cuando observa en la entrada una frecuencia mayor a $16Hz$. Esta frecuencia fue elegida por una cuestión de programación, siendo la frecuencia límite $79Hz$ para la que el Slave puede resolver $0,1m/s$. Este límite sale de buscar la frecuencia para la cual el incremento en $8\mu s$ del semiperíodo, representa una variación de $0,1m/s$ de la velocidad. Con la frecuencia de $16Hz$ tenemos un semiperíodo de $31,2ms$, al

observar éste, se cambia el prescaler de 8 a 1 y se vuelve a medir el semiperíodo. Esto se puede hacer debido a que para frecuencias mayores a 16Hz los semiperíodos son pequeños y entran más de uno en el intervalo de muestreo.

6.2.3 Proceso de medición de Dirección del viento

La medición de la dirección del viento se hace a través del módulo de conversión A/D de 10bits que tiene el microcontrolador como se vio en la Figura 56. Con este módulo se observan las variaciones de la veleta *NRG #200P* [28] que indican la dirección del viento.

En este proceso se realizan cálculos, dentro del intervalo de adquisición, para representar la medición de la dirección del viento. Realizar el cálculo del promedio de la dirección del viento en forma aritmética no es adecuado, porque una lectura de 45° y una de 315° promediarían 180° (Sur) en lugar de 0° (Norte) como resulta realmente. Por este motivo, se estudiaron como alternativa para calcular el promedio, la forma estadística y la vectorial.

La forma estadística no fue elegida debido a que la implementación de la misma necesitaba un tamaño de memoria que los microcontroladores utilizados no poseen. Este obstáculo se hizo presente al calcular la dirección más frecuente de la dirección del viento en el intervalo de adquisición. Para realizar este cálculo estadístico se necesitaban tener 360 lugares para almacenar la frecuencia de aparición de cada dirección, para el caso de que en un intervalo se hagan presentes todas las direcciones del viento. Además, que cada lugar pueda representar un máximo de 3600 ocurrencias de la misma, para el caso de que en una hora de adquisición la dirección no cambie. Estos casos son extremos pero hay que tenerlos en cuenta en el diseño.

Ahora, en la forma vectorial no se necesitan tantos requisitos de memoria pero también se sortearon obstáculos, como la implementación en los microcontroladores de funciones trigonométricas y el tiempo de resolución de estas mismas. El primero de ellos, se

resolvió a través de la elección del lenguaje de programación C, y el segundo, teniendo en cuenta, en el diseño, el tiempo que tarda el proceso en ejecutarse.

En este proceso se representa al vector de la dirección del viento en forma rectangular para realizar los cálculos en punto flotante (Figura 65). Al final del intervalo, a través de sus componentes, se calcula la dirección del viento para la máxima y mínima velocidad, como así también el promedio con norma unitaria. Estos cálculos se realizan si el intervalo de adquisición no es cada un segundo, si este último fuera el caso, sólo se guarda la medición instantánea de la dirección del viento.

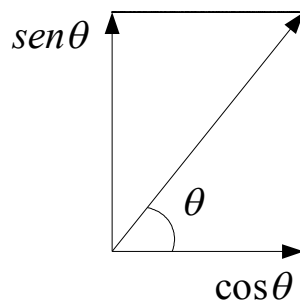


Figura 65. Descomposición de un vector de norma 1

Para transmitir los valores cuando el Master los solicita, se realiza un redondeo del valor de la dirección del viento, ya que la misma está en punto flotante. Se necesitan *9bits* para poder representar esta variable ya que su rango va de 0° a 360° con una resolución de 1° .

6.3. Funcionamiento del Slave

El microcontrolador Slave además de contar con los procesos de medición de temperatura, dirección y velocidad del viento, también posee otros para transmitir y recibir las tramas de la red RS485, iniciar la adquisición, algoritmos de Resets, entre otros.

En condiciones normales el Slave está a la espera de un inicio de adquisición. Ahora si el equipo o el circuito del Slave se queda por algún motivo anómalo sin alimentación, el Slave

se vale de algoritmos de Resets (ver Sección 6.3.4) para saber qué hacer al reiniciarse. Estos algoritmos utilizan la memoria de datos EEPROM para determinar si el equipo estaba adquiriendo o no. Si la estación anemométrica no estaba adquiriendo, el Slave se pone a la espera de un inicio de adquisición, ahora si el equipo estaba adquiriendo, el Slave inicia la adquisición con la última configuración utilizada.

Para conocer en qué estado está el Slave se utilizó un led que indica el funcionamiento del mismo. Si el Slave está adquiriendo, el led de funcionamiento parpadea cada *1 segundo*, de lo contrario permanece encendido hasta que se inicie la adquisición o apague el equipo.

A continuación se explicarán los procesos que utiliza el Slave para la adquisición y la comunicación con el Master.

6.3.1 Proceso de recepción de tramas

Como se mencionó anteriormente, en el Slave la fuente de interrupción por recepción por USART está siempre habilitada. Cuando recibe el primer byte de la trama, el Slave se fija si los datos que fueron recibidos son para el mismo. Si lo son, recibe toda la trama y chequea si tiene errores a través del algoritmo CRC. Cuando los datos están libres de errores, el proceso pasa a interpretar la función para luego realizar la tarea asociada a la misma. Ahora, si al recibir el primer byte, el Slave observa que los datos son para otro dispositivo, recibe toda la trama pero no realiza ningún tipo de control ni chequeo de la misma.

En el caso que la trama sea del tipo broadcast, los Slaves no responden a la misma como se explicó en la Sección 4.2. En el protocolo implementado este tipo de trama es utilizada, solamente, para la sincronización de los microcontroladores Slaves y para la función detener la adquisición.

La sincronización se realiza cada dos minutos, como se explicó en la Sección 5.4. Si esta función llega antes de que la interrupción del Timer2 se ejecute, se ponen a cero los

contadores de la misma y se preparan todos los procesos de medición del Slave. En cambio, si llega después de que se ejecute dicha interrupción, sólo se ponen a cero los contadores. Esto se hace para coordinar la interrupción del Slave con la del Master. Así se tiene una sincronización controlada de la interrupción cada un segundo, ya que la deriva de tiempo en hardware del Slave por factores externos es inevitable.

6.3.2 Inicio de adquisición

La adquisición empieza cuando el Slave recibe la función con la que se configura el intervalo de adquisición y al segundo siguiente llega la función de inicio de adquisición (Sección 5.3). Luego, el microcontrolador comienza con las mediciones de las variables cada *1 segundo* y realiza los cálculos de las mismas de acuerdo con el intervalo de adquisición. Se utiliza la fuente de interrupción del Timer2 con base de tiempo de *40ms* para sincronizar los procesos de medición cada un segundo. Esta base de tiempo fue elegida por los siguientes motivos: que la base sea múltiplo de un segundo y que se pueda realizar el proceso de CPU dedicado más largo del Slave entre dos interrupciones más un tiempo de resguardo. Esta fuente de interrupción es habilitada después de que llega la función de inicio.

En la Figura 66, se muestra un diagrama de estados del proceso de inicio de adquisición. En el estado “*Slave detenido*” el microcontrolador está a la espera de una orden del Master. Cuando llega la función de configuración, el Slave configura el intervalo de adquisición y manda la función de inicio de conversión al sensor de temperatura. Esto se hace para poder tener una medición de temperatura del primer segundo de adquisición al igual que en el Master (Sección 5.5.1). Después de un segundo, llega la función inicio de adquisición, donde el Slave inicia la misma. Además, guarda en la memoria EEPROM el intervalo de adquisición. Cuando el Slave recibe la función detener adquisición, se deshabilita la fuente de interrupción del Timer2 y se guarda dicho estado en EEPROM. Con la información

almacenada en la memoria no volátil, los algoritmos de Reset pueden evaluar en qué estado quedó el Slave (ver Sección 6.3.4).

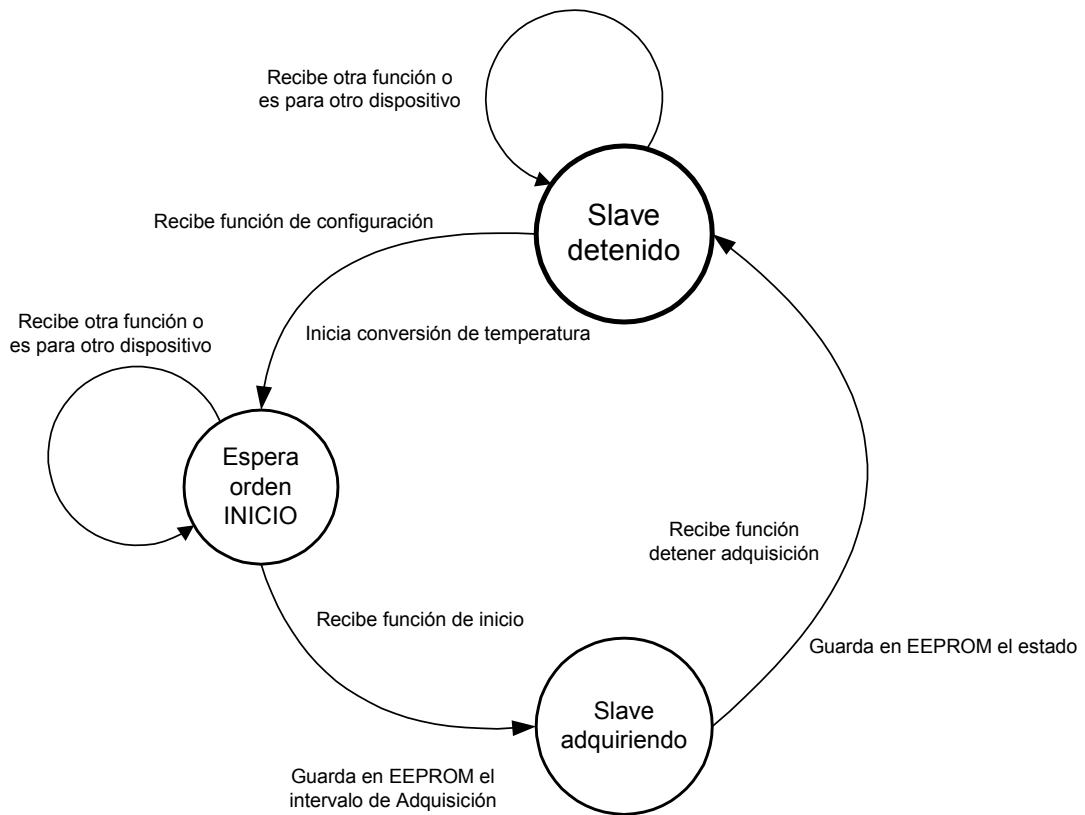


Figura 66. Diagrama de estados del inicio del Slave

6.3.3 Administración de los procesos de medición

Luego de que se configuró el intervalo de medición y se inició la adquisición, el Slave realiza las mediciones de temperatura, velocidad y dirección del viento cada un segundo. Estas mediciones se hacen a través de los procesos explicados en la Sección 6.2. Al final del intervalo de adquisición, se pasa al proceso de armado de la trama para que cuando el Master haga el pedido de las mediciones, el Slave esté preparado para enviarla.

La administración de los procesos de medición es una tarea compleja. Esto se debe a que cuando el equipo está adquiriendo están presentes simultáneamente, en el peor de los casos, cuatro fuentes de interrupción. Estas fuentes son utilizadas tanto para los procesos de

medición, como así también, para la administración de los mismos. El problema surge cuando alguna de ellas interrumpe algún proceso de medición o cuando se ejecutan simultáneamente.

Como se mencionó anteriormente en la presente sección, la fuente de interrupción del Timer2 permanece habilitada hasta que el Master mande la función detener adquisición y se ejecuta cada *40ms*. Al comienzo del intervalo de muestreo, en la interrupción se preparan los tres procesos de medición. Entonces, dependiendo del lugar del Scheduler del Slave donde ocurra la interrupción mencionada, resulta cuál proceso se activará primero ya que los mismos se preparan a la vez.

El Slave está siempre a la espera de alguna orden del Master. Como se explicó anteriormente en esta sección, la fuente de interrupción por recepción por USART está siempre habilitada, como así también, la correspondiente del Timer0, que es utilizada para la implementación de los tiempos del protocolo.

Resumiendo, las fuentes de interrupción que están siempre presentes durante la adquisición son las asociadas al Timer2, USART y Timer0. Se suma la fuente de interrupción asociada al módulo de captura, resultando así cuatro fuentes que se ejecutan en el intervalo de adquisición. A continuación se explicará como conviven los procesos de medición con las fuentes de interrupción.

El proceso de medición de dirección del viento tarda en ejecutarse *23,6ms*. Su duración mayoritariamente se debe a los cálculos con funciones trigonométricas que hay que realizar. Como se explicó en la Sección 6.2.3, este proceso se vale del módulo de conversión A/D para llevar a cabo las mediciones. Además, éste no usa la fuente de interrupción asociada al módulo, sino que se espera a que termine de realizar la conversión. Con lo cual, la ejecución de alguna fuente de interrupción mientras el módulo está realizando la conversión no afecta la medición. Esto se debe a que si se ejecutara alguna interrupción mientras se está convirtiendo, el CPU del Slave atenderá la misma y luego volverá a esperar el término de la

conversión. Si esta última concluyó, pasa a realizar los cálculos del proceso, sino sigue esperando a que termine de convertir el módulo.

El proceso de medición de velocidad del viento tarda como máximo $2ms$. Este tiempo se debe a los cálculos que hay que realizar para el proceso, ya que para la medición de la velocidad se utiliza el módulo de captura (CCP1) como se explicó en la Sección 6.2.2. Cabe aclarar que la utilización de este módulo hace que el CPU del Slave pueda realizar otros procesos mientras se mide velocidad. Si una de las fuentes de interrupción citadas anteriormente en esta sección, es atendida por el CPU del Slave y a otra le toca interrumpir, al terminar la primera vuelve al programa y atiende inmediatamente la segunda, con lo cual no habría problema. Es decir, no se permiten interrupciones anidadas en el programa del Slave.

El proceso de medición de temperatura tarda en ejecutarse a lo sumo $26,8ms$ y necesita tener el CPU dedicado como el de medición de dirección del viento. Como se mencionó anteriormente en la Sección 6.2.1, al efectuar la medición de temperatura se realiza un chequeo de CRC para observar si la información que viene del sensor posee errores o no. Esto permite no solo saber si algún ruido interfirió los datos enviados por el sensor, sino también saber si el proceso fue interrumpido por alguna de las fuentes mencionadas anteriormente. Particularmente este último caso es muy importante, ya que este proceso se dará cuenta por el chequeo de CRC y seguirá preparado para intentarlo nuevamente. Esta última acción hace que el proceso se vuelva a ejecutar hasta que se complete correctamente, haciendo que sea muy flexible a las fuentes de interrupción que tiene el Slave.

6.3.4 Causa y efecto de los Resets

Como se mencionó en la Sección 5.11, la estación anemométrica tiene la particularidad de funcionar durante un tiempo prolongado, en lugares inhóspitos y sin la

asistencia frecuente de un operario. En el transcurso de su operación podría estar expuesta a condiciones ambientales severas y a otros factores impredecibles como descargas atmosféricas o interferencias de radiofrecuencia. Esto hace que los microcontroladores Slaves puedan fallar, de la misma forma que puede hacerlo el microcontrolador Master. Ante estas eventuales fallas, los Slaves tienen la capacidad de reestablecer su normal funcionamiento en el estado en que se encontraban, siempre y cuando la causa que ocasionó el desperfecto desaparezca. Para detectar las fallas se valen de las diferentes fuentes de resets con las que cuentan, cuyo propósito es llevar al dispositivo a un estado conocido. A partir de este estado, se pueden tomar acciones en la inicialización de manera que se reestablezca el normal funcionamiento del equipo con la misma configuración previa al reset.

Las diferentes fuentes de reset con las que cuentan los microcontroladores Slaves son: *Brown-out Reset* (BOR), *Wachdog Timer Reset* (WDT), *Power-on Reset* (POR), *Master Clear Reset* (MCLR). El funcionamiento de cada uno de estos resets es el mismo en los microcontroladores Slaves (PIC16F877A) que en el microcontrolador Master (PIC18F452) y su explicación se encuentra en la Sección 5.11.

La primera acción que realiza el microcontrolador cuando se produce un reset es leer las primeras posiciones (*0x00* y *0x01*) de su memoria EEPROM interna, que contiene un código de *16bits* que indica el estado de funcionamiento del equipo. Dicho código se graba al momento de recibir, desde el Master, una trama con función de inicio o detener adquisición. El valor del código es *0xAAAA* en caso de que el equipo esté detenido. Si en cambio el equipo se encuentra adquiriendo, el código representa el intervalo de adquisición en segundos (*1, 60, 360, 1800, 3600*).

Las acciones a realizar por el microcontrolador en la inicialización, luego de producirse un reset, cambian según si el equipo estaba detenido o adquiriendo. Si la estación anemométrica estaba detenida (se lee *0xAAAA*) antes de generarse un reset, no se realiza

acción alguna y se queda a la espera de las funciones de configuración e inicio para comenzar la adquisición. Si en cambio estaba adquiriendo (se lee *1, 60, 360, 1800* o *3600* en decimal), se configura el intervalo de adquisición con el valor correspondiente y se queda a la espera de recibir una función de sincronización (*0x03*).

El objetivo de esperar esta función es sincronizarse con el inicio de un intervalo de adquisición para así comenzar el muestreo. Pero recibir una función de sincronización no asegura que se trate del inicio de un intervalo ya que por ejemplo, en el caso de estar configurada con un intervalo de adquisición de *10 minutos*, se recibirá la función de sincronización cinco veces por intervalo (una cada dos minutos) de las cuales una sola se corresponde con el inicio. Algo similar sucede para intervalos de adquisición de *30 minutos* y *60 minutos*, no así para *1 segundo* y *1 minuto* en los que la recepción de una función de sincronización siempre coincide con el inicio del intervalo. Para solucionar este inconveniente de manera general, el algoritmo contempla que para confirmar el inicio del intervalo de adquisición se debe recibir una función de pedido de datos (*0x02* o *0x0B*) a continuación de la de sincronización. De esta manera, si llega una función de sincronización el microcontrolador inicia la adquisición, pero si acto seguido no llega un pedido de datos, al cabo de dos minutos llegará una nueva función de sincronización y la reiniciará. El proceso se repite hasta que lleguen las funciones de sincronización y pedido de datos de manera consecutiva y en ese orden. En ese momento se confirma que el microcontrolador está sincronizado con el inicio del intervalo y se encuentra midiendo las diferentes variables para entregarlas al Master en el próximo pedido de datos. Cabe aclarar que el Slave no responde al primer pedido con el cual se confirma el inicio, esto es porque aún no cuenta con datos por no haber transcurrido ningún intervalo de adquisición.

6.4. Diseño del circuito impreso

Para el diseño del circuito impreso de los Slaves se tuvieron en cuenta las mismas reglas que se utilizaron en el Master (ver Sección 5.12). En la Figura 67 se observa el diseño del PCB resultante. En la Figura 68 se muestra una fotografía del montaje del prototipo del Slave y el aspecto del mismo en el protoboard de desarrollo.

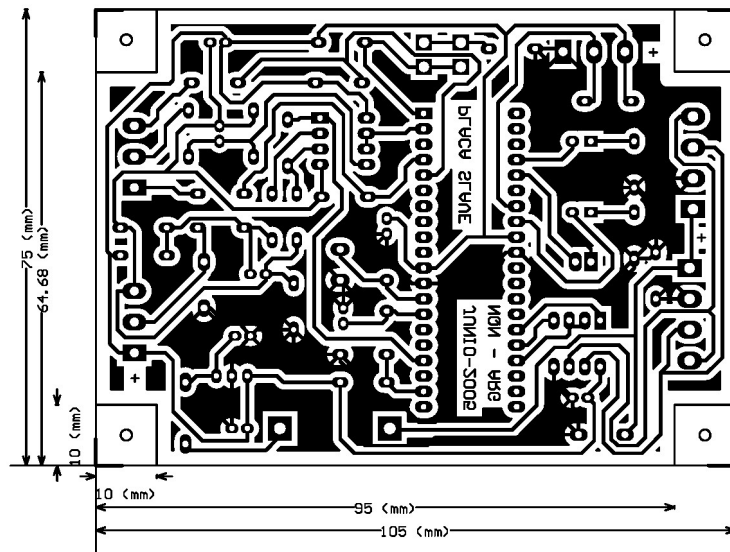


Figura 67. Diseño del PCB del Slave

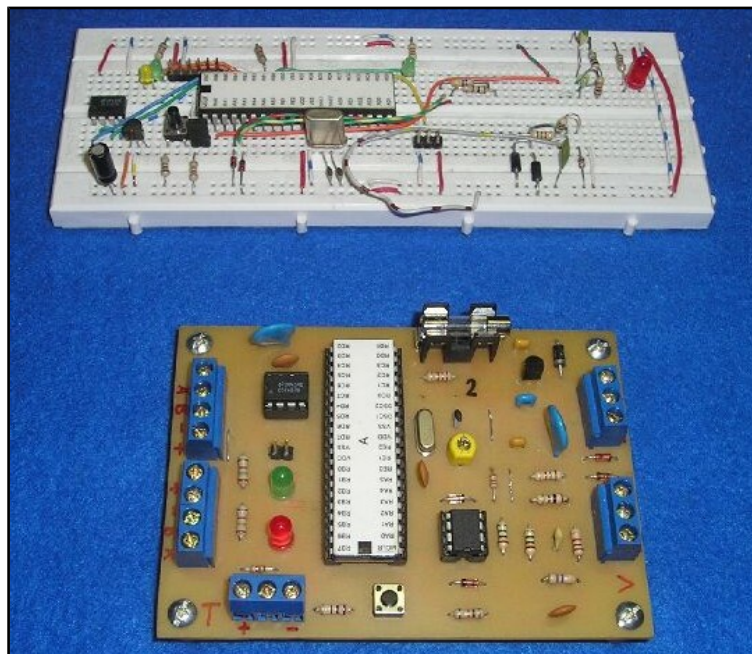


Figura 68. Evolución del Slave

7. Aplicación de PC

Para realizar la interfaz gráfica de usuario, se utilizó una aplicación desarrollada en Microsoft Visual Basic 6.0. La PC se conecta al equipo a través de uno de los puertos serie, haciendo uso del protocolo RS232. Con esta aplicación se pueden descargar los datos de la memoria, visualizar información almacenada previamente en forma de tablas y gráficos, realizar cálculos de potencia aerodinámica y configurar el equipo.

A continuación se detallan los procesos de las herramientas y funciones desarrolladas. Para saber cómo se utiliza la aplicación a nivel de usuario véase el Anexo Error: Reference source not found.

7.1. Modo monitor

Una de las herramientas desarrolladas es el *modo monitor*. En este modo, la aplicación detecta todo el tráfico de información entre los esclavos y el Master existente en la red, la captura, la decodifica y la muestra en pantalla.

Para poder observar los datos que se registran en el Master, éste envía en forma periódica la información proveniente de sus sensores a la red, sin importar si la PC está o no conectada. Como las tramas tienen la dirección de PC los esclavos hacen caso omiso a estos mensajes. En caso de estar conectada la PC, toma la información y la muestra en la tabla diseñada para tal fin.

Como controlar tiempos con precisión es difícil en Visual Basic, la estrategia que se aborda es la de almacenar los datos que ingresan en el *buffer* de entrada del puerto serie y analizarlos de a un byte logrando así descifrar cuando una trama a concluido.

La Figura 69 muestra un esquema simplificado del funcionamiento del modo monitor.

Para analizar la información se parte de un estado de reposo y se presupone que la primera trama que aparece en la red es un mensaje de pedido del Master. Bajo este supuesto,

se analiza el byte correspondiente a la función sabiendo así la cantidad de bytes que debe tener la trama que vendrá a continuación. Todos los bytes que conforman una trama se almacenan y luego se calcula el CRC para determinar si la misma es correcta.

Luego de que el pedido del Master fue bien interpretado, pasa a esperarse la respuesta del Slave. Cuando llega esta respuesta se verifica que su CRC esté bien, luego se almacena la información en un archivo y se agrega a la tabla. Este proceso se realiza para cualquiera de los Slaves.

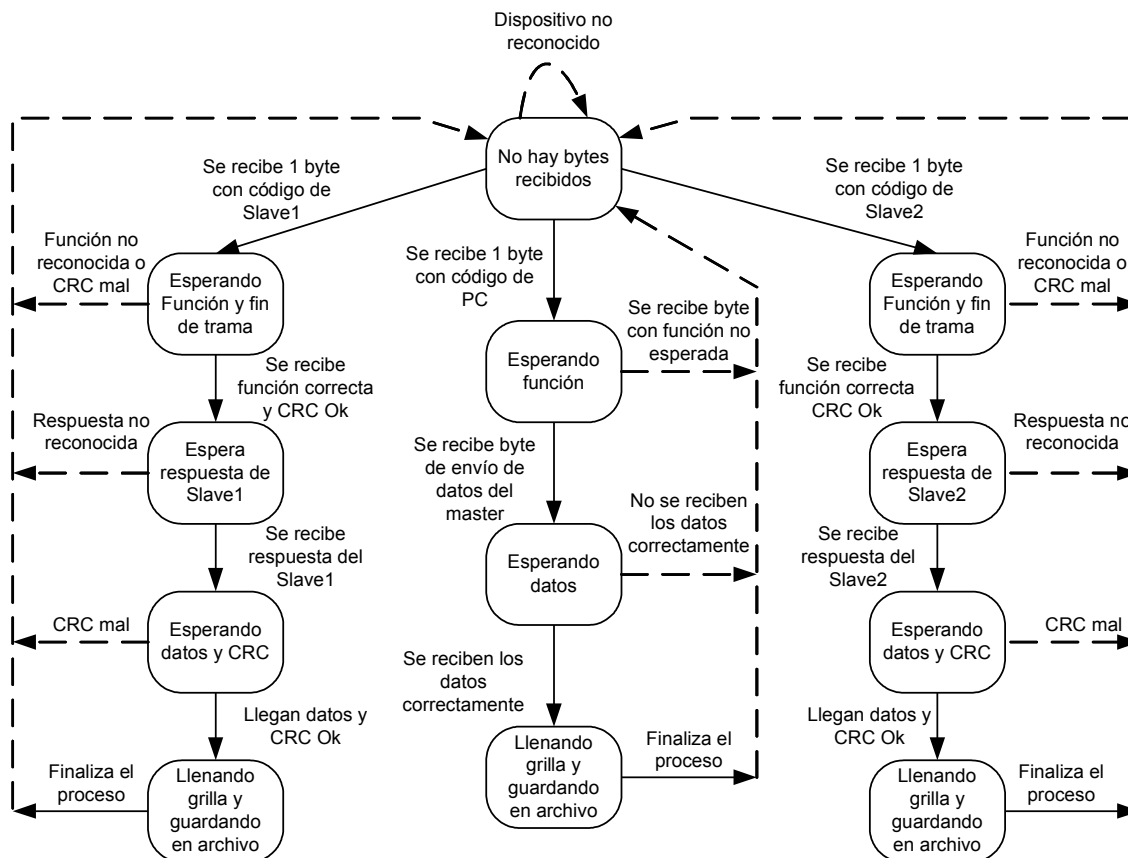


Figura 69. Esquema de funcionamiento del modo monitor en la aplicación gráfica para el usuario

Cuando la PC recibe información del Master (datos de presión, humedad y temperatura), analiza que la trama tenga CRC Ok, se almacena la información en un archivo y se agrega a la lista que muestra los datos del Master.

Nótese que la PC puede conectarse en cualquier momento por lo que no es seguro que los primeros datos sean del Master, esto está contemplado en el algoritmo y en ese caso los bytes espurios se descartan hasta que la PC se “engancha” con la información. Luego de este tiempo de transición la PC sigue sin problemas la transferencia de la información. Si por algún motivo se desenganchara, nuevamente comienza a descartar hasta lograr engancharse. Además, el algoritmo descarta todos los paquetes que no contienen datos como las tramas de sincronismo entre otros.

El *modo monitor* no es un método seguro para registrar. Sin embargo, puede ayudar al usuario a observar el funcionamiento del equipo en tiempo real sin necesidad de ver el estado en la estación anemométrica. En el manual del usuario (Anexo Error: Reference source not found) se detalla su modo de uso.

7.2. Descarga de memoria

La estación anemométrica transfiere los datos de la memoria en tramas, que ocupan según el caso, 23 bytes (intervalo un segundo) o 44 bytes (intervalo 1 minuto, 10 minutos, 30 minutos y 60 minutos). Cada trama contiene un paquete con los datos que fueron almacenados en la memoria simultáneamente.

En la Figura 70 se muestra un esquema simplificado del proceso realizado en la PC para descargar la memoria. Al comenzar el proceso de descarga, el Master puede enviar a la PC dos funciones. Si el Master detectó un error en la memoria envía una función de error (0x0D). Si no, el Master envía una función a la PC con el contenido del Header de la memoria que se muestra en la Figura 71.

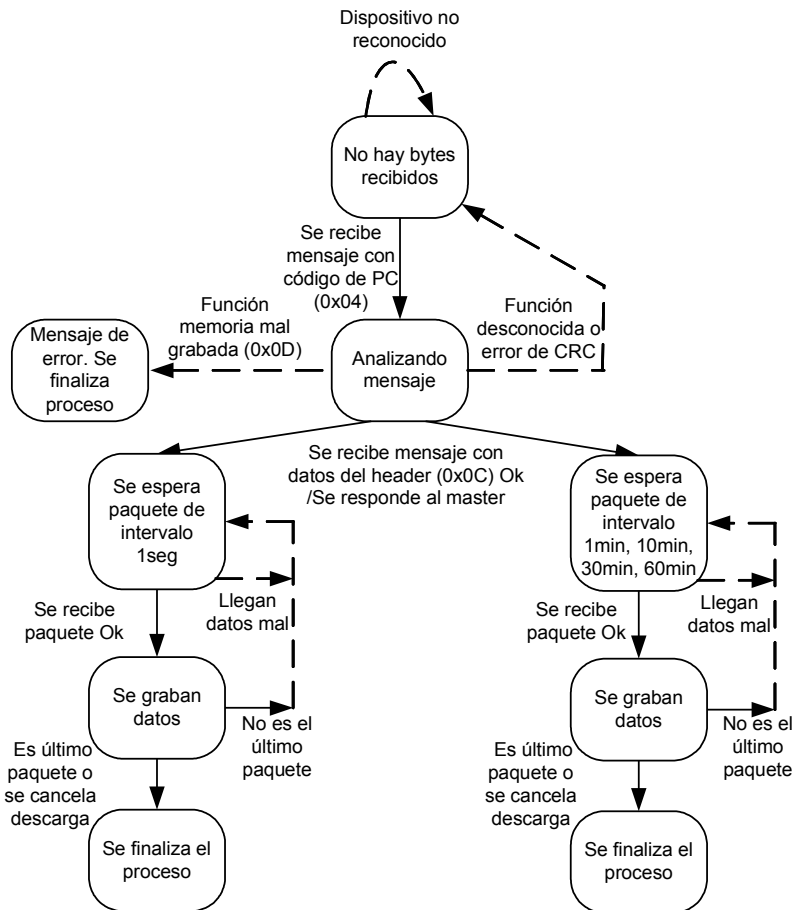


Figura 70. Esquema simplificado del proceso de descarga de memoria en la PC

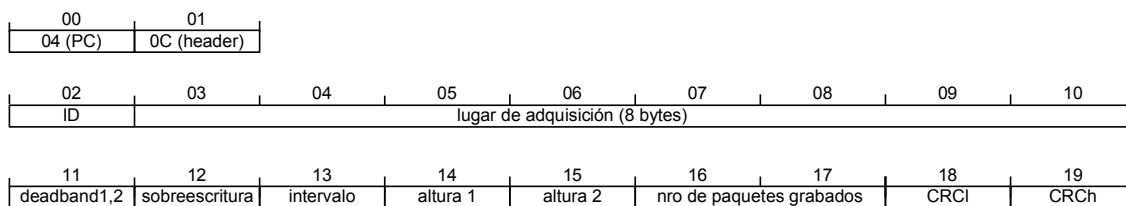


Figura 71. Descripción de la trama con el header de la memoria

El Header contiene los datos que identifican a la memoria. Estos datos dan información de la configuración y cantidad de paquetes almacenados. Una vez que se recibe correctamente este Header, la PC analiza su contenido y responde al Master. Luego que llega la respuesta al Master, éste envía sucesivamente los paquetes de la memoria hasta descargarla

totalmente. El proceso puede cancelarse en cualquier momento desde la PC o desde el teclado de la estación anemométrica.

La Figura 72 muestra la trama que envía el Master cuando la memoria almacenó paquetes de datos cada 1 minuto, 10 minutos, 30 minutos y 60 minutos. La Figura 73 muestra la trama que envía el Master cuando la memoria almacenó paquetes de datos cada 1 segundo. El orden y el formato de los paquetes de datos transmitidos es el mismo que el de los grabados en la memoria externa ya explicado en la Sección 5.6.

Todos los datos son almacenados en un archivo temporal. Al finalizar el proceso de descarga, en caso de haber ocurrido sobrescritura, se ordenan los paquetes de datos cronológicamente.

00	01	02	03	04	05		
04 (PC)	0C (mem)	día	mes	año	hora	minuto	segundo
06	07	08	09	10	11	12	13
00 (master)	temperatura	humedad	presión	p-t	temp max	temp min	th-tl
14	15	16	17	18	19	20	21
01 (slave1)	velocidad	dirección	temperatura	std-t-d-v	desvío std	vel max	dir max
22	23	24	25	26	27		
temp max	th-dh-vh	vel min	dir min	temp min	tl-dl-vl		
28	29	30	31	32	33	34	35
02 (slave2)	velocidad	dirección	temperatura	std-t-d-v	desvío std	vel max	dir max
36	37	38	39	40	41	42	43
temp max	th-dh-vh	vel min	dir min	temp min	tl-dl-vl	CRCh	CRCh

Figura 72. Trama con paquete de datos almacenados en memoria cada 1, 10, 30 o 60 minutos

00	01	02	03	04	05		
04 (PC)	0C (mem)	día	mes	año	hora	minuto	segundo
06	07	08	09	10			
00 (master)	temperatura	humedad	presión	p-t			
11	12	13	14	15			
01 (slave1)	velocidad	dirección	temperatura	t-d-v			
16	17	18	19	20	21	22	
02 (slave2)	velocidad	dirección	temperatura	t-d-v	CRCh	CRCh	

Figura 73. Trama con paquete de datos almacenados en memoria cada 1 segundo

7.3. Configuración desde la PC

Esta herramienta permite al usuario configurar la estación anemométrica desde la PC. El proceso lo inicia el usuario desde la barra de menú de la aplicación. Cuando la estación anemométrica envía la información de la configuración actual, luego de que el usuario lo solicitó desde el menú, la misma se muestra en pantalla. Esto permite al usuario modificarla y enviarla al equipo que intentará un proceso de inicio de adquisición (ver Sección 5.3). Además, se controla que los datos ingresados por el usuario no estén fuera de rango, informando a través de un mensaje cuando esto ocurre.

En la Figura 74 se muestra un esquema simplificado del proceso de configuración desde la PC.

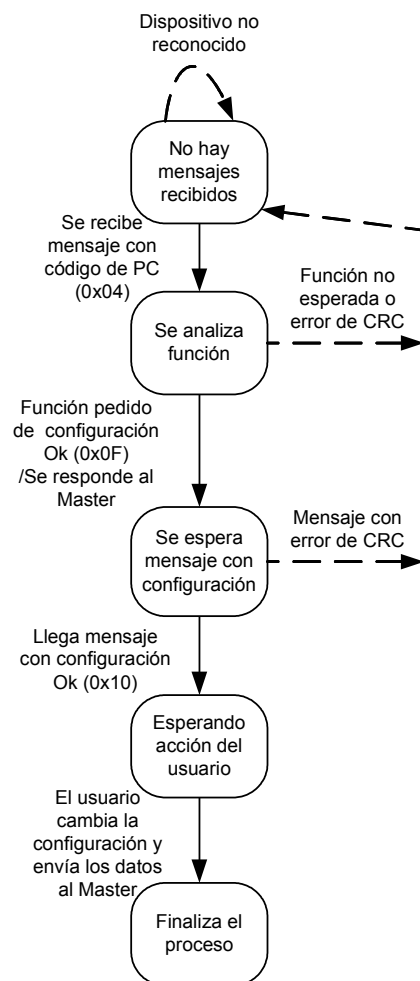


Figura 74. Esquema simplificado de la configuración desde la PC

La PC espera un mensaje del Master con los datos de la configuración actual de la estación anemométrica. Cuando llega correctamente este pedido (ver Figura 75), la PC analiza la trama y coloca los datos en un formulario para que el usuario pueda verlos y modificarlos. Cuando el usuario decide enviar los datos, se transmite una trama con la nueva configuración y se finaliza el proceso.

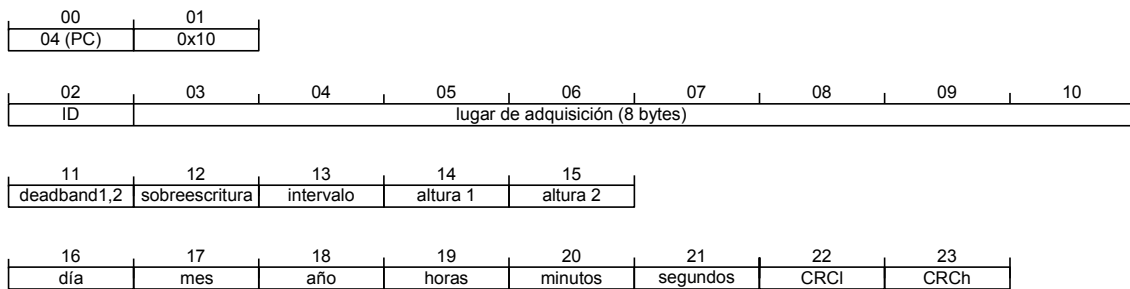


Figura 75. Trama con datos de la configuración actual enviada por el Master a la PC

Al igual que en el resto de los procesos, se analiza el CRC de todas las tramas que llegan, la dirección del dispositivo (0x04) y la función. Cualquier trama que no cumpla con estos requisitos es descartada.

7.4. Abrir archivo de datos

La interfaz gráfica del usuario se diseñó especialmente para obtener, desde la PC, los datos del equipo y luego analizarlos con otras aplicaciones. Igualmente se implementaron algunas herramientas simples para la visualización de la información.

Cuando los datos de la memoria son descargados en la PC, se almacenan en archivos de texto (.txt).

Con la herramienta “Abrir archivo de datos”, se pueden visualizar los datos en una grilla que muestra en su primer fila, el tipo de parámetro y la unidad en la que se expresa.

La Figura 76, muestra un esquema simplificado del proceso llevado adelante para poder ver los datos.

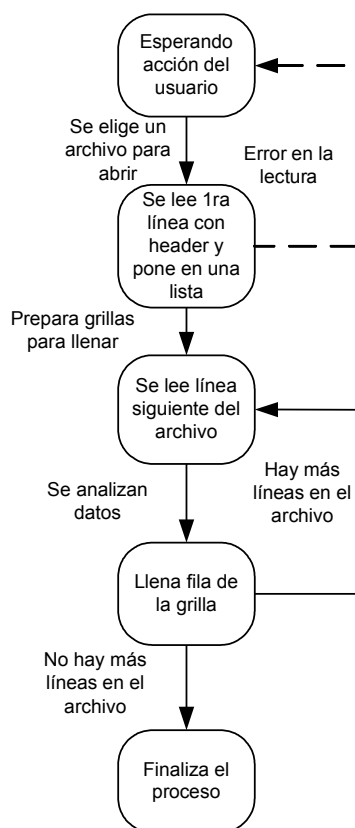


Figura 76. Esquema simplificado de proceso de apertura de archivo almacenado en la PC

Luego de que se elige el archivo que se quiere abrir, se lee la primer fila que contiene la información del Header y se llena una lista donde se puede ver la configuración con la que se tomaron los datos. Acto seguido, se lee la segunda fila que contiene los tipos de parámetros y las unidades en que se expresan los datos de cada una de las columnas. Finalmente, se sigue leyendo de a una fila y se colocan los datos en cada celda hasta haber leído todas las filas del archivo. Esta versión de la aplicación permite abrir sólo un archivo a la vez.

Una vez que se muestran los datos en la grilla, ésta puede ser recorrida para ver los valores deseados. También se puede ver la configuración con la que se tomaron esos datos.

Otra opción disponible a partir de esta herramienta es la de ver en forma gráfica los datos de la grilla que se muestran en función del tiempo. Son diversas las modificaciones que

puede realizar el usuario para alterar las características de la gráfica. Además se pueden elegir qué parámetros visualizar. A partir de los datos adquiridos, se puede calcular la potencia aerodinámica que se explica en la siguiente sección.

7.5. Calcular potencia aerodinámica

Otra de las características desarrolladas para la aplicación es la herramienta “calcular potencia”. Con esta herramienta, se hace el cálculo de la potencia aerodinámica con los datos del archivo previamente abierto y con algunas características del generador eólico que se desea colocar. Estas características las ingresa el usuario al momento de usar la herramienta.

Si bien esta tesis no se centra en el estudio exhaustivo de los métodos de cálculo para aerogeneradores, se describen brevemente los principios en los que se basan las ecuaciones usadas [14].

La potencia aerodinámica está dada por

$$Pot[W] = \frac{1}{2} \rho \cdot A \cdot C_p \cdot v^3,$$

donde ρ es la densidad del aire en kg/m^3 , A es el área en m^2 que abarcan las aspas del aerogenerador, C_p es el coeficiente de potencia del aerogenerador y v es la velocidad a la altura del rotor dada en m/s . Cabe aclarar que los datos de área y el C_p son ingresados por el operario.

Por otra parte, la densidad del aire se obtiene indirectamente como sigue:

$$\rho \left[\frac{kg}{m^3} \right] = 1,2929 \frac{P}{1013} \cdot \frac{273}{T + 273},$$

donde, P es la presión atmosférica dada en hPa y T es la temperatura dada en $^{\circ}C$. Estos datos son los registrados por la estación anemométrica.

Ahora bien, falta determinar la velocidad v que se debe introducir en la ecuación, que es la velocidad del viento a la altura del rotor. Si la altura del rotor ingresada por el

usuario coincide con la altura a la que se registraron los datos, el cálculo es directo.

Sin embargo, si esta altura no coincide se debe estimar la misma considerando el *fenómeno de capa límite* [14]. Existen varios métodos para hallar la velocidad, aquí se

utiliza la siguiente ecuación para considerar la distribución del viento con la altura:

$$v_z \left[\frac{m}{s} \right] = v_2 \left(\frac{z}{z_2} \right)^p,$$

donde v_z es la velocidad a la altura del rotor en m/s , z es la altura del rotor en m , z_2 es la altura del anemómetro que está a mayor altura en m y p es un factor de potencia que se calcula o puede considerarse con un valor de $1/7$ para casos generales.

Si se cuenta con la medición de la velocidad a dos alturas, para obtener una mejor aproximación de la distribución del viento, se puede calcular p de la siguiente manera:

$$p = \frac{\ln\left(\frac{v_2}{v_1}\right)}{\ln\left(\frac{z_2}{z_1}\right)},$$

donde, v_2 es la velocidad del viento a la mayor altura z_2 y v_1 es la velocidad del viento a la menor altura z_1 .

Con esta aproximación se consiguen resultados con errores de hasta el 20%. Sin embargo, pueden obtenerse mejores resultados si se utilizan otros métodos para calcular la distribución del viento con la altura. Estos métodos consideran el tipo de terreno y usan mediciones de temperaturas a distintas alturas, que son posibles de obtener con la estación anemométrica diseñada. Igualmente el modelo implementado en la aplicación, es útil para que el usuario realice un cálculo rápido. Si desea realizar estudios más complejos, cuenta con la información como para hacerlo en otras aplicaciones con mayor potencia de cálculo.

Todo lo expuesto en este capítulo muestra que el usuario cuenta con una herramienta lo suficientemente desarrollada para que trabaje cómodamente.

8. Conclusiones

En esta tesis de grado se diseñó y construyó una estación anemométrica hecha a medida, utilizando como base una arquitectura Master/Slaves, a través de una red de microcontroladores. De la misma se destaca el grado de desarrollo que alcanzó, dado que se puso como meta que el equipo pueda ser utilizado por un usuario final. Llegar a este punto, implicó un esfuerzo adicional para llevar la estación anemométrica que funcionaba en placas de pruebas en un laboratorio, a un sistema que puede ser instalado, configurado y utilizado por personas sin experiencia. Además, se confeccionó un manual del usuario que explica todo lo necesario para poder usar el equipo sin mayores problemas. Por otra parte, se destaca que la estación anemométrica está preparada para funcionar a la intemperie, incluso con condiciones climáticas severas.

A lo largo del proceso de diseño y construcción, se integraron muchos conocimientos adquiridos en el cursado de la carrera, incorporándose además, nuevas habilidades técnicas. Entre ellas sobresalen: la aplicación de distintos métodos para la adaptación de señal de los sensores, la programación de microcontroladores en lenguaje C y la realización de plaquetas (PCB) en un software de diseño asistido por computadora. También se adquirió experiencia en el trabajo en equipo, en el proceso de toma de decisiones, en el manejo de presupuestos, en la negociación con proveedores, tanto nacionales como internacionales y en la interacción con el cliente para establecer las características que necesitaba el equipo a desarrollar.

Muchas tareas realizadas no son específicas de la carrera, pero las condiciones en las que se hizo el proyecto, llevaron a buscar alternativas creativas para resolver algunos problemas como la construcción de los abrigos meteorológicos, el diseño del frente del gabinete, entre otros.

Debido a la envergadura del proyecto, éste abarca distintas áreas como: sensores, comunicaciones digitales, mediciones, sistemas distribuidos, electrónica digital y de potencia,

entre otras, denotando el carácter interdisciplinario del proyecto. Esta amplia gama de especialidades hizo difícil resolver de forma óptima todos los aspectos del sistema, aunque sí se logró hacerlo eficazmente. A continuación se mencionan algunos de los aspectos que se consideran importantes resaltar.

El protocolo que se implementó está basado en Modbus, un protocolo muy utilizado en la industria. Sin embargo, para ahorrar memoria de programa en los microcontroladores, no se incorporaron muchas de sus funcionalidades. Esto hizo que el protocolo implementado tenga menos flexibilidad que el original. Al mismo tiempo, limitó a la estación anemométrica para poder colocarle múltiples Slaves con sensores que midan distintas variables.

La elección de sensores con la adaptación de señal incorporada permitió, debido a su bajo costo, que fuera posible realizar el proyecto. Además, esta decisión, hizo que las etapas de adaptación de señal de cada sensor fuera relativamente sencilla y con pocos componentes electrónicos, disminuyendo con esto el tiempo de diseño y aumentando la confiabilidad del sistema.

Si bien se tuvo que aprender a utilizar el lenguaje C, el mismo facilitó la realización de operaciones matemáticas complejas en punto flotante. Igualmente, el conocimiento previo de la programación de los microcontroladores en assembler ayudó a entender y solucionar los problemas que se presentaron durante el desarrollo del equipo.

Con respecto al lenguaje de programación utilizado para realizar la aplicación de PC, se puede decir que la elección de Microsoft Visual Basic 6.0 fue adecuada, debido a que se tenían conocimientos previos y que se contaba con mucha documentación. Por otra parte, en la implementación del protocolo, se presentaron inconvenientes con los timers que Visual Basic trae incorporados, los cuales no pueden controlar tiempos pequeños. Aunque se usaron otros timers, se sigue evaluando el comportamiento de la aplicación, para establecer si se deben realizar modificaciones.

Asimismo, un aspecto que se considera relevante es la forma en que los datos descargados de la memoria se almacenan en la PC. Guardarlos en archivos de texto tipo ASCII, con la información de la configuración que tenía la estación anemométrica cuando se realizó la medición y del lugar donde se efectuó, permite saber de manera inequívoca la procedencia de los datos. Además, el hecho de estampar la fecha y la hora a los paquetes de datos grabados en la memoria externa de la estación anemométrica, especifica en forma exacta el momento en que se registraron cada uno de ellos. Esta referencia temporal le da robustez a los datos, posibilitando detectar la ocurrencia de alguna falla y determinar el período en que no se almacenaron datos.

No se puede dejar de mencionar la opción de extraer la memoria y llevarse la información para descargarla en otro sitio, colocando en su lugar otra memoria vacía. Esto es especialmente útil, cuando la estación anemométrica está instalada en algún lugar alejado y no se cuenta con una PC o por algún motivo, falla la descarga a la misma.

Finalmente, se destacan los dos modos de alimentación que posee la estación anemométrica: panel solar con batería de almacenamiento secundario o corriente alterna de 220V-50Hz con la batería funcionando de backup. Estos dos modos, permiten que el equipo pueda instalarse tanto en lugares que cuentan con red eléctrica, como así también en lugares aislados.

Como ya se mencionó, la estación anemométrica desarrollada, es el prototipo de un producto final en condiciones de ser operado normalmente y su grado de desarrollo es elevado. No obstante, deberán hacerse pruebas de campo por un período de tiempo prolongado, para establecer el comportamiento del equipo en condiciones reales de funcionamiento. De este proceso, se obtendrá la información para perfeccionar el sistema. Igualmente, de la primera evaluación del prototipo surgen varias posibles mejoras, a saber:

- Reducir el consumo. Toda estrategia que pueda lograr este cometido debe ser estudiada y de ser viable, llevarse a cabo. Actualmente hay propuestas para lograr este objetivo de las cuales se destacan: la implementación del modo sleep en el Master y la incorporación de control sobre el sensor de presión, para alimentarlo únicamente al momento de realizar la medición.
- Analizar la forma de detectar cuando la PC está conectada y así enviarle información sólo en esta situación.
- Realizar la corrección de la deadband de la veleta en los Slaves ya que actualmente para observar los datos en modo monitor desde la PC, debe ingresarse la orientación de la deadband para que se visualice el valor correcto.
- Optimizar las rutinas de los microcontroladores para generar espacio en la memoria de programa, que permita realizar las mejoras y agregar más funcionalidades.
- Permitir al usuario personalizar algunas características de la aplicación de PC como: definir la cantidad máxima de registros antes de limpiar las grillas en el modo monitor, definir las carpetas predeterminadas para guardar archivos de descargas de memoria, modo monitor y cálculo de potencia aerodinámica, entre otras.
- Optimizar la programación de las rutinas en Visual Basic y corregir posibles fallas que aparezcan al momento de utilizar la aplicación por usuarios finales.

Además se pueden agregar nuevas funcionalidades y accesorios tanto a la estación anemométrica como a la aplicación de PC. Algunas de ellas son:

- Agregar un regulador que controle la sobredescarga de la batería.
- Posibilitar el ingreso de calibraciones por software de los sensores.

-
- Informar al usuario del estado de la batería a través del display.
 - La posibilidad de incorporar otros modelos para el cálculo de la potencia aerodinámica.
 - Generar informes y estadísticas con más de un archivo y posibilitar exportarlos a Excel.
 - La incorporación de un módulo para la transmisión remota de la información.
 - La realización de un dispositivo para descargar las memorias a la PC sin utilizar la estación anemométrica.
 - Agregar una base de datos accesible vía web, para disponer de la información en múltiples computadoras y en cualquier lugar del mundo. Realizar la aplicación relacionada para acceder a esta información.

Muchos de los puntos descriptos anteriormente pueden ser la base de nuevas tesis de grado y/o proyectos finales de materia, por lo que el trabajo realizado abre las puertas a nuevos desafíos a quienes quieran desarrollar éstas u otras mejoras.

Referencias

- [1] Curso de lenguaje C, Rama IEEE Comahue (2002)
- [2] Lenguaje C, Universidad Nacional del Comahue, Fac. de Economía y Administración, Eduardo Grosclaude (2001)
- [3] PIC16F87X Datasheet, Microchip (2001)
- [4] PIC18FXX2 Datasheet, Microchip (2002)
- [5] Comunicaciones y Redes de Computadores, Willian Stalling (6ta ed), Prentice Hall
- [6] Redes de computadoras, Andrew S. Tanenbaum, tercera edición, Prentice Hall
- [7] Manual de usuario del compilador PCW de CCS, Andrés López
- [8] CCS Reference Manual (March 2003)
- [9] Nomad User's Manual, secondwind (Manual version #2B)(January 1994)
- [10] Diseño y construcción de un registrador de velocidad y dirección de viento para la evaluación del potencial eólico, Ing. Juan Oliver, Universidad de la República, Uruguay
- [11] MSDN Library Visual Studio 6.0
- [12] Anemometría, Fuerza Aérea Argentina, Comando de Regiones Aéreas, Servicio Meteorológico Nacional, Republica Argentina 1985, ISSN0325-4887
- [13] Mapa eólico de la Pampa, Centro Regional de Energía Eólica
- [14] Wind characteristics “An analisis for the generation of wind power”, Janardan S. Rohatgi-Vaughn Nelson, Alternative Energy Institute west texas A&M University
- [15] User's guide ITM-1602A LCM (Liquid crystal Display Molude)
- [16] 5V POWERED MULTI-CHANNEL RS-232 DRIVERS AND RECEIVERS, ST, (january 2003)
- [17] Two-wire Serial EEPROM 1M (131,072x8), AT24C1024, Atmel, (Rev. 1471K-SEEPR-1/05)

- [18] THE I2C-BUS SPECIFICATION VERSION 2.1 JANUARY 2000, Philips semiconductors
- [19] DS1307 64 x 8, Serial, I2C Real-Time Clock, Dallas-Maxim semiconductor, (REV: 050404)
- [20] DS75176B/DS75176BT Multipoint RS-485/RS-422 Transceivers, National Semiconductor, (july 2004)
- [21] MAX1487, Low-Power, Slew-Rate-Limited RS-485/RS-422 Transceivers, Maxim, 19-0122 Rev8 (10/03)
- [22] LM336-2.5, 2.5V Reference Diode, National Semiconductor, September 2003
- [23] MC33202Rail-to-Rail Operational Amplifier, Motorola Inc., Rev.2 1996
- [24] MODBUS over serial line specification and implementation guide V1.0 (12/02/02)
- [25] MODBUS APPLICATION PROTOCOL SPECIFICATION V1.1a (June 4, 2004)
- [26] NRG #40 Anemometer specifications, rev 1.0 29 April 2004
- [27] Intefacing to the NRG Maximum #40 Anemometer or IceFree Heated Anemometer, NRG Systems, 16 February 2000
- [28] NRG #200P Wind Direction Vane specifications, Rev 1.0, 29 April 2004
- [29] Interface Circuits for NRG Direction Vanes, NRG Systems, 22 February 2001
- [30] HIH-3610 series humidity sensors, Honeywell
- [31] DS18S20 high-precision 1-wire digital thermometer, Dallas Semiconductor
- [32] Application Note 105, High Resolution temperature measurement with Dallas direct-to-digital temperature sensors, Dallas semiconductor
- [33] Application Note 208, curve fitting the error of bandgap-based digital temperature sensor, Dallas semiconductor

-
- [34] MPX4115A Series, Integrated Silicon Pressure Sensor for ManiFold Absolute Pressure, Altimeter or Barometer Applications On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated, Rev 4, Motorola, Inc. 2001
- [35] AN1646, Noise considerations for Integrated Pressure Sensors, Motorola Semiconductor Application Note, Motorola, Inc. 2001
- [36] Wind characteristics, An analysis for the generation of wind power, Janardan S. Rohatgi-Vaughn Nelson, Burgess Publishing 1994
- [37] Sensores y acondicionadores de señal (2da. Edición), Ramón Pallás Areny, Marcombo 1994
- [38] Process control instrumentation technology (4th Edition), Curtis Johnson, Prentice-Hall 1993
- [39] Application Note 688, Layout tips for 12-bits A/D Converter application, Bonnie Baker, Microchip Technology Inc.
- [40] EMC the art of compatibility (2nd Edition), Rodger Richey, Microchip, January 2005
- [41] Application Note 345, Grounding for Low-and High-Frecuency Circuit, Paul Brokaw-Jeff Barrow, Analog Devices, 1993
- [42] Application Note 347, Shielding and guarding, Alan Rich, Analog Devices, 1993
- [43] Application Note 280, Mixed signal circuit techniques, Analog Devices, 1993
- [44] Sensores, acondicionadores y procesadores de señal, Jordi Mayné, Silica an Avnet division, Rev. 2 2003

Páginas web

- [45] <http://www.atmosfera.cl/HTML/temas/INSTRUMENTACION/INSTR4.htm>
- [46] <http://www.time.gov>
- [47] <http://www.RS485.com>
- [48] <http://www.winstar.com.tw>
- [49] <http://www.mvps.org/vb>
- [50] <http://www.dh-budenberg.com>
- [51] <http://www.davisnet.com>
- [52] <http://www.ic-prog.com>
- [53] <http://www.ccsinfo.com/picc.shtml>
- [54] <http://www.omega.com/>
- [55] <http://www.nrgsystems.com/>
- [56] <http://www.secondwind.com/>

Anexo A

Manual del usuario

ESTACIÓN ANEMOMÉTRICA

ANeMos β

MANUAL DEL
USUARIO

AGOSTO, 2005

Índice General

1.	CARACTERÍSTICAS GENERALES DE LA ESTACIÓN ANEMOMÉTRICA.....	1
2.	INSTALACIÓN.....	5
2.1.	ANEMÓMETRO Y VELETA.....	6
2.2.	ORIENTACIÓN DE LA VELETA.....	7
2.3.	ABRIGOS METEOROLÓGICOS.....	7
3.	MODO DE USO DE LA ESTACIÓN ANEMOMÉTRICA.....	9
3.1.	CÓMO NAVEGAR A TRAVÉS DEL MENÚ.....	9
3.1.1	Tecla Enter.....	10
3.1.2	Tecla Escape.....	10
3.1.3	Teclas de desplazamiento.....	10
3.2.	MENÚ PRINCIPAL.....	10
3.3.	MENÚ DATA.....	12
3.3.1	Opción [Status].....	12
3.3.2	Opción [Inputs].....	12
3.4.	MENÚ SETUP.....	16
3.4.1	Opción [Time].....	16
3.4.2	Opción [PC].....	17
3.4.3	Opción [Config].....	17
3.4.4	Opción [Modify].....	18
3.4.5	Opción [Review].....	22
3.5.	MENÚ TOOLS.....	23
3.5.1	Opción [Transfer].....	23
3.5.2	Opción [Erase].....	23
4.	APLICACIÓN DE PC.....	25
4.1.	MENÚ CONFIGURAR.....	25
4.1.1	Configurar Puerto serie.....	26
4.1.2	Configurar estación anemométrica.....	26
4.2.	MENÚ HERRAMIENTAS.....	28
4.2.1	Descargar memoria.....	28
4.2.2	Abrir datos almacenados en PC.....	31
4.2.3	Ver configuración.....	32
4.2.4	Calcular potencia.....	33
4.2.5	Graficar.....	34
4.2.6	Modo Monitor.....	36
5.	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS.....	37

1. Características generales de la estación anemométrica

La estación anemométrica tiene la capacidad de medir velocidad del viento, dirección del viento y temperatura a dos alturas diferentes (típicamente *10m* y *30m*). Además mide, temperatura, humedad relativa y presión atmosférica a la altura meteorológica (*1,5m*). Todas éstas variables se procesan para obtener promedios, valores mínimos, valores máximos y desvíos estándar los cuales se almacenan en una memoria externa cada un tiempo configurable.

En este capítulo se dan las características más destacadas de la estación anemométrica, además se precisan las variables que puede medir, los parámetros que calcula y la autonomía de almacenamiento.

Las características generales con las que cuenta el equipo son las siguientes:

- Funcionamiento autónomo con la capacidad de reestablecerse en caso de fallas.
- Reloj de tiempo real incorporado, con alimentación independiente, que permite grabar los datos con la fecha y hora en que se registraron.
- Gabinetes y conectores estancos que soportan condiciones de temperatura y humedad severas permitiendo que se pueda instalar a la intemperie.
- Alimentación a través de batería, panel solar o tensión alterna de *220V*. Cargador de batería incorporado y regulador de carga para panel solar.
- Puerto serie RS232 para conexión directa con una PC que da la posibilidad de configurar y monitorear la estación anemométrica además de descargar los datos almacenados en ella.
- Memoria no volátil que puede extraerse fácilmente para descargar los datos en otro sitio, dando la posibilidad de recolectarlos cuando no se cuenta con una PC en el lugar de adquisición.
- Teclado y display incorporados permitiendo operarla sin necesidad de accesorios externos.

Lo antes mencionado hace de este equipo una estación anemométrica robusta. Su diseño asegura la integridad de la información adquirida y cuenta con la capacidad de medir en forma confiable las siguientes variables:

- Velocidad del viento: *1m/s* a *96m/s* con resolución de *0,1m/s*.
- Dirección del viento: *0°* a *359°* con resolución de *1°*.
- Temperatura: *-40°C* a *60°C* con resolución de *0,1°C*.
- Presión atmosférica: *600hPa* a *1150hPa* con resolución de *1hPa*.
- Humedad relativa: *0%* a *100%* con resolución del *1%*.

Las variables se procesan para obtener los parámetros que se almacenan en la memoria externa de la estación anemométrica, la cual se puede configurar para guardarlos cada *1 segundo*, *1 minuto*, *10 minutos*, *30 minutos* y *60 minutos*. Así se logran las autonomías de la Tabla 1.

Tabla 1. Autonomía de la memoria según la configuración

	Intervalo de adquisición				
	1 segundo	1 minuto	10 minutos	30 minutos	60 minutos
Autonomía	3,83 horas	4,55 días	45,5 días	136, 5 días	273 días

Los parámetros que se almacenan en la memoria varían según la configuración. La Tabla 2 muestra los parámetros agrupados por intervalo de adquisición y altura.

Tabla 2. Parámetros agrupados según intervalo de adquisición y altura

		Intervalo de adquisición	
		1seg	1min, 10min, 30min, 60min
Base	Fecha y hora		Fecha y hora
	Humedad relativa		Humedad relativa
	Presión atmosférica		Presión atmosférica
	Temperatura instantánea		Temperatura promedio Temperatura máxima Temperatura mínima
Altura 1	Temperatura instantánea		Temperatura promedio
	Velocidad del viento		Temperatura máxima
	Dirección del viento		Temperatura mínima
			Promedio de la velocidad del viento
			Dirección promedio del viento
			Desvío estándar de la velocidad del viento
			Mínima velocidad del viento
			Dirección en que ocurrió la mínima velocidad
			Máxima velocidad del viento
			Dirección en que ocurrió la máxima velocidad
Altura 2	Temperatura instantánea		Temperatura promedio
	Velocidad del viento		Temperatura máxima
	Dirección del viento		Temperatura mínima
			Promedio de la velocidad del viento
			Dirección promedio del viento
			Desvío estándar de la velocidad del viento
			Mínima velocidad del viento
			Dirección en que ocurrió la mínima velocidad
			Máxima velocidad del viento
			Dirección en que ocurrió la máxima velocidad

Las temperaturas, velocidades y direcciones del viento se miden cada un segundo.

Los promedios de temperatura y velocidad del viento se calculan como la suma de todas las muestras tomadas en un intervalo de adquisición dividido la cantidad de muestras adquiridas en ese intervalo (promedio aritmético). El promedio se calcula de la siguiente manera,

$$prom = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}, \text{ donde } x_i \text{ son las muestras y } n \text{ es el valor total de muestras del intervalo de adquisición.}$$

El promedio de la dirección del viento se calcula sumando vectores de norma unitaria y ángulo medido por la veleta (promedio vectorial). Esto permite que una lectura de 45° y una de 315° promedien 0° (Norte) en lugar de 180° (Sur) como resultaría de realizar el promedio aritmético.

La máxima velocidad del viento es el valor de la velocidad de viento más alta que se midió en el intervalo de adquisición. Cada segundo, se compara el valor de la velocidad recién medida con el valor máximo registrado hasta ese momento. Si el valor sensado es mayor a

dicho valor máximo, ésta velocidad se transforma en el nuevo valor máximo del intervalo. Además se almacena la dirección en la que ocurrió la velocidad máxima.

La mínima velocidad del viento es el valor de velocidad del viento más baja que se midió en el intervalo de adquisición. Se calcula de manera similar a la velocidad máxima.

La humedad relativa y la presión atmosférica son valores instantáneos, que se miden una única vez al final de cada intervalo de adquisición.

También se calcula el desvío estándar (*STD*) de los datos, para cualquier intervalo de adquisición elegido. Éste es un indicador que da noción de la turbulencia del viento. Para el cálculo se usan todas las muestras, del intervalo de adquisición, tomadas cada un segundo.

$$STD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n v_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n v_i\right)^2}{n-1}}$$
, donde v_i son las muestras de la velocidad y n es el total de muestras del intervalo de adquisición.

2. Instalación

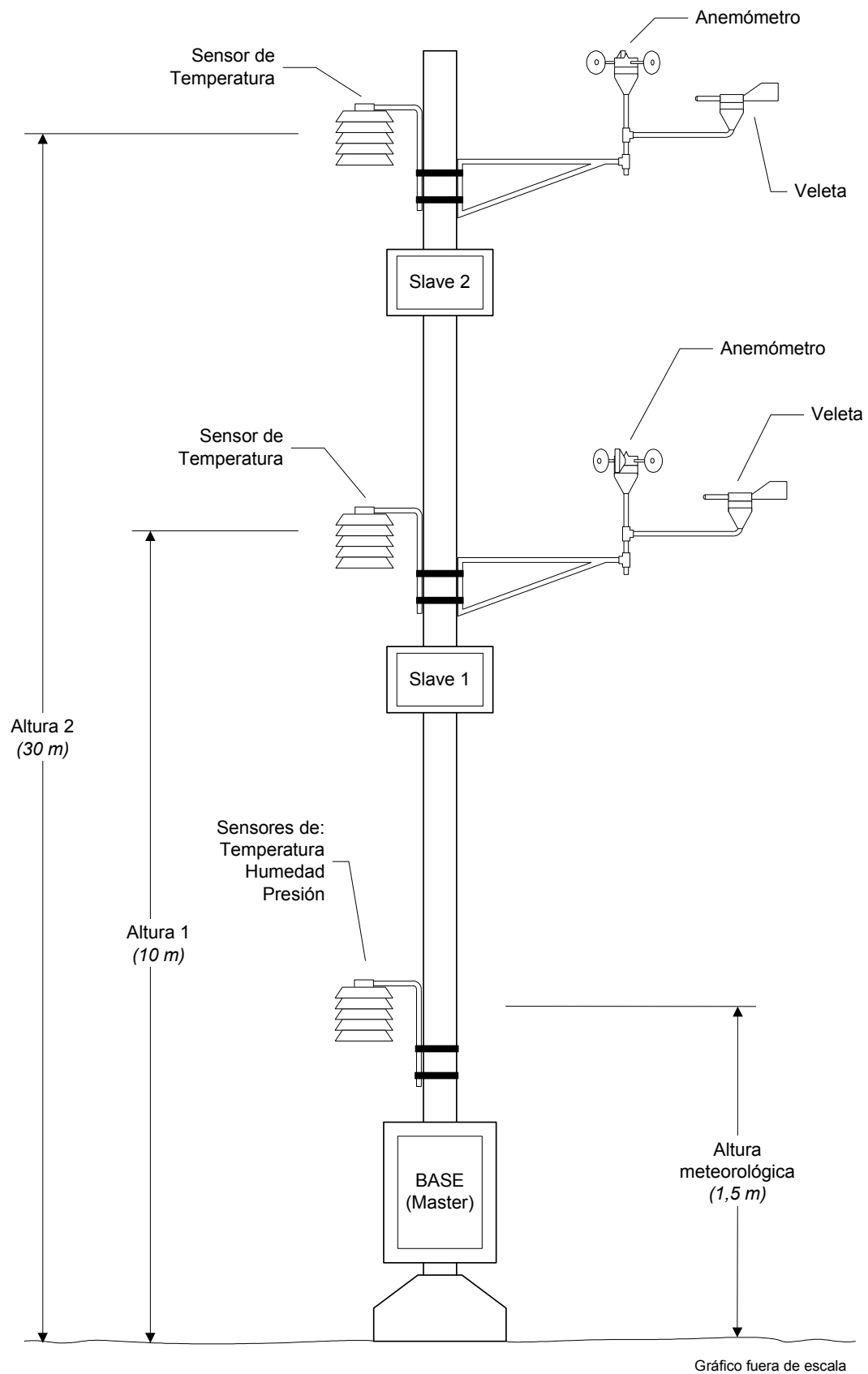


Figura 1. Instalación típica de la estación anemométrica

La Figura 1 muestra un esquema simplificado de una instalación típica de la estación anemométrica. En ésta se ve la disposición de los diferentes sensores ubicados en una torre tubular.

Para interconectar las distintas partes del sistema el gabinete de la Base cuenta con cuatro conectores externos (ver Figura 2) que se utilizan para: un panel solar (conector 1), la red domiciliaria de 220V-50Hz (conector 2), la red RS485 (conector 3) y los sensores de presión, humedad y temperatura ubicados en el abrigo meteorológico (conector 4).

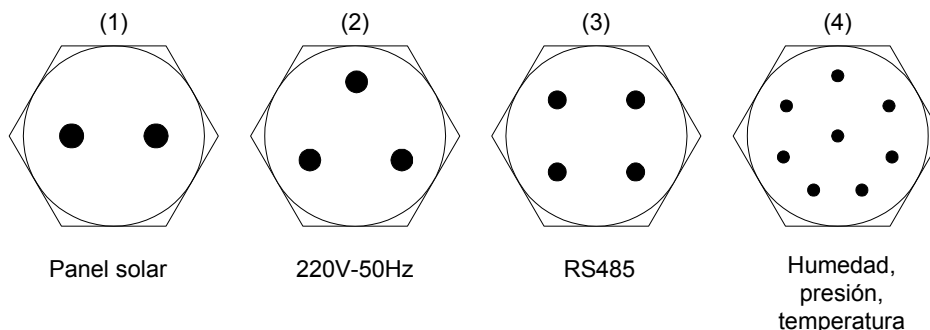


Figura 2. Esquema de la disposición de los conectores externos de la base

Por otra parte cada uno de los gabinetes de los Slaves cuentan con 5 conectores (ver Figura 3) que sirven para conectar: el anemómetro (conector 1), la veleta (conector 2), el sensor de temperatura ubicado en el abrigo meteorológico (conector 3) y la red RS485 (conector 4 y 5).

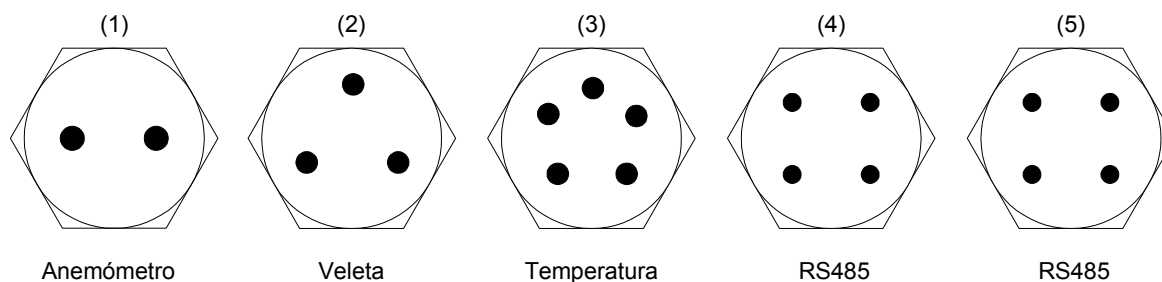


Figura 3. Esquema de la disposición de los conectores externos de los Slaves

Para comunicar a cada uno de los Slaves con la Base (Master), se utiliza una red RS485 y se deben realizar las siguiente conexiones:

- conector 3 de la Base con el conector 4 o 5 del Slave 1
- conector 4 o 5 del Slave 1 (el que quede libre) con el conector 4 o 5 del Slave 2
- colocar el terminador de la red RS485 en el conector del Slave 2 que quede libre (4 o 5)

2.1. Anemómetro y veleta

En general, la veleta y el anemómetro deben montarse lo suficientemente cercanos para que midan sobre el mismo flujo de aire, pero a la vez lo suficientemente alejados (horizontal y verticalmente), para evitar que la estela turbulenta que produce un sensor perturbe la medición del otro. La veleta NRG#200P y el anemómetro NRG#40, utilizados en esta estación anemométrica, son de la empresa NRG Systems la cual recomienda que los mismos se coloquen con una diferencia de altura de *10cm* y una separación horizontal de *26cm*.

La torre donde se montan los sensores también produce turbulencia y puede distorsionar la medición si no se colocan los sensores lo suficientemente alejados de la misma. La American Wind Energy Association especifica que los sensores de viento deben colocarse a 5 diámetros de una torre tubular o a 3 diámetros de una torre de celosía (lattice). Si es posible los sensores deben ubicarse antes de la torre en la dirección predominante del viento.

En la Figura 4 se observa un esquema donde se muestran las distancias recomendadas para la instalación del anemómetro y la veleta.

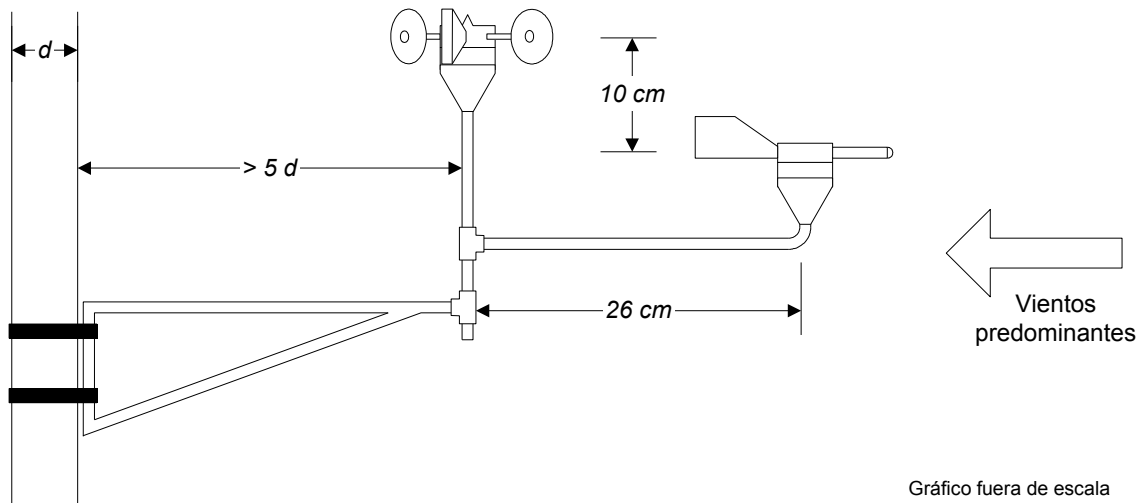


Figura 4. Distancias recomendadas para la instalación de anemómetro y veleta

2.2. Orientación de la veleta

Al realizar el montaje de los sensores a las dos alturas, hay que tener especial cuidado en la orientación que se le da a la veleta.

Si la punta de la veleta está alineada con la marca que tiene la base de la misma, entonces el punto medio del potenciómetro (cursor) está en el centro de la zona muerta o deadband (la deadband es el salto que hay entre los dos extremos del elemento resistivo del potenciómetro y típicamente es de 6°). Cuando la veleta está en la deadband, el sensor no mide y la estación anemométrica registra cero grados.

Tradicionalmente se instala la veleta con su deadband orientada hacia el Norte. Sin embargo, esto no siempre resulta conveniente porque si los vientos predominantes son en esa dirección, la deadband puede distorsionar los datos. Se resuelve este problema permitiendo que pueda orientarse la base de la veleta en doce rumbos diferentes (0° , 30° , 60° , etc), la orientación elegida debe ingresarse en la estación anemométrica al momento de configurarla (ver Sección 3.4.4). Se aconseja alinear la deadband de la veleta con el brazo de soporte de la misma, cuando se monta en la torre, para que sea más fácil verificar su orientación desde la base.

2.3. Abrigos meteorológicos

Los abrigos meteorológicos (tipo Stevenson) evitan que la radiación solar y la lluvia perturben la medición de los sensores que están en su interior, además de permitir la libre circulación del aire. De esta manera se asegura que la medición de las variables se realice correctamente.

La estación anemométrica cuenta con tres abrigos meteorológicos Stevenson, dos de ellos contienen un sensor de temperatura DS18S20 de la empresa Dallas-Maxim y se deben montar a la misma altura que las veletas y anemómetros. El tercer abrigo tiene un sensor de

temperatura DS18S20, un sensor de presión atmosférica (Motorola, MPX4115A) y un sensor de humedad relativa (Honeywell, HIH3610). Este abrigo se instala a la altura meteorológica (1.5m), cerca de la base de la estación anemométrica (ver Figura 1).

3. Modo de uso de la estación anemométrica

La Figura 5 muestra un esquema del panel frontal del gabinete de la Base donde se pueden observar una serie de leds indicadores. A continuación se da una breve explicación del significado de cada uno de ellos:

- Status: parpadea cada un segundo indicando que la estación anemométrica está adquiriendo. Si el led permanece prendido, el equipo se encuentra detenido.
- Panel: tiene el propósito de mostrar la presencia del panel solar. Si parpadea, indica que el panel está iluminado pero la batería está cargada. Si en cambio, está encendido continuamente, indica que la batería se está cargando. En el caso de que esté apagado significa que el panel no recibe luz o que simplemente no está conectado.
- 220V: señala que la estación anemométrica está conectada a la red domiciliaria.
- Link: es un indicador del flujo de datos por la red RS485. Parpadea intermitentemente cuando hay transferencia de datos entre los Slaves y el Master. También lo hace cuando se está descargando la memoria a la PC.

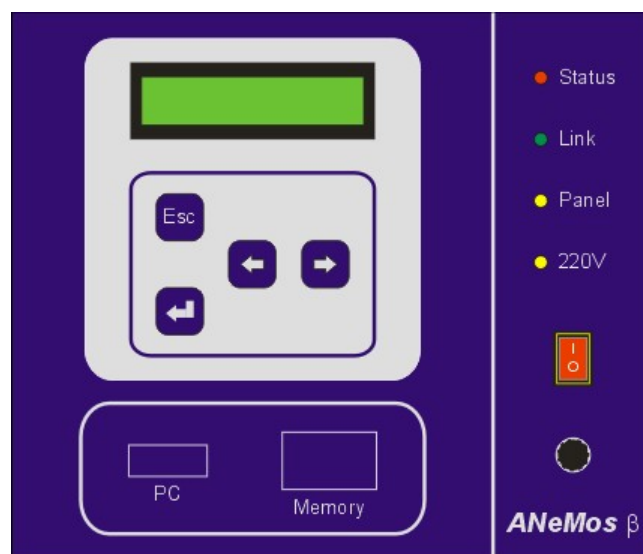


Figura 5. Esquema del panel frontal de la Base de la estación anemométrica

Además de los leds indicadores, en la Base se cuenta con una interfaz de usuario compuesta de un display (LCD) y de un teclado de cuatro teclas con funciones simples que le permiten al operario navegar en el menú que se muestra en pantalla. Dicho menú es de utilidad para realizar tanto funciones de configuración como de visualización de datos y estado de funcionamiento. También se puede hacer uso de otras herramientas con las que cuenta la estación anemométrica como borrar y descargar memoria. A lo largo del capítulo se tratarán en profundidad cada una de las funciones y su modo de uso.

3.1. Cómo navegar a través del menú

La estación anemométrica cuenta con cuatro teclas en el panel frontal para poder navegar a través del menú (ver Figura 5). Además el display tiene backlight que permite operar el equipo cuando la iluminación es pobre o nula. Dicho backlight, se enciende cuando se presiona una tecla cualquiera y se apaga automáticamente, luego de 15 segundos sin presionar alguna. A continuación se explican las funciones de cada tecla.

3.1.1 Tecla Enter

La tecla Enter se usa para seleccionar la opción visualizada entre corchetes en la pantalla. Por ejemplo, si la pantalla muestra [Setup] indica que si se presiona la tecla Enter se ingresará en el submenú Setup.

Muchos mensajes se muestran con el símbolo “Enter (&)” parpadeando en el ángulo inferior derecho de la pantalla. Esto indica que debe presionarse dicha tecla para mostrar la siguiente pantalla o para retornar a la estructura del menú, en el caso de que se trate de un mensaje.

3.1.2 Tecla Escape

La tecla Escape se usa para volver un paso atrás en la estructura del menú. Ésta tecla se puede pulsar en cualquier momento para “escapar” de la pantalla actual y retornar al menú previo. Presionando la tecla Escape sucesivas veces se retornará a la pantalla del menú principal en la cual ésta tecla no tiene ningún efecto. En algunos casos presionar esta tecla no causa ningún efecto.

3.1.3 Teclas de desplazamiento

Las teclas indicadas con una flecha hacia la izquierda o derecha le permiten al usuario moverse entre las opciones mostradas en la pantalla presente. Por ejemplo, para seleccionar la opción **TOOLS** del menú principal se presiona la tecla Flecha Derecha hasta que los corchetes encierren la opción deseada, [TOOLS]. Luego se presiona la tecla Enter para ingresar al submenú.

Las teclas Flecha Izquierda y Derecha también se usan en el submenú **Time**, por ejemplo para elegir el valor deseado luego de haber seleccionado la hora, minutos o segundos, que se indica con un parpadeo del caracter. Esto se hace aumentando o disminuyendo el número presentado en pantalla mediante el pulsado de las teclas Flecha Derecha y Flecha Izquierda respectivamente. También se usan en el submenú **Config** para elegir cada parámetro de configuración.

3.2. Menú principal

El menú principal de la estación anemométrica muestra los menús secundarios y la hora en caso de que el equipo esté adquiriendo. La Figura 6 muestra esta pantalla.

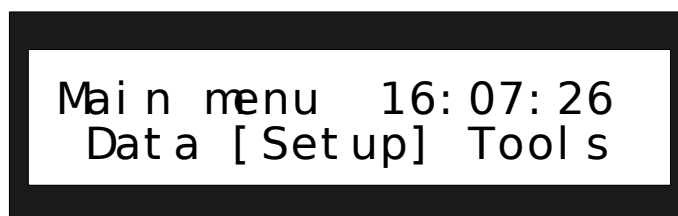


Figura 6. Pantalla del menú principal de la estación anemométrica

Nota: Si el equipo se encuentra adquiriendo, se muestra la hora actual en el ángulo superior derecho de la pantalla (como en la Figura 6), si en cambio, está detenido a la espera de ser configurado para iniciar la adquisición, no se visualiza la hora.

Los menús secundarios se organizan de la siguiente forma:

Menú [Data]

Presenta la información sobre las últimas mediciones realizadas por la estación anemométrica y muestra su estado de funcionamiento.

Menú [Setup]

En este submenú se puede acceder a todas las opciones de configuración de la estación anemométrica, además es posible revisarlos sin realizar cambios.

Menú [Tools]

En este submenú se encuentran las opciones de manejo de la memoria externa de la estación anemométrica, borrado y descarga a PC.

La estructura completa del menú se muestra en el diagrama de la Figura 7 incluyendo una breve descripción de sus funciones constituyentes. En las siguientes secciones se explicará en detalle cada uno de los menús secundarios.

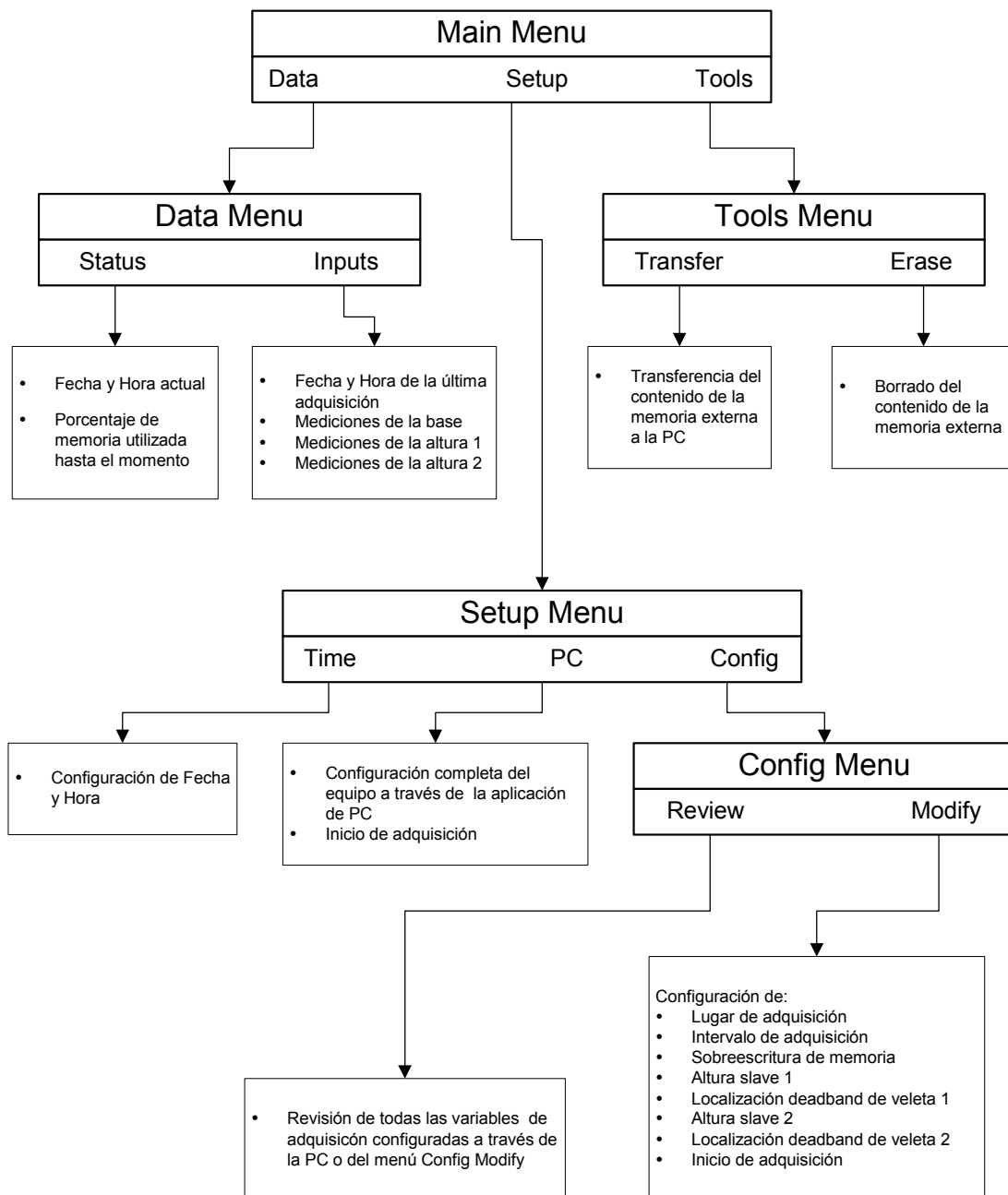


Figura 7. Estructura general del menú

3.3. Menú Data

La Figura 8 muestra la pantalla del submenú Data con sus dos opciones.

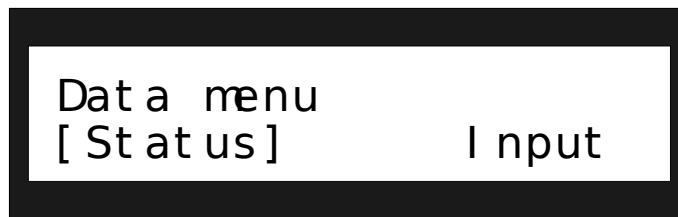


Figura 8. Pantalla "Data menu" de la estación anemométrica

3.3.1 Opción [Status]

Esta opción permite al usuario tener acceso a la fecha y hora actual y además se puede observar el porcentaje de la memoria usada hasta el momento. La Figura 9 muestra su aspecto. El formato de la fecha es dd/mm/aa.

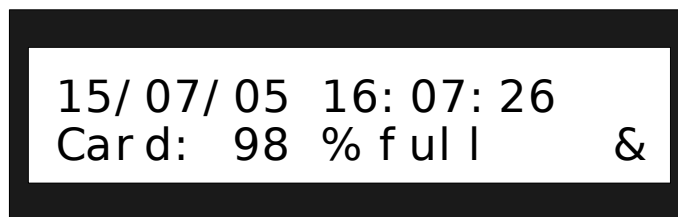


Figura 9. Ejemplo de pantalla de la opción "Status"

3.3.2 Opción [Inputs]

En esta opción se muestran una serie de pantallas que entregan información sobre los últimos datos almacenados en memoria. Los parámetros que se muestran dependen del intervalo de adquisición en el que esté configurada la estación anemométrica. En la Figura 10 se muestra un ejemplo de las pantallas de la estación anemométrica cuando está configurada con un intervalo de adquisición de 1 seg.

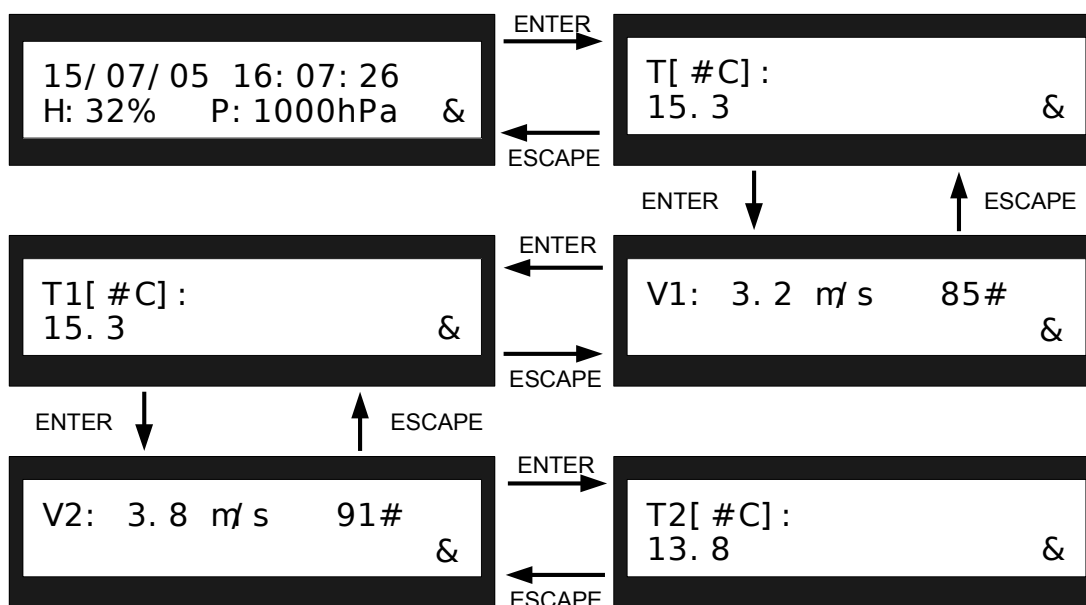


Figura 10. Ejemplo de secuencia de pantallas en modo 1 segundo

Los parámetros que aparecen en la Figura 10 son los siguientes:

15/07/05

Fecha con formato dd/mm/aa.

16:07:26

Hora.

H:32%

Humedad relativa en porcentaje.

P:1000hPa

Presión atmosférica en hectopascales.

T[#C]: 15.3

Temperatura medida en la base dada en grados centígrados.

V1: 3.2 m/s

Velocidad del viento medida a la altura1 en metros por segundo.

85#

Dirección del viento medido a la altura1 en grados respecto del Norte.

T1[#C]: 15.3

Temperatura medida a la altura1 en grados centígrados.

V2: 3.8 m/s

Velocidad del viento medida a la altura2 en metros por segundo.

91#

Dirección del viento medido a la altura2 en grados respecto del Norte.

T2[#C]: 13.8

Temperatura medida a la altura1 en grados centígrados.

Luego de presionar Enter en la última pantalla de la secuencia, se retorna al menú Data mostrado en la Figura 8.

Cuando la estación anemométrica está configurada en otro intervalo de adquisición (1min, 10min, 30min, 60min) las pantallas disponibles son las de la Figura 11.

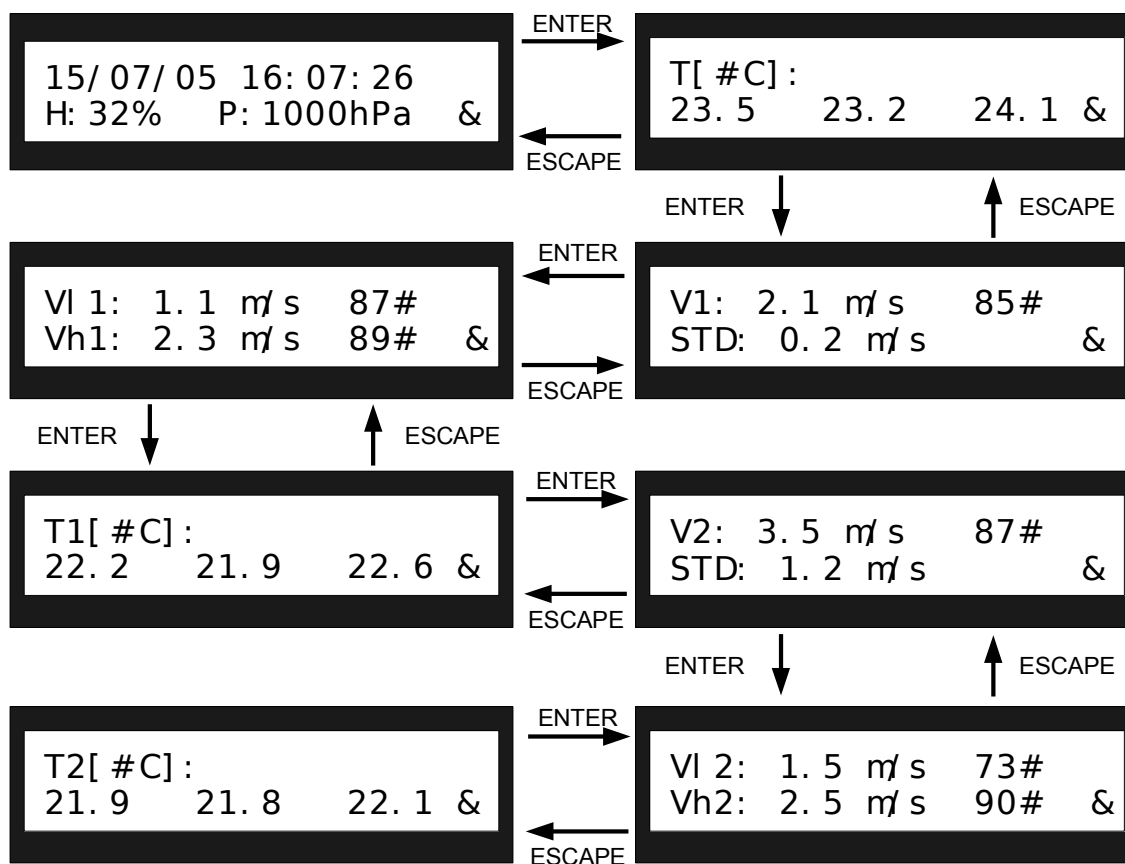


Figura 11. Ejemplo de secuencia de pantallas en intervalo de adquisición 1min, 10min, 30min, 60min

A continuación se describen los parámetros que se muestran en la Figura 11

15/07/05

Fecha con formato dd/mm/aa.

16:07:26

Hora.

H:32%

Humedad relativa en porcentaje.

P:1000hPa

Presión atmosférica en hectopascales.

T[#C]: 23.5 23.2 24.1

Temperaturas medidas en la base en grados centígrados. La primera es el promedio de las temperaturas medidas en el intervalo de adquisición configurado. La segunda es la máxima temperatura que se registró en el intervalo. La tercera es la mínima temperatura que se dio en el intervalo de adquisición.

V1: 2.1 m/s

Promedio de la velocidad del viento, medida a la altura1 en el intervalo de adquisición configurado. Sus unidades son metros por segundo.

85#

Promedio de la dirección del viento, medida en el intervalo de adquisición configurado a la altura1, en grados respecto del Norte.

STD: 0.2 m/s

Desvío estándar de la velocidad del viento, medida a la altura1 en el intervalo de adquisición configurado. Sus unidades son metros por segundo.

Vl1: 1.1 m/s

Mínima velocidad del viento, medida a la altura1 en el intervalo de adquisición configurado. Sus unidades son metros por segundo.

87#

Dirección que tuvo la mínima velocidad del viento, medida a la altura1 en grados respecto del Norte.

Vh1: 2.3 m/s

Máxima velocidad del viento, medida a la altura1 en el intervalo de adquisición configurado. Sus unidades son metros por segundo.

89#

Dirección que tuvo la máxima velocidad del viento, medida a la altura1 en grados respecto del Norte.

T1[#C]: 22.2 21.9 22.6

Temperaturas medidas a la altura1 en grados centígrados. La primera es el promedio de las temperaturas medidas en el intervalo de adquisición configurado, la segunda y la tercera corresponden a la temperatura mínima y máxima registrada en el intervalo.

V2: 3.5 m/s

Promedio de la velocidad del viento, medida a la altura2 en el intervalo de adquisición configurado. Sus unidades son metros por segundo.

87#

Promedio de la dirección del viento, medida a la altura2 en grados respecto del Norte.

STD: 1.2 m/s

Desvío estándar de la velocidad del viento, medida a la altura2 en el intervalo de adquisición configurado. Sus unidades son metros por segundo.

Vl2: 1.5 m/s

Mínima velocidad del viento, medida a la altura2 en el intervalo de adquisición configurado. Sus unidades son metros por segundo.

73#

Dirección que tuvo la mínima velocidad del viento, medida a la altura2 en grados respecto del Norte.

Vh2: 2.5 m/s

Máxima velocidad del viento, medida a la altura2 en el intervalo de adquisición configurado. Sus unidades son metros por segundo.

90#

Dirección que tuvo la máxima velocidad del viento, medida a la altura2 en grados respecto del Norte.

T2[#C]:21.9 21.8 22.1

Temperaturas medidas a la altura2 en grados centígrados. La primera es el promedio de las temperaturas medidas en el intervalo de adquisición configurado, la segunda corresponde a la temperatura máxima y la tercera a la temperatura mínima registradas en el intervalo.

Luego de presionar Enter en la última pantalla de la secuencia, se retorna al menú Data mostrado en la Figura 8.

Nota: La estación anemométrica obtiene los datos de los sensores cada un segundo en todos los casos, es decir que si por ejemplo, la estación anemométrica está configurada con intervalo de adquisición de 1 minuto, toma 60 muestras en cada período, con las cuales realiza los promedios y calcula los desvíos estándar. Además registra mínimos y máximos.

3.4. Menú Setup

Este menú contiene todas las opciones de configuración con las que cuenta la estación anemométrica. En la Figura 12 se muestra la pantalla de este menú con sus diferentes opciones.

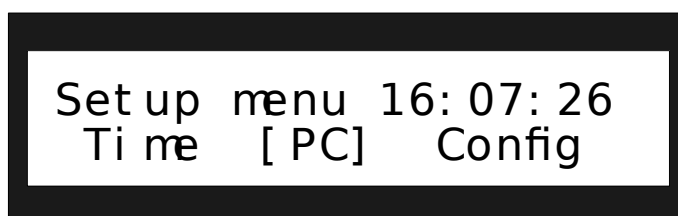


Figura 12. Pantalla del menú Setup de la estación anemométrica

3.4.1 Opción [Time]

En este submenú se puede configurar la fecha y la hora de la estación anemométrica. Una vez que la opción [Time] fue seleccionada pulsando la tecla Enter, si la estación anemométrica se encuentra adquiriendo, el display muestra la pantalla de la Figura 13. En dicha pantalla se advierte que si se decide continuar se detendrá la adquisición. Si el usuario sólo desea consultar la fecha y hora que el equipo tiene configurada, debe hacerlo a través de la opción [Status] del menú Data explicado en la Sección 3.3.

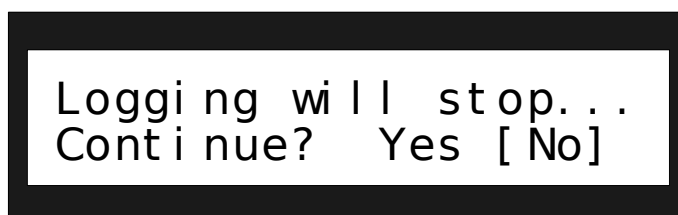


Figura 13. Mensaje que advierte que se detendrá la adquisición

Si se decide continuar con la configuración de la fecha y hora a pesar de que se detenga la adquisición, o si el equipo no estaba adquiriendo, se muestra la pantalla de la Figura 14. El primer parámetro, correspondiente al día, parpadea indicando que es el que se modificará al presionar las teclas de desplazamiento con las que se incrementa o decrementa el valor. Una vez que se selecciona el valor deseado, presionando Enter, se pasa al siguiente parámetro y así sucesivamente. Si se quiere volver a un parámetro anterior hay que presionar la tecla Escape.

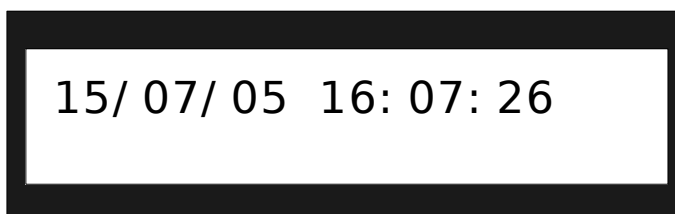


Figura 14. Pantalla para configurar la fecha y hora de la estación anemométrica

Cuando se completa la configuración de la fecha y la hora, luego de seleccionar el último parámetro (segundos), aparece un mensaje de confirmación (Figura 15). Si se presiona Enter sobre la selección [YES] la estación anemométrica comienza a funcionar con la nueva configuración de fecha y hora, si se lo hace sobre la selección [NO] se conserva la configuración anterior. En esta pantalla la tecla Escape no tiene efecto.

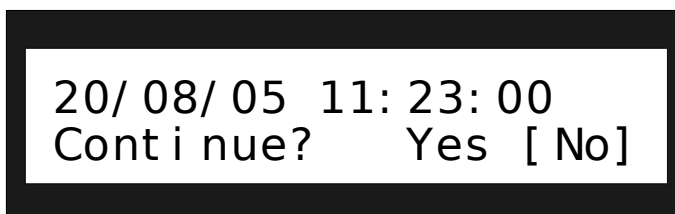


Figura 15. Mensaje de confirmación para modificar fecha y hora

3.4.2 Opción [PC]

Esta opción de configuración, permite que la estación anemométrica sea configurada desde la PC. Para llevar adelante esta tarea se deben seguir los pasos descritos en la Subsección 4.1.2.

3.4.3 Opción [Config]

Este submenú contiene dos opciones que permiten visualizar la configuración actual de la estación anemométrica o modificarla. La Figura 16 muestra la pantalla correspondiente, la presencia de la hora en el ángulo superior derecho indica que el equipo se encuentra adquiriendo datos.

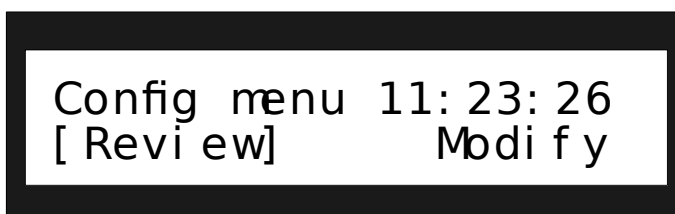


Figura 16. Menú Config de la estación anemométrica

En la Tabla 3 se observa un resumen de los diferentes parámetros de configuración con los que cuenta la estación anemométrica y sus posibles valores.

Tabla 3. Resumen de los posibles valores de los parámetros de configuración

Parámetro	Valores
Lugar de adquisición (Site Name)	Hasta 8 caracteres (letras mayúsculas, guión bajo, signo menos y numeral)
Intervalo de adquisición (Interval)	1seg, 1min, 10min, 30min, 60min
Sobreescritura (Overwrite)	Yes-No
Altura1, Altura2 [m] (Height1, Height2)	1-99
Deadband1, Deadband2 [°]	0, 30, 60, 90, 120, 150, 180, 210, 230, 250, 280, 310, 330

3.4.4 Opción [Modify]

En este submenú se presentan una serie de pantallas en las que el usuario puede configurar los diferentes parámetros de la estación anemométrica y comenzar la adquisición de datos. Si el equipo se encuentra adquiriendo al momento de elegir esta opción, aparecerá un mensaje de advertencia como el de la Figura 17, indicando que se detendrá la adquisición. Se debe tener en cuenta que de continuar y completar el proceso de configuración, se iniciará un nuevo muestreo y se perderán los datos que se encuentren almacenados en la memoria externa.

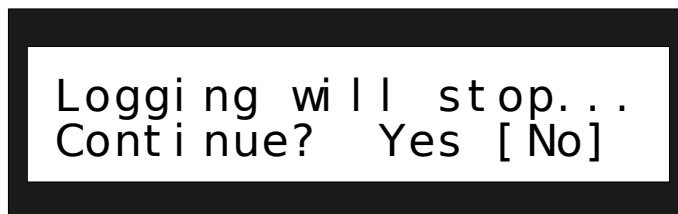


Figura 17. Mensaje que advierte que se detendrá la adquisición

Si se selecciona la opción [NO] se retorna al submenú Config de la Figura 16, donde el usuario si lo desea, puede revisar la configuración de la estación anemométrica sin interrumpir la adquisición, seleccionando la opción [Review].

La primera pantalla de la secuencia de configuración (Figura 18) muestra el lugar de adquisición (Site Name).

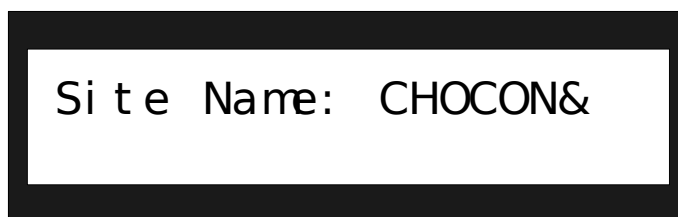


Figura 18. Configuración del lugar de adquisición

Se permite ingresar un nombre de hasta 8 caracteres que pueda ayudar a identificar la procedencia de los datos que serán almacenados en la memoria. Los caracteres se van ingresando uno a uno y se elige el valor deseado con las teclas de desplazamiento, el caracter seleccionado se indica con un parpadeo. Se pasa al caracter siguiente presionando la tecla Enter y se vuelve al anterior presionando la tecla Escape. El ingreso se completa cuando se presiona Enter luego del octavo caracter. Si se desea ingresar un nombre de menos de 8 caracteres, tal como en el ejemplo de la Figura 18 donde se observan 6, se indica el ingreso del último caracter seleccionando el símbolo & y presionando la tecla Enter. Así se pasa a la próxima pantalla de la secuencia de configuración que se muestra en la Figura 19.

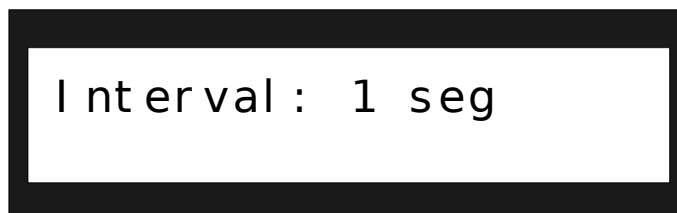


Figura 19. Configuración del intervalo de adquisición

El Intervalo de adquisición (**Interval**), se pueden seleccionar entre cinco posibles: 1 segundo, 1 minuto, 10 minutos, 30 minutos y 60 minutos. Este parámetro de configuración indica cada cuanto tiempo la estación anemométrica almacena datos en la memoria externa. Los diferentes datos que se almacenan cuando se cumple este período de tiempo se explican en la opción [**Inputs**] de la Sección 3.3. La siguiente pantalla de configuración se muestra en la Figura 20 y se accede luego de presionar Enter en el intervalo de adquisición seleccionado. Siempre se puede volver a una pantalla anterior presionando la tecla Escape.

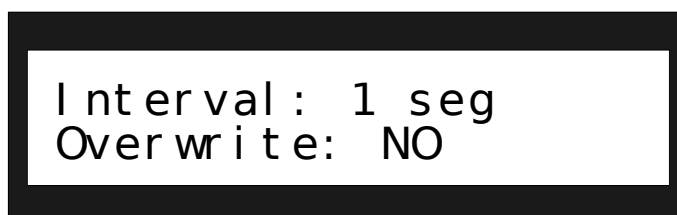


Figura 20. Configuración de sobreescritura

Con la sobreescritura (**Overwrite**) se le indica a la estación anemométrica lo que debe hacer en caso de que se llene la memoria y se puede elegir entre dos posibles opciones, YES o NO, haciendo uso de las teclas de desplazamiento. Si se elige que haya sobreescritura ([YES]), la estación anemométrica sobrescribe los datos más antiguos, por lo tanto preserva los últimos datos almacenados. Si no se quieren sobrescribir los datos ([NO]), la estación anemométrica deja de adquirir cuando se llena la memoria. Luego de presionar la tecla Enter en la selección deseada se pasa a la pantalla de la Figura 21 en la que se muestra la configuración de la altura del Slave 1.



Figura 21. Configuración de la altura del Slave 1

Con el parámetro altura1 (Height 1) se indica la altura en metros a la que se encuentra el Slave 1. Con las teclas de desplazamiento se incrementa o decrementa el valor que puede variar entre 1 y 99. Cuando se muestra en pantalla el valor buscado, se presiona la tecla Enter para pasar al siguiente parámetro de la secuencia de configuración que se muestra en la Figura 22.

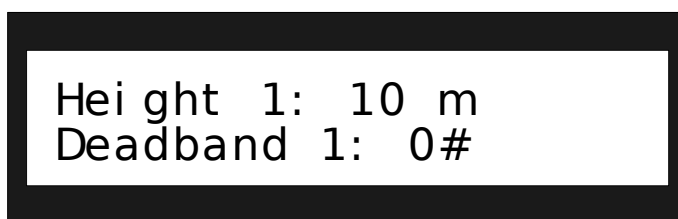


Figura 22. Configuración de la localización de la zona muerta de la veleta del Slave 1

La localización de la zona muerta del Slave 1 (Deadband 1) indica a la estación anemométrica la cantidad de grados, con respecto al Norte, en que fue ubicada la zona de la veleta en la que no se registra (la estación anemométrica indica cero grados). Los posibles valores son: 0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150°, 180°, 210°, 240°, 270°, 300° y 330°. El valor deseado se selecciona con las teclas de desplazamiento y se elige presionando la tecla Enter, luego de esto se pasa a la pantalla siguiente que se muestra en la Figura 23.



Figura 23. Configuración de la altura del Slave 2

La configuración de la altura2 (Height 2), indica la altura en metros a la que se encuentra el Slave 2, y es idéntica a la configuración de la altura1 para el Slave 1. Lo mismo sucede con la configuración de la localización de la zona muerta del Slave 2 (Deadband 2) que se muestra en la Figura 24.

```

Height 2: 30 m
Deadband 2: 0#

```

Figura 24. Configuración de la localización de la zona muerta de la veleta del Slave 2

Nota: Es conveniente que al momento de instalar las veletas se deje un registro, en el gabinete de la base, con la información de la deadband y la altura a la que están colocados los dos Slaves.

La zona muerta del Slave 2 es el último parámetro de la secuencia de configuración de la estación anemométrica. Luego de seleccionarlo y de presionar la tecla Enter aparece el mensaje de la Figura 25 que indica que se iniciará la adquisición.

```

Logging will start
Continue? Yes [No]

```

Figura 25. Mensaje de comienzo de adquisición

En caso de seleccionar [No] se retorna al submenú Config de la Figura 16. Si se presiona la tecla Enter en la opción [Yes] la estación anemométrica intentará iniciar la adquisición con los parámetros configurados y se mostrará la pantalla de la Figura 26.

```

Starting...

```

Figura 26. Mensaje indicando que se está iniciando la adquisición

Si el proceso de inicialización resulta exitoso, el equipo efectivamente comienza a adquirir y a registrar los datos en la memoria externa acorde a los parámetros de configuración que se seleccionaron. Se muestra la pantalla de la Figura 27 con el símbolo & parpadeando que indica que se debe presionar la tecla Enter, luego de hacerlo se presenta la pantalla del menú principal mostrada en la Figura 6.

```

Starting...
Completed      &

```


Figura 27. Mensaje de inicio de adquisición exitoso

En caso de fracasar el inicio de adquisición se muestra la pantalla de error correspondiente. Un ejemplo de error se observa en la Figura 28 la cual indica que el Slave 1 no responde, presionando Enter se retorna al menú principal de la Figura 6.

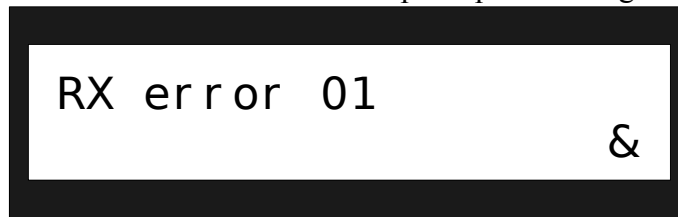


Figura 28. Mensaje de error de recepción

3.4.5 Opción [Review]

Esta opción, muestra cuál es la configuración actual de la estación anemométrica a través de las pantallas de la Figura 29. Los parámetros que se observan en la secuencia de pantallas de esta opción pueden ser los de funcionamiento, en caso de que el equipo se encuentre adquiriendo datos, o los de la última configuración ingresada, en caso de que esté detenido. No se pueden realizar modificaciones en esta opción, si se quiere hacerlo debe elegirse la opción [Modify].

La primera pantalla muestra el lugar de adquisición (Site Name) el cual ayuda a identificar de donde provienen los datos que están almacenados en la memoria. La pantalla siguiente indica el intervalo de adquisición (Interval) con el que se están registrando los datos y si se configuró con sobreescritura (Overwrite) o no. La tercer pantalla muestra la altura (Height 1) a la que se colocó el Slave 1 y la localización de la deadband de su veleta. La última pantalla contiene los mismos datos que la tercera pero para el Slave 2. Tras presionar Enter en la última pantalla se retorna al submenú Config de la Figura 16.

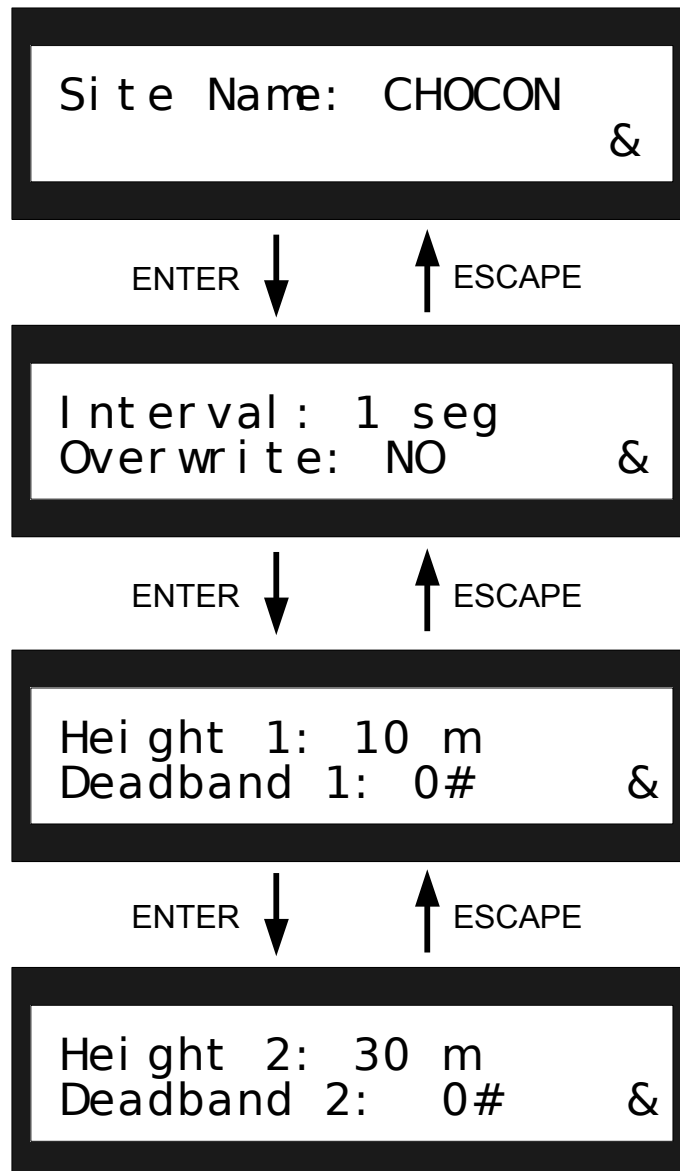


Figura 29. Secuencia de pantallas de la opción Review

3.5. Menú Tools

En éste menú están las herramientas para transferir el contenido de la memoria a la PC y para borrar la memoria. La Figura 30 muestra la pantalla del menú con sus dos opciones, nuevamente la presencia de la hora indica que el equipo se encuentra adquiriendo.

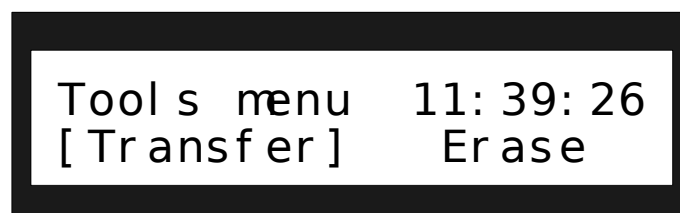


Figura 30. Pantalla del menú Tools

Cualquiera sea la opción que se seleccione en este menú, si el equipo está adquiriendo datos, al presionar la tecla Enter se presenta la pantalla de la Figura 31.

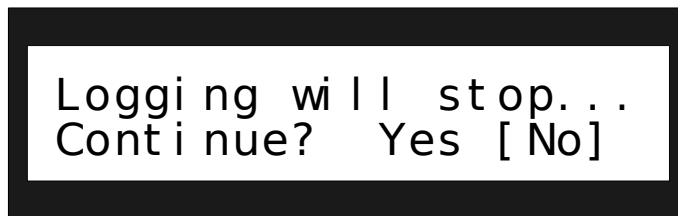


Figura 31. Mensaje que advierte que se detendrá la adquisición

3.5.1 Opción [Transfer]

Esta opción permite transferir los datos de la memoria a la PC. Se describe en la Subsección 4.2.1 cómo realizar esta tarea.

En caso de que exista algún error en la memoria la estación anemométrica muestra un mensaje de error en el display y envía a la PC un mensaje que se muestra en pantalla. Esto también ocurre si se intenta realizar el proceso de transferencia y no hay ninguna memoria colocada en el equipo.

3.5.2 Opción [Erase]

Esta opción permite borrar completamente el contenido de la memoria externa. Cuando se elige, se muestra un mensaje como el de la Figura 32 advirtiendo que se borrará la memoria, y por consiguiente se perderán los datos almacenados en ella. Este mensaje de advertencia le da la oportunidad al usuario de no iniciar el borrado. De esta manera, podría primero descargar los datos, guardarlos en un lugar seguro y luego completar el proceso de borrado.

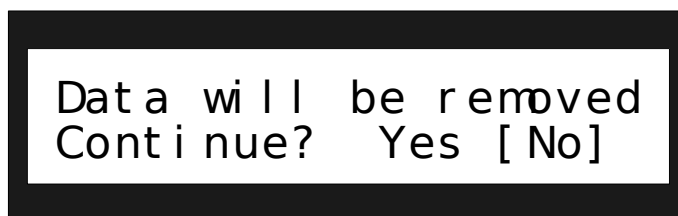


Figura 32. Mensaje que advierte que se borrará la memoria

Si se decide continuar, seleccionando [Yes] y presionando la tecla Enter, la estación anemométrica comienza a borrar el contenido de la memoria externa y muestra en pantalla el progreso del proceso en porcentaje, como se muestra en la Figura 33.

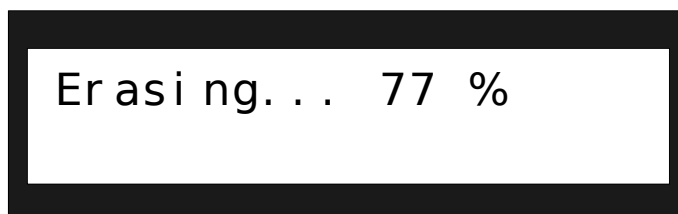


Figura 33. Pantalla de borrado de memoria en proceso

Cuando finaliza el proceso de borrado se indica 100 % en la pantalla y aparece el símbolo & indicando que se presione Enter para retornar al submenú Tools de la Figura 30.

4. Aplicación de PC

La interfaz gráfica de usuario, está desarrollada en Microsoft Visual Basic 6.0. La PC se conecta al equipo a través de uno de los puertos serie, haciendo uso del protocolo RS232. Con esta aplicación se pueden descargar los datos de la memoria, visualizar información almacenada previamente en forma de tablas y gráficos, realizar cálculos de potencia aerodinámica y configurar el equipo. En la Figura 34 se muestra la pantalla principal de la aplicación donde se observa la barra de menú y la barra de estado de la misma.



Figura 34. Pantalla principal de la aplicación de PC

4.1. Menú Configurar

En este menú se encuentran las opciones de configuración del equipo. Para poder realizar las mismas, el equipo debe estar conectado a la PC y seguir la secuencia establecida para cada función como se detalla en este documento. Las opciones de este menú son *Puerto serie*, *Estación anemométrica* como se muestra en la Figura 35.



Figura 35. Menú configurar

4.1.1 Configurar Puerto serie

Con esta opción se puede elegir el puerto serie (Com) por el que se comunicará con la estación anemométrica. La configuración será guardada y se mantendrá en el tiempo hasta que el usuario decida cambiarla.



Figura 36. Pantalla de configuración del puerto serie

4.1.2 Configurar estación anemométrica

En esta opción se abre un formulario donde están todos los parámetros de configuración de la estación anemométrica (Figura 37). A través de esta herramienta se podrá configurar la estación anemométrica desde la PC modificando los parámetros que se deseen.

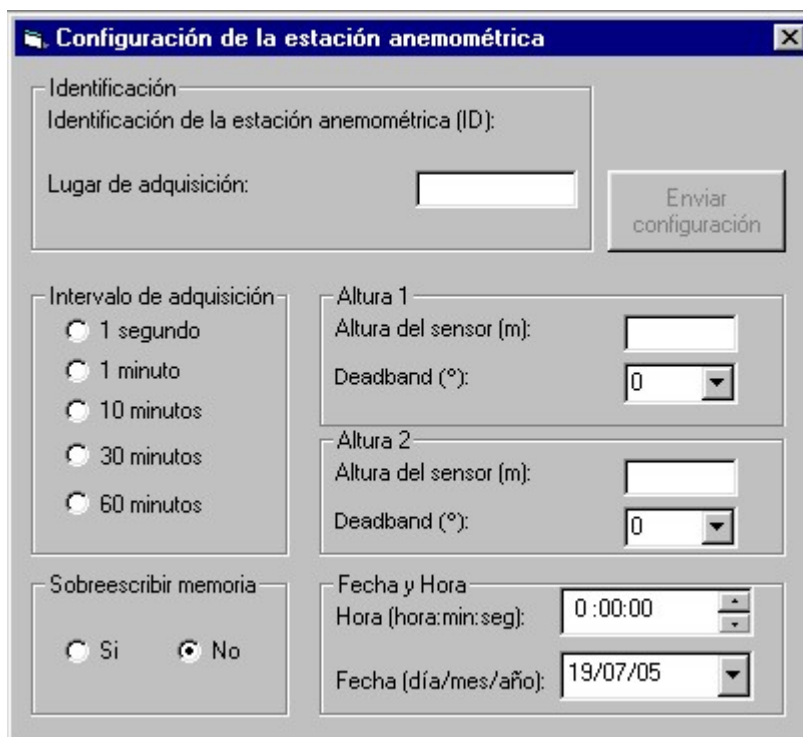


Figura 37. Pantalla de configuración de la estación anemométrica desde la PC

Los pasos que se deben seguir para realizar la configuración se explican a continuación.

Procedimiento para configurar la estación anemométrica desde la PC

Nota: Esta acción borrará el contenido de la memoria de la estación anemométrica y se perderán los datos que hay en ella. Descargue antes la memoria para guardar la información.

- Antes de comenzar asegúrese que la PC esté conectada al equipo y que la memoria está colocada en la estación anemométrica.
- En la aplicación de la PC elija "*Configurar*" y luego "*Estación anemométrica*" (ver Figura 35). Se abre el formulario de configuración de la Figura 37.
- En el menú principal de la estación anemométrica seleccione [*Setup*] (Figura 38) y luego [*PC*] en el menú de opciones (Figura 39). En caso de que el equipo esté adquiriendo, se muestra un mensaje que avisa al usuario que se detendrá la adquisición (Figura 40).

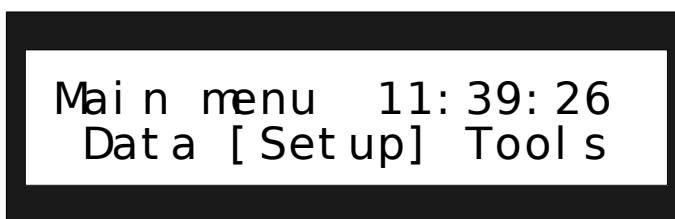


Figura 38. Menú principal del display de la estación anemométrica

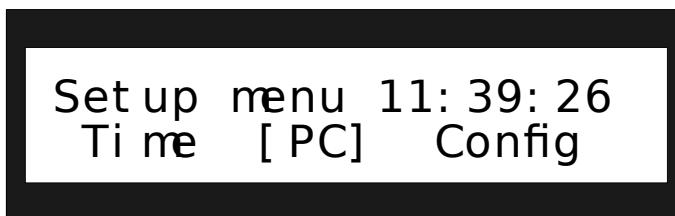


Figura 39. Menú Setup con opciones de configuración de la estación anemométrica

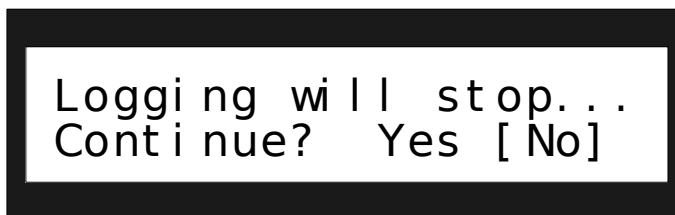


Figura 40. Mensaje de detención de adquisición



Figura 41. Mensaje de espera

- Luego el equipo se comunica con la PC, le trasfiere la configuración actual y en el display se muestra el mensaje de espera (Figura 41). Los campos del formulario de configuración (Figura 37) se completan con esta información y se habilita el botón "*Enviar configuración*". Si falla el intento de comunicación con la PC se muestra el mensaje de la Figura 42.

Nota: Si la estación anemométrica no tiene la memoria colocada se mostrará un mensaje de error en la aplicación de PC.

- Modifique los parámetros que desee y haga click en el botón "Enviar configuración" (Figura 37). La estación anemométrica recibirá la configuración, modificará los parámetros indicados e intentará comenzar la adquisición de datos. Si se completa el proceso de inicio de adquisición, se muestra el mensaje de inicialización completa (Figura 43), si en cambio éste falla, se muestra un mensaje de error.



Figura 42. Mensaje de error cuando falla el intento de conexión con la PC



Figura 43. Mensaje de comienzo de adquisición exitosa

4.2. Menú Herramientas

En este menú, se encuentran las opciones "Descargar memoria", "Abrir datos almacenados en PC" y "Modo monitor" tal como se muestra en la Figura 44.



Figura 44. Menú Herramientas

4.2.1 Descargar memoria

Al seleccionar esta opción se abre el formulario de la Figura 48 que permitirá descargar el contenido de la memoria a la PC. Esta herramienta cuenta con características que le permiten al usuario tener conocimiento sobre cómo se está llevando a cabo la transferencia de datos. En el procedimiento siguiente se describe la forma en que se realiza la descarga de memoria.

Procedimiento para transferir la memoria de la estación anemométrica a la PC

- Asegúrese de que la PC esté conectada al equipo y la memoria colocada en la estación anemométrica.
- En la aplicación de PC elija la opción "Descargar memoria" del menú "Herramientas" (ver Figura 44)

- Presionar el botón "comenzar". Se abrirá un formulario para asignar el nombre del archivo donde se guardarán los datos. El botón cambiará su etiqueta a "Finalizar". Ahora debe comenzar el proceso de descarga desde la estación anemométrica.

Nota: La aplicación ofrece por defecto un nombre de archivo que consta de la fecha y hora actual de la PC.

Nota: Si la estación anemométrica está adquiriendo, observará que se incrementan los bytes descartados por otro motivo en color amarillo. Esto es normal puesto que la herramienta no está diseñada para ese fin.

- En la estación anemométrica elija [Tools] en el menú principal (Figura 45) y luego seleccione [Transfer] en el menú Tools (Figura 46). Si la transferencia comienza exitosamente se mostrará una pantalla semejante a la Figura 47. En esta pantalla se muestra el porcentaje de paquetes de datos que ya se transfirieron a la PC (Transferring... 36%) y la cantidad de paquetes de datos que están grabados en la memoria (Data:759).



Figura 45. Pantalla del menú principal

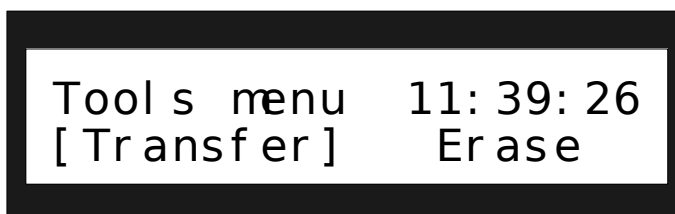


Figura 46. Pantalla del menú Tools

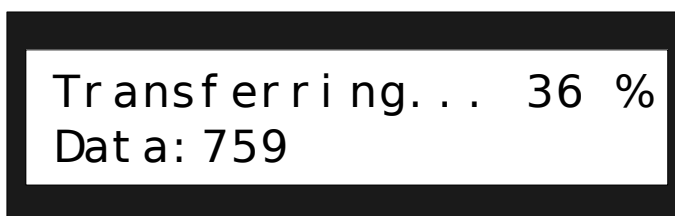


Figura 47. Pantalla de transferencia de memoria a PC

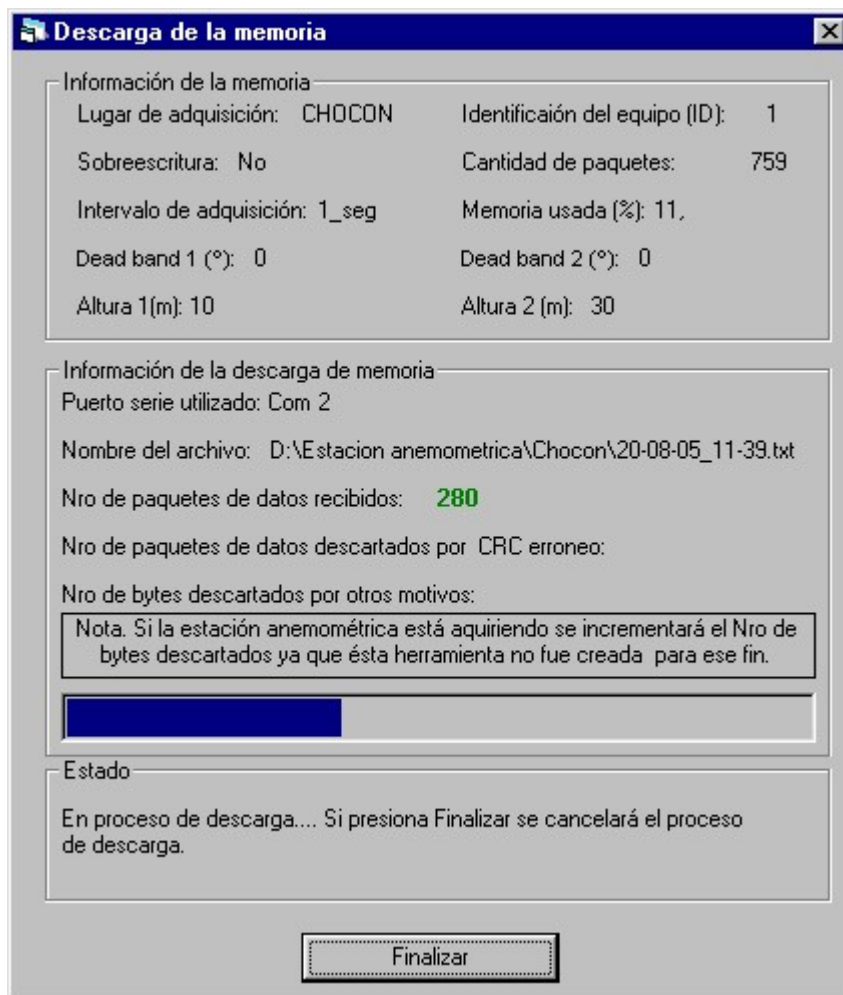


Figura 48. Formulario de descarga de memoria en proceso

En el formulario de la aplicación de PC se informará sobre la cantidad y porcentaje de memoria usada y la barra de progreso indicará el porcentaje de la memoria ya descargada (Figura 48). Cuando finaliza la descarga se muestra el mensaje de la Figura 49.



Figura 49. Mensaje de finalización de la descarga de memoria.

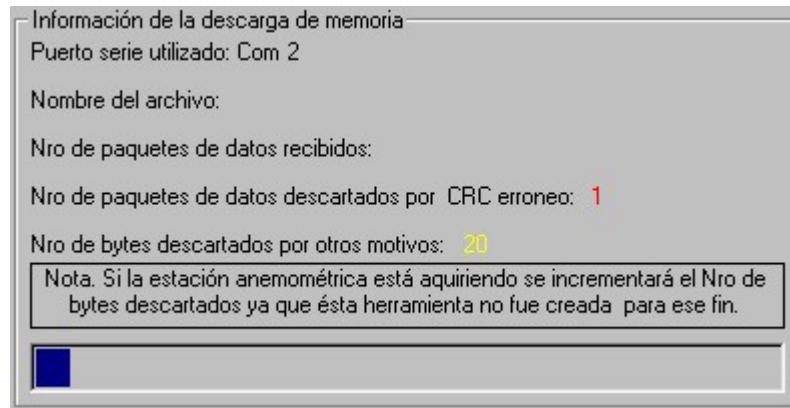


Figura 50. Ejemplo de transferencia con bytes descartados y paquetes de datos con error

Nota: Si se observa que aparecen paquetes de datos descartados por CRC erróneo, en color rojo, significa que ese número de paquetes de datos llegaron con errores y por ello se desecharon (Figura 50). En estos casos, que son muy poco frecuentes, se puede detener la descarga y repetir el proceso. Es muy probable que este inconveniente se solucione.

Nota: Se puede detener la descarga en cualquier momento presionando el botón "Finalizar" de la aplicación de la PC (Figura 48). Esto envía un mensaje al equipo que finaliza la transferencia y se muestra el mensaje de la Figura 51.



Figura 51. Mensaje de cancelación de descarga de memoria

4.2.2 Abrir datos almacenados en PC

Seleccionando esta opción en la barra de herramientas se abre un formulario donde se podrán abrir los archivos con datos de descargas de la memoria o archivos donde se guardaron cálculos de potencia aerodinámica. Además se podrán graficar los diferentes parámetros almacenados, ver la configuración con la que se adquirieron los datos y calcular la potencia aerodinámica de un aerogenerador.

Fecha	Hora	Temp prom[°]	Humedad[%]	Presión(hPa)	Vel prom alt'	Dir prom alt1	Temp prom.	Vel pron
20/08/05	11:26:14	20,4	36	967	0	66	20,2	
20/08/05	11:26:15	20,4	36	967	0	66	20,2	
20/08/05	11:26:16	20,4	36	967	0	66	20,2	
20/08/05	11:26:17	20,4	36	967	0	66	20,2	
20/08/05	11:26:18	20,4	36	967	0	66	20,2	
20/08/05	11:26:19	20,4	36	967	0	66	20,2	
20/08/05	11:26:20	20,4	36	967	0	66	20,2	
20/08/05	11:26:21	20,4	36	967	0	66	20,2	
20/08/05	11:26:22	20,4	36	967	0	66	20,2	
20/08/05	11:26:23	20,4	36	967	0	66	20,2	
20/08/05	11:26:24	20,4	36	967	0	66	20,2	
20/08/05	11:26:25	20,4	36	967	0	66	20,2	
20/08/05	11:26:26	20,4	36	967	0	66	20,2	
20/08/05	11:26:27	20,4	36	967	0	66	20,2	

Figura 52. Formulario Abrir archivos de datos

Modo de uso

Al elegir “Abrir archivos de datos” en el menú “Herramientas”, se abre un formulario como el de la Figura 52. Presione "Abrir archivo" para elegir que archivo desea abrir. Una vez que elige el archivo, se llenará la grilla con la información que éste contiene y se habilitarán los botones *Ver configuración*, *Calcular potencia* y *Graficar*.

Nota: El sistema se ha diseñado para asegurar que la información pueda ser identificada y no se pierda noción del tiempo en que se registraron los datos, por ello cada paquete de datos contiene impresa la fecha y hora en la que se grabó en la memoria del equipo. Se puede verificar si faltan datos analizando las columnas de fecha y hora al procesar la información.

Nota: Si los datos de un período a una de las alturas son todos ceros, puede significar que el Slave correspondiente tuvo alguna falla. Por ello, debe tenerse en cuenta este tipo de eventos al momento de procesar la información.

4.2.3 *Ver configuración*

Muestra la configuración de la memoria guardada en el archivo, la cual contiene todos los datos necesarios para que la información esté almacenada de modo seguro y se eviten malas interpretaciones de las magnitudes, parámetros, lugar de adquisición y momento en que se tomó la información (Figura 53).

Si se abre un archivo de *cálculo de potencia* se muestran además los parámetros con los que se realizaron los cálculos (Figura 54).

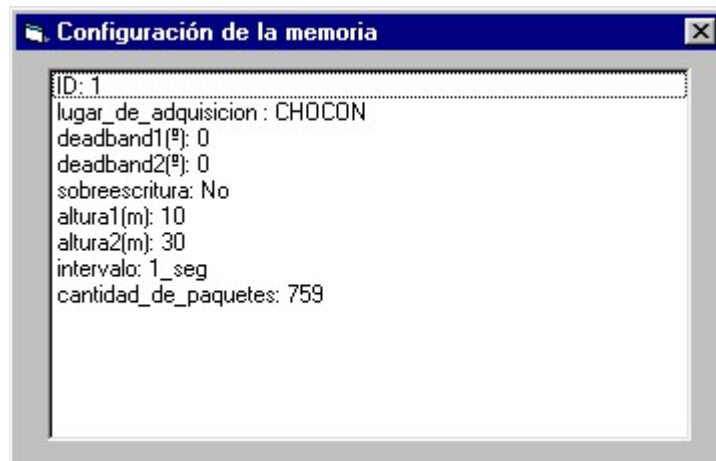


Figura 53. Formulario de la configuración de una memoria guardada en un archivo

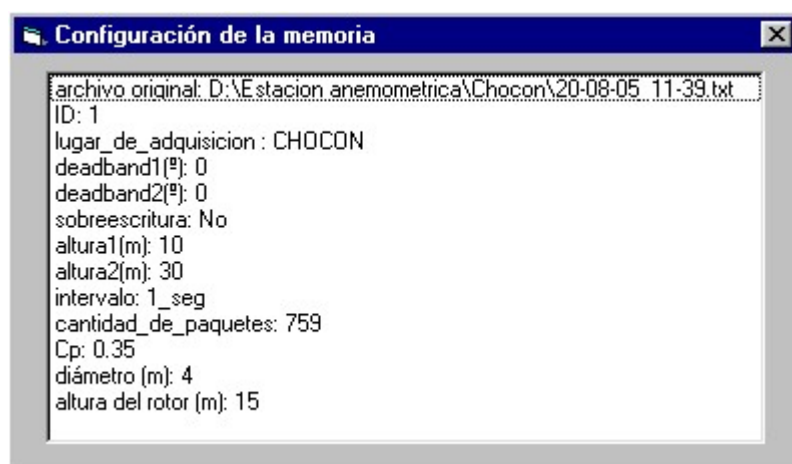


Figura 54. Ejemplo de configuración de un archivo de cálculo de potencia

4.2.4 Calcular potencia

Esta herramienta permite realizar el cálculo de la potencia aerodinámica de un aerogenerador con las características que se piden en el formulario de la Figura 55.

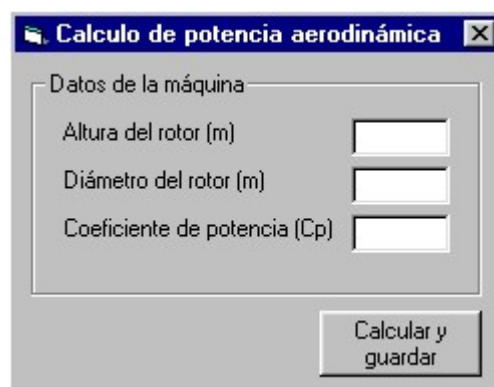


Figura 55. Formulario de ingreso de parámetros para el cálculo de la potencia aerodinámica

Modo de uso

Una vez que se presiona "Calcular potencia" en el formulario de la Figura 52 se abre un formulario que pide al usuario que ingrese algunos datos necesarios para realizar los

cálculos (Figura 55). Además se le pedirá al usuario que ingrese el nombre y ruta donde quiere guardar la información resultante (por defecto se ofrece un nombre para el archivo).

Luego se genera el archivo con los resultados que puede abrirse presionando "Abrir archivo" (Figura 52).

Esta herramienta puede utilizarse con archivos de descargas de memoria únicamente. Si se abre otro tipo de archivo, por ejemplo uno donde se guardaron cálculos de potencia, al momento de realizar el cálculo, se muestra el mensaje de la Figura 56.

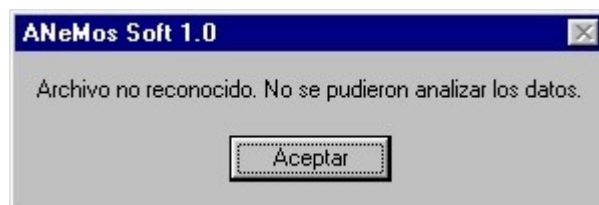


Figura 56. Mensaje de error al calcular la potencia

4.2.5 Graficar

Con esta herramienta se grafican todos los parámetros que se ven en la grilla de la Figura 52. Un ejemplo se muestra en la Figura 57.

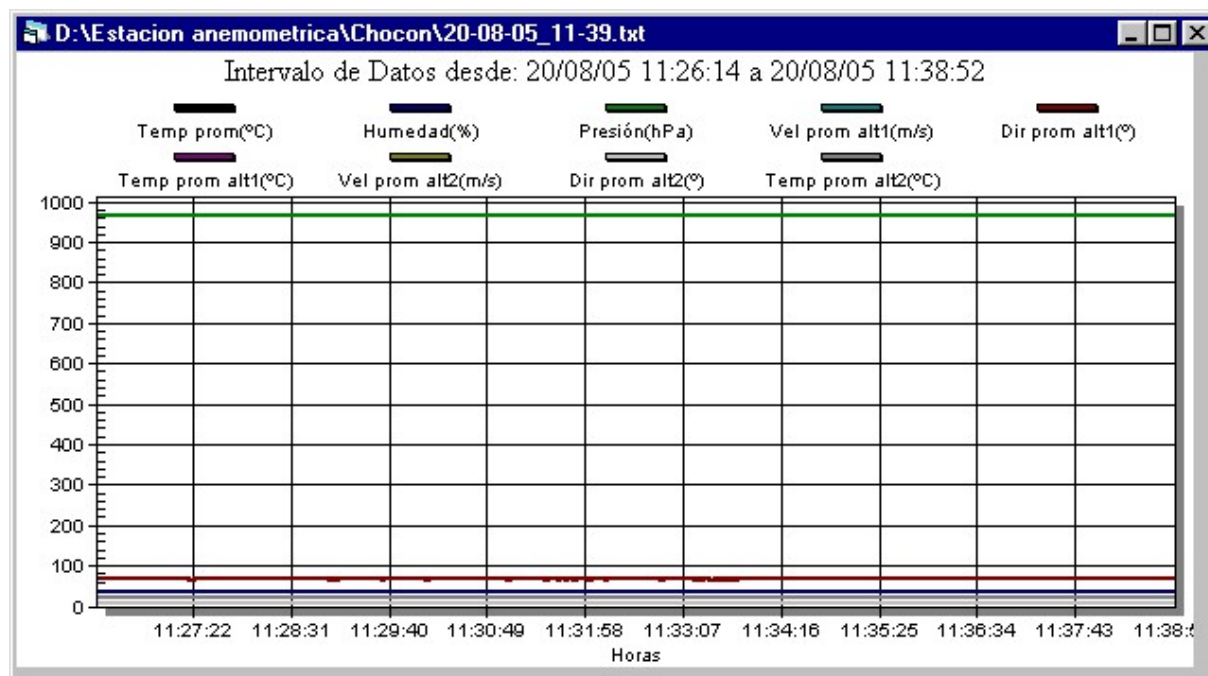


Figura 57. Ejemplo de un gráfico

Una vez que se muestra el gráfico, el usuario puede hacer diversos cambios para que la información se vea como la necesite. A continuación se dan algunas de las opciones.

Hacer zoom sobre una zona: eligiendo con el mouse la zona del gráfico y arrastrando el mismo con el botón apretado, se selecciona la zona a la que uno quiere hacer zoom. Luego se pueden visualizar registros anteriores o posteriores desplazándose con la rueda del mouse o con las barras de desplazamiento. Para sacar el efecto del zoom debe hacerse click sobre el gráfico con el botón derecho del mouse y seleccionar "Undo Zoom".

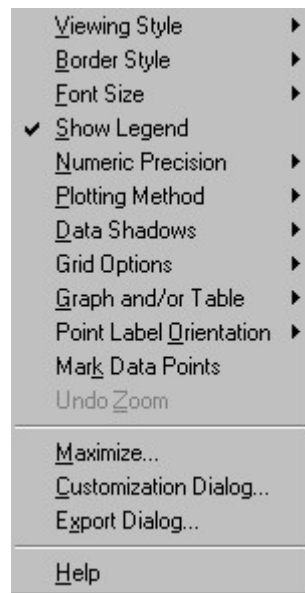


Figura 58. Opciones del formulario graficar

Si se presiona el botón derecho del mouse sobre el gráfico se despliega un formulario con varias opciones (Figura 58). Aquí se explican las más importantes a grandes rasgos.

- "*Viewing Style*", permite cambiar la apariencia del gráfico y el formulario.
- "*Plotting Method*", permite seleccionar el tipo de método de dibujo. Puede elegirse algunos métodos que dan líneas o curvas que ajustan a una determinada cantidad de puntos.
- "*Grid Options*", permite modificar las opciones de las grillas, tipo de línea solo horizontal o vertical o sin grilla.
- "*Graph, and/or Table*", permite visualizar el gráfico junto a una tabla de datos.
- "*Mark Data Point*", marca donde están los puntos de los datos tomados.
- "*Maximize...*", Permite maximizar el formulario donde está el gráfico. Para volver al estado anterior debe presionar la tecla escape.
- "*Customization Dialog...*", Esta opción abre un formulario donde se pueden hacer diversas configuraciones de visualización. Se pueden elegir la cantidad de parámetros a visualizar, los tipos y colores de línea de cada uno de los parámetros y el título entre otros. Esta opción también se abre si se hace doble click sobre el gráfico.
- "*Export Dialog...*", Esta opción permite imprimir el gráfico o guardarlo como una imagen con distintas extensiones (.jpg, .gif, etc.).

4.2.6 Modo Monitor

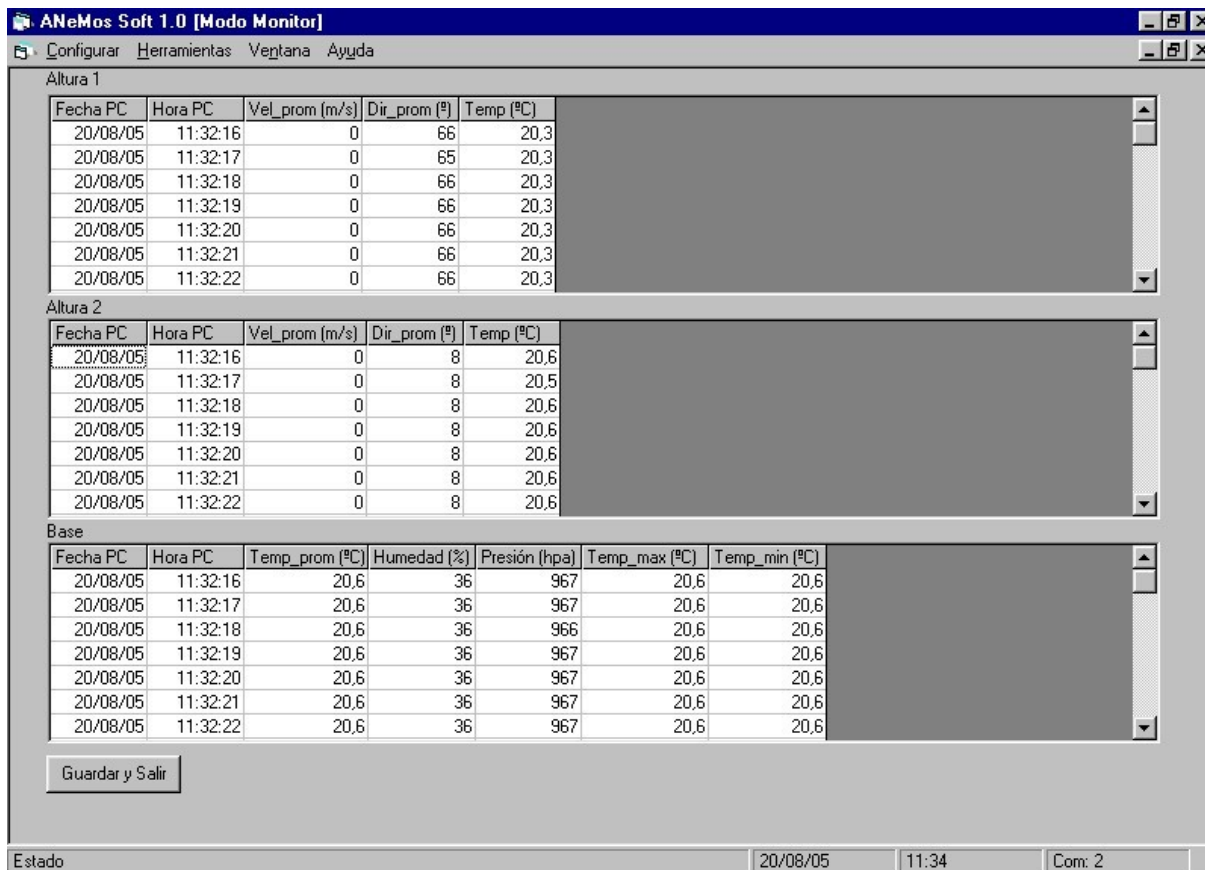


Figura 59. Formulario del modo monitor

Esta herramienta permite observar los datos que se adquieren en la estación anemométrica en tiempo real. Para utilizarla debe conectar la PC al equipo. Cuando se transmiten datos por la red del equipo la PC los captura, los decodifica y los agrega a las grillas correspondientes a cada altura con las unidades que le corresponden a cada una. Al mismo tiempo se almacena en un archivo temporal esta información. Se puede finalizar el proceso guardando la información en un archivo o salir cerrando el formulario con la cruz del ángulo superior derecho.

Para no usar muchos recursos del sistema, las grillas son borradas cada 1000 registros pero todos los datos quedan grabados en el archivo.

5. Características técnicas

- Temperatura de operación: -40°C a 80°C
- Alimentación autónoma: 1 batería 12V-7Ah más un panel solar de 18V-360mA
- Alimentación de red domiciliaria: 220V-50Hz
- Batería del reloj interno: 3V litio tipo CR2032
- Consumo: típico 40mA, máximo 120mA
- Display LCD alfanumérico de 20x2
- Puerto serie: conector DB9 con velocidad de transferencia de 9600 baudios en modo monitor y 19200 baudios en la descarga de memoria
- Capacidad de almacenamiento: memoria extraíble 2Mbits.
- Frecuencia de muestreo: todas las variables son muestreadas a 1Hz.
- Datos almacenados

Velocidad del viento

- Parámetros: promedio, máxima, mínima, desvío estándar
- Rango: 0 a 96m/s
- Resolución: 0,1m/s
- Exactitud: $\pm 0,1$ m/s para el rango de 5 a 25m/s

Dirección del viento

- Parámetros: promedio, dirección de la máxima y mínima velocidad
- Rango: 0 a 359°
- Resolución: 1°
- Exactitud: $\pm 2^\circ$

Temperatura

- Parámetros: promedio, máxima, mínima
- Rango: -40 a 60°C
- Resolución: 0,1°C
- Exactitud: $\pm 0,5^\circ\text{C}$

Humedad relativa

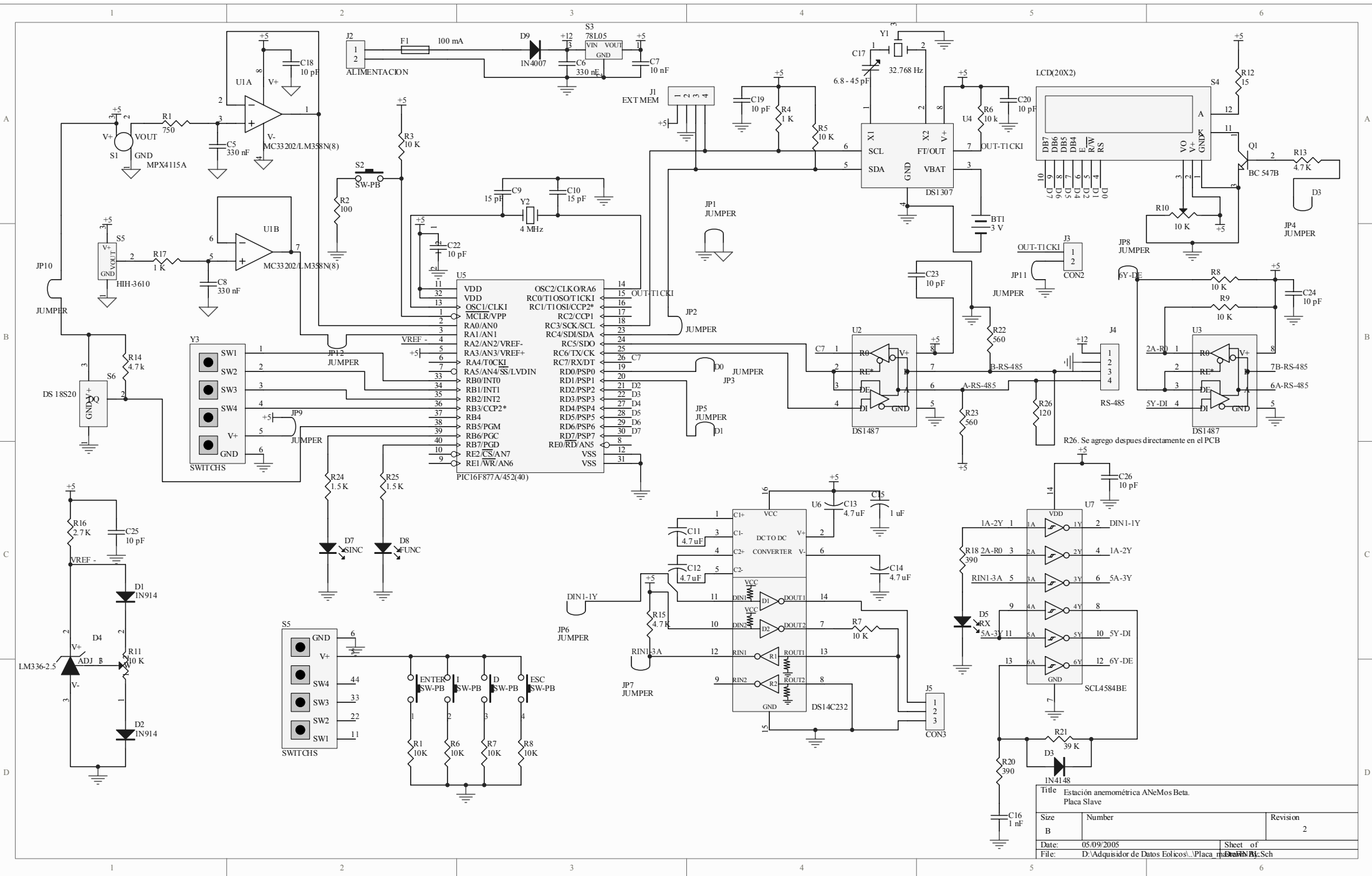
- Parámetros: instantánea
- Rango: 0 a 100%
- Resolución: 1%
- Exactitud: $\pm 2\%$

Presión atmosférica

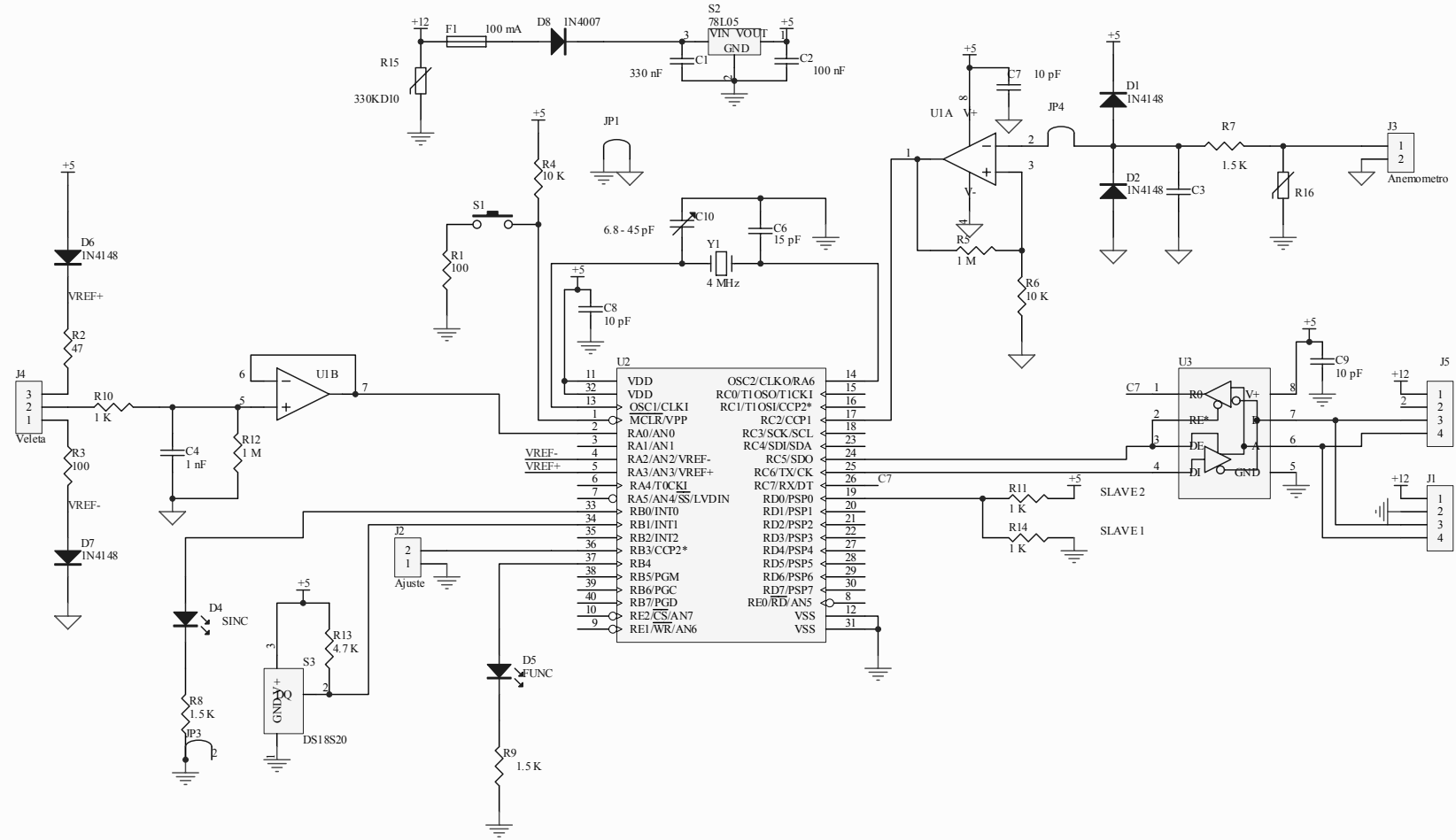
- Parámetros: instantánea
- Rango: 600 a 1100hPa
- Resolución: 1hPa
- Exactitud: $\pm 15\text{hPa}$

Anexo B

Circuitos eléctricos

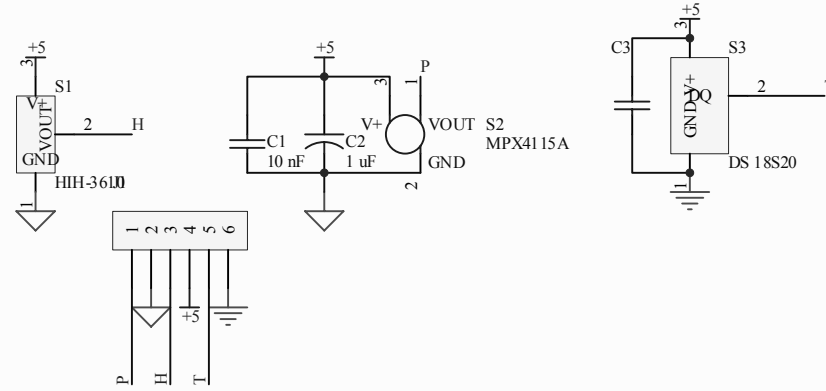


Title			Estación anemométrica ANeMos Beta. Placa Slave		
Size	Number			Revision	
B				2	
Date:	05/09/2005	Sheet of			
File:	D:\Adquisidor de Datos Eolicos\Placa		Sch		

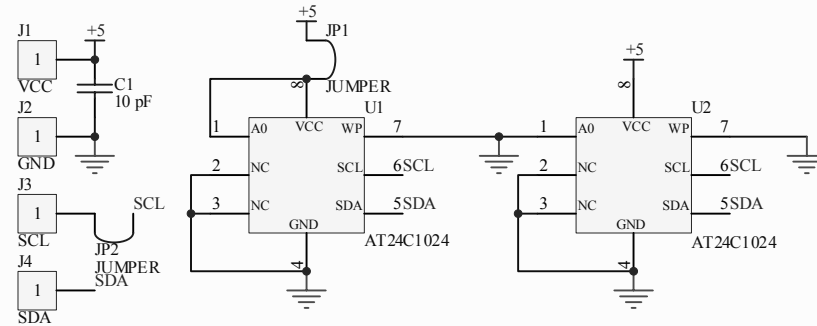


Title		
Estación anemométrica ANeMos Beta. Placa Slave		
Size	Number	Revision
B		2
Date:	05/09/2005	Sheet of
File:	D:\Adquisidor de Datos Eolicos\Placa	Drawn By: Sch

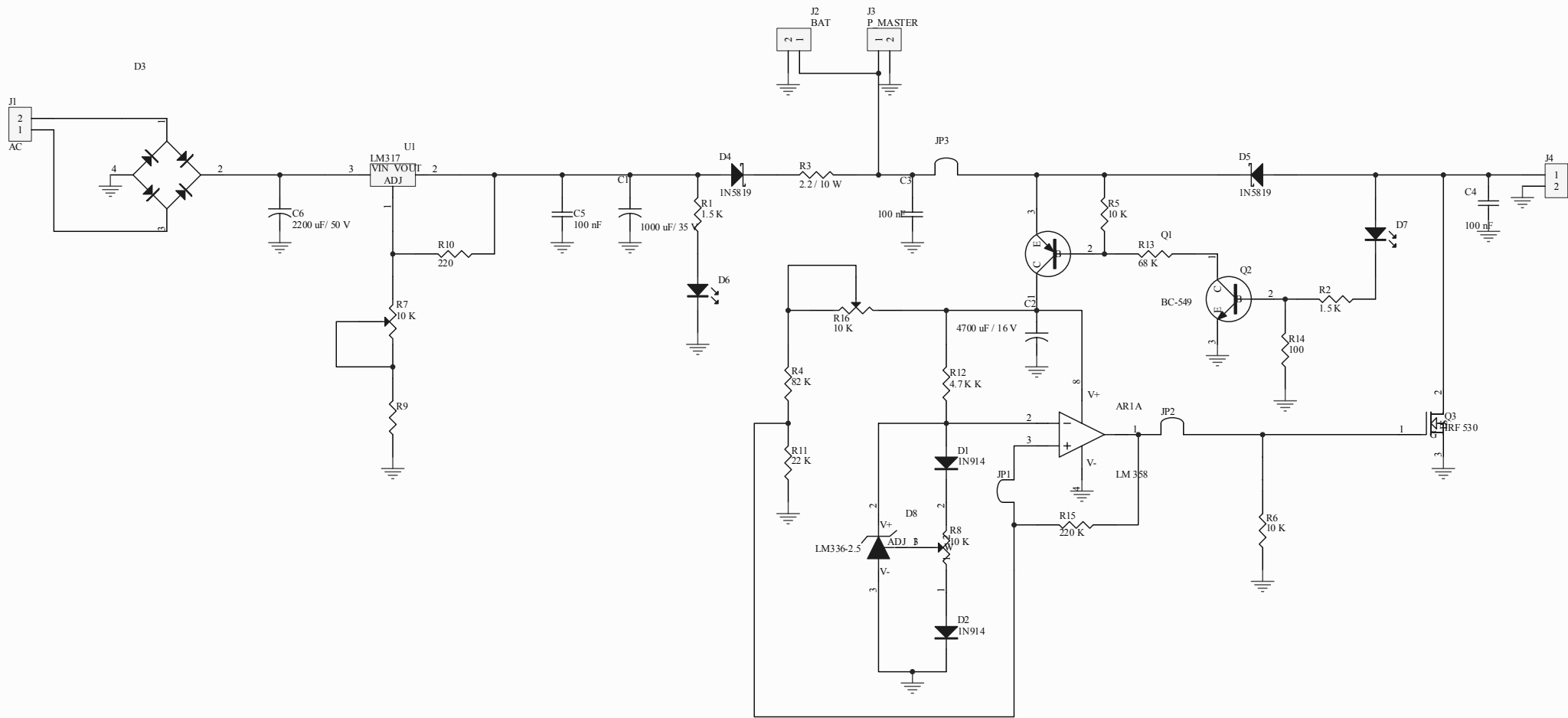
Placa Sensores



Placa Memoria



Title		
Estación anemométrica ANeMos Beta. Placa Sensores y Memoria		
Size	Number	Revision
A4		2
Date:	05/09/2005	Sheet of
File:	D:\Adquisidor de Datos Eolicos\..Placa_sensores	Drawn By:



Title Estación anemométrica ANeMos Beta. Placa Alimentación		
Size B	Number	Revision 2
Date: 05/09/2005	Sheet of	
File: D:\Adquisidor de Datos Eolicos\Placa Alimentación.Bor.Sch		

Anexo C

**Hojas de datos de los
sensores**

SPECIFICATIONS

NRG #40 Anemometer

FEATURES

- The standard anemometer used in the wind energy industry
- Short distance constant
- Simple, durable design



The NRG #40 anemometer is the industry standard anemometer used worldwide. NRG #40 anemometers have recorded wind speeds of 96 m/s (214 mph). Their low moment of inertia and unique bearings permit very rapid response to gusts and lulls. Because of their output linearity, these sensors are ideal for use with various data retrieval systems. A four pole magnet induces a sine wave voltage into a coil producing an output signal with a frequency proportional to wind speed. The #40 is constructed of rugged Lexan cups molded in one piece for repeatable performance. A rubber terminal boot is included.

SPECIFICATIONS

Description	Sensor type	3-cup anemometer
	Applications	<ul style="list-style-type: none">• wind resource assessment• meteorological studies• environmental monitoring
	Sensor range	1 m/s to 96 m/s (2.2 mph to 214 mph) (highest recorded)
	Instrument compatibility	all NRG loggers
Output signal	Signal type	low level AC sine wave, frequency linearly proportional to windspeed
	Transfer function	$m/s = (Hz \times 0.765) + 0.35$ [miles per hour = $(Hz \times 1.711) + 0.78$]
	Accuracy	within 0.1 m/s (0.2 mph) for the range 5 m/s to 25 m/s (11 mph to 55 mph)
	Calibration	calibrated version available
	Output signal range	0 Hz to 125 Hz (highest recorded)
Response characteristics	Threshold	0.78 m/s (1.75 miles per hour)

Global leaders in wind assessment technology



110 Riggs Road • Hinesburg • VT 05461 USA • TEL (802) 482-2255 • FAX (802) 482-2272 • EMAIL sales@nrgsystems.com

SPECIFICATIONS

	Distance constant (63% recovery)	3.0 m (10 feet)
	Moment of inertia	$68 \times 10^{-6} \text{ S-ft}^2$
	Swept diameter of rotor	190 mm (7.5 inches)
Installation	Mounting	onto a 13 mm (0.5 inch) diameter mast with cotter pin and set screw
	Tools required	0.25 inch nut driver, petroleum jelly, electrical tape
Environmental	Operating temperature range	-55 °C to 60 °C (-67 °F to 140 °F)
	Operating humidity range	0 to 100% RH
Physical	Connections	4-40 brass hex nut/post terminals
	Weight	0.14 kg (0.3 pounds)
	Dimensions	<ul style="list-style-type: none"> • 3 cups of conical cross-section, 51 mm (2 inches) dia. • 81 mm (3.2 inches) overall assembly height
Materials	Cups	one piece injection-molded black polycarbonate
	Body	housing is black ABS plastic
	Shaft	beryllium copper, fully hardened
	Bearing	modified Teflon, self-lubricating
	Magnet	Indox 1, 25 mm (1 inch) diameter, 13 mm (0.5 inch) long, 4 poles
	Coil	single coil, bobbin wound, 4100 turns of #41 wire, shielded for ESD protection
	Boot	protective PVC sensor terminal boot included
	Terminals	brass

Global leaders in wind assessment technology



110 Riggs Road • Hinesburg • VT 05461 USA • TEL (802) 482-2255 • FAX (802) 482-2272 • EMAIL sales@nrgsystems.com

SPECIFICATIONS

NRG #200P Wind Direction Vane

FEATURES

- The standard wind direction vane used in the wind energy industry
- Simple, durable design
- Corrosion-resistant materials



The NRG #200P wind direction vane is the industry standard wind direction vane used worldwide. The thermoplastic and stainless steel components resist corrosion and contribute to a high strength-to-weight ratio. The vane is directly connected to a precision conductive plastic potentiometer located in the main body. An analog voltage output directly proportional to the wind direction is produced when a constant DC excitation voltage is applied to the potentiometer. A rubber terminal boot is included.

SPECIFICATIONS

Description	Sensor type	continuous rotation potentiometric wind direction vane
	Applications	<ul style="list-style-type: none"> • wind resource assessment • meteorological studies • environmental monitoring
	Sensor range	360° mechanical, continuous rotation
	Instrument compatibility	all NRG loggers
Output signal	Signal type	Analog DC voltage from conductive plastic potentiometer, 10K ohms
	Transfer function	Output signal is a ratiometric voltage
	Accuracy	potentiometer linearity within 1%
	Dead band	8° Maximum, 4° Typical
	Output signal range	0 V to excitation voltage (excluding deadband)
Power requirements	Supply voltage	Regulated potentiometer excitation of 1 V to 15 V DC
Response characteristics	Threshold	1 m/s (2.2 miles per hour)
Installation	Mounting	onto a 13 mm (0.5 inch) diameter mast with cotter pin and set screw
	Tools required	0.25 inch nut driver, petroleum jelly, electrical tape
Environmental	Operating temperature range	-55 °C to 60 °C (-67 °F to 140 °F)



Global leaders in wind assessment technology

110 Riggs Road · Hinesburg · VT 05461 USA · TEL (802) 482-2255 · FAX (802) 482-2272 · EMAIL sales@nrgsystems.com

SPECIFICATIONS

	Operating humidity range	0 to 100% RH
	Lifespan	50 million revolutions (2-6 years normal operation)
Physical	Connections	4-40 brass hex nut/post terminals
	Weight	0.14 kg (0.3 pounds)
	Dimensions	<ul style="list-style-type: none">• 21 cm (8.3 inches) length x 12 cm (4.3 inches) height• 27 cm (10.5 inches) swept diameter
Materials	Body	black UV stabilized static-dissipating plastic
	Shaft	stainless steel
	Bearing	stainless steel
	Wing	black UV stabilized injection molded plastic
	Boot	protective PVC sensor terminal boot included
	Terminals	brass

Global leaders in wind assessment technology

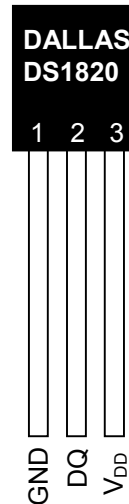


110 Riggs Road · Hinesburg · VT 05461 USA · TEL (802) 482-2255 · FAX (802) 482-2272 · EMAIL sales@nrgsystems.com

FEATURES

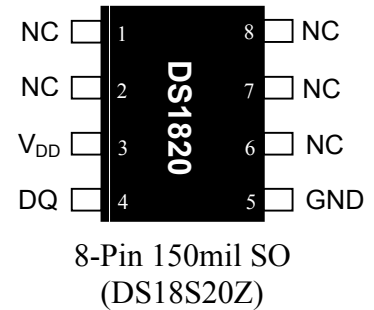
- Unique 1-Wire[®] interface requires only one port pin for communication
- Each device has a unique 64-bit serial code stored in an onboard ROM
- Multidrop capability simplifies distributed temperature sensing applications
- Requires no external components
- Can be powered from data line. Power supply range is 3.0V to 5.5V
- Measures temperatures from -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ (-67°F to $+257^{\circ}\text{F}$)
- $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ accuracy from -10°C to $+85^{\circ}\text{C}$
- 9-bit thermometer resolution
- Converts temperature in 750ms (max.)
- User-definable nonvolatile (NV) alarm settings
- Alarm search command identifies and addresses devices whose temperature is outside of programmed limits (temperature alarm condition)
- Applications include thermostatic controls, industrial systems, consumer products, thermometers, or any thermally sensitive system

PIN ASSIGNMENT



(BOTTOM VIEW)

TO-92
(DS18S20)



8-Pin 150mil SO
(DS18S20Z)

PIN DESCRIPTION

- GND - Ground
- DQ - Data In/Out
- V_{DD} - Power Supply Voltage
- NC - No Connect

DESCRIPTION

The DS18S20 Digital Thermometer provides 9-bit centigrade temperature measurements and has an alarm function with nonvolatile user-programmable upper and lower trigger points. The DS18S20 communicates over a 1-Wire bus that by definition requires only one data line (and ground) for communication with a central microprocessor. It has an operating temperature range of -55°C to $+125^{\circ}\text{C}$ and is accurate to $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ over the range of -10°C to $+85^{\circ}\text{C}$. In addition, the DS18S20 can derive power directly from the data line (“parasite power”), eliminating the need for an external power supply.

Each DS18S20 has a unique 64-bit serial code, which allows multiple DS18S20s to function on the same 1-Wire bus; thus, it is simple to use one microprocessor to control many DS18S20s distributed over a large area. Applications that can benefit from this feature include HVAC environmental controls, temperature monitoring systems inside buildings, equipment or machinery, and process monitoring and control systems.

DETAILED PIN DESCRIPTIONS Table 1

8-PIN SOIC*	TO-92	SYMBOL	DESCRIPTION
5	1	GND	Ground.
4	2	DQ	Data Input/Output Pin. Open-drain 1-Wire interface pin. Also provides power to the device when used in parasite power mode (see “Parasite Power” section.)
3	3	V _{DD}	Optional V_{DD} Pin. V _{DD} must be grounded for operation in parasite power mode.

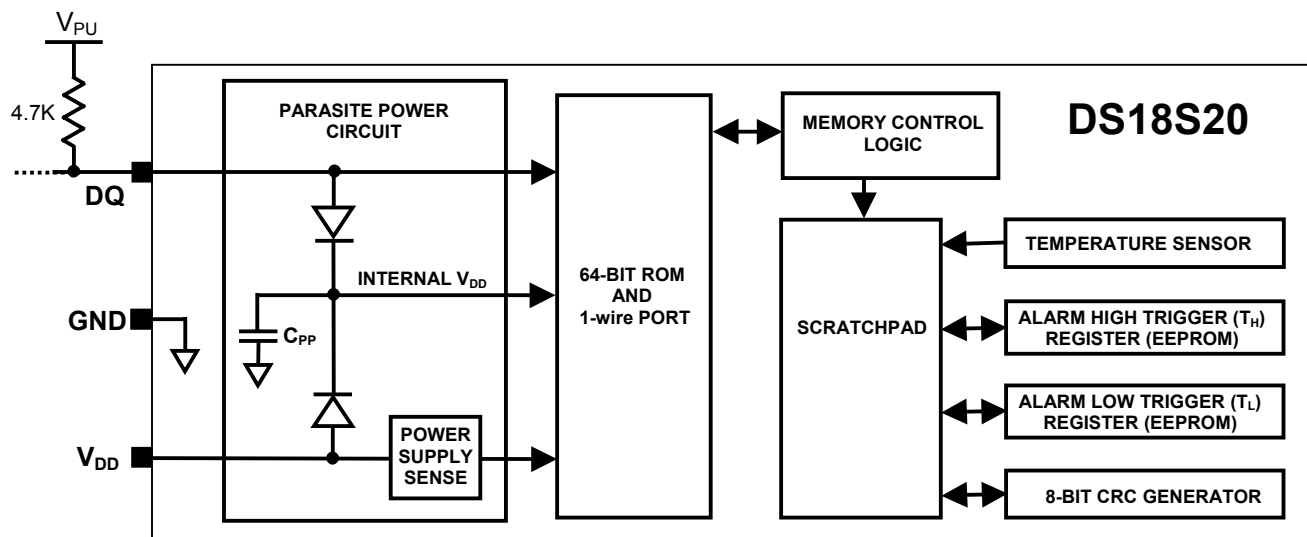
*All pins not specified in this table are “No Connect” pins.

OVERVIEW

Figure 1 shows a block diagram of the DS18S20, and pin descriptions are given in Table 1. The 64-bit ROM stores the device’s unique serial code. The scratchpad memory contains the 2-byte temperature register that stores the digital output from the temperature sensor. In addition, the scratchpad provides access to the 1-byte upper and lower alarm trigger registers (T_H and T_L). The T_H and T_L registers are nonvolatile (EEPROM), so they will retain data when the device is powered down.

The DS18S20 uses Dallas’ exclusive 1-Wire bus protocol that implements bus communication using one control signal. The control line requires a weak pullup resistor since all devices are linked to the bus via a 3-state or open-drain port (the DQ pin in the case of the DS18S20). In this bus system, the microprocessor (the master device) identifies and addresses devices on the bus using each device’s unique 64-bit code. Because each device has a unique code, the number of devices that can be addressed on one bus is virtually unlimited. The 1-Wire bus protocol, including detailed explanations of the commands and “time slots,” is covered in the *1-WIRE BUS SYSTEM* section of this datasheet.

Another feature of the DS18S20 is the ability to operate without an external power supply. Power is instead supplied through the 1-Wire pullup resistor via the DQ pin when the bus is high. The high bus signal also charges an internal capacitor (C_{PP}), which then supplies power to the device when the bus is low. This method of deriving power from the 1-Wire bus is referred to as “parasite power.” As an alternative, the DS18S20 may also be powered by an external supply on V_{DD}.

DS18S20 BLOCK DIAGRAM Figure 1

OPERATION — MEASURING TEMPERATURE

The core functionality of the DS18S20 is its direct-to-digital temperature sensor. The temperature sensor output has 9-bit resolution, which corresponds to 0.5°C steps. The DS18S20 powers-up in a low-power idle state; to initiate a temperature measurement and A-to-D conversion, the master must issue a Convert T [44h] command. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18S20 returns to its idle state. If the DS18S20 is powered by an external supply, the master can issue “read-time slots” (see the *1-WIRE BUS SYSTEM* section) after the Convert T command and the DS18S20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. If the DS18S20 is powered with parasite power, this notification technique cannot be used since the bus must be pulled high by a strong pullup during the entire temperature conversion. The bus requirements for parasite power are explained in detail in the *POWERING THE DS18S20* section of this datasheet.

The DS18S20 output data is calibrated in degrees centigrade; for Fahrenheit applications, a lookup table or conversion routine must be used. The temperature data is stored as a 16-bit sign-extended two’s complement number in the temperature register (see Figure 2). The sign bits (S) indicate if the temperature is positive or negative: for positive numbers S = 0 and for negative numbers S = 1. Table 2 gives examples of digital output data and the corresponding temperature reading.

Resolutions greater than 9 bits can be calculated using the data from the temperature, COUNT REMAIN and COUNT PER °C registers in the scratchpad. Note that the COUNT PER °C register is hard-wired to 16 (10h). After reading the scratchpad, the TEMP_READ value is obtained by truncating the 0.5°C bit (bit 0) from the temperature data (see Figure 2). The extended resolution temperature can then be calculated using the following equation:

$$TEMPERATURE = TEMP_READ - 0.25 + \frac{COUNT_PER_C - COUNT_REMAIN}{COUNT_PER_C}$$

TEMPERATURE REGISTER FORMAT Figure 2

	bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
LS Byte	2 ⁶	2 ⁵	2 ⁴	2 ³	2 ²	2 ¹	2 ⁰	2 ⁻¹
	bit 15	bit 14	bit 13	bit 12	bit 11	bit 10	bit 9	bit 8
MS Byte	S	S	S	S	S	S	S	S

TEMPERATURE/DATA RELATIONSHIP Table 2

TEMPERATURE	DIGITAL OUTPUT (Binary)	DIGITAL OUTPUT (Hex)
+85.0°C*	0000 0000 1010 1010	00AAh
+25.0°C	0000 0000 0011 0010	0032h
+0.5°C	0000 0000 0000 0001	0001h
0°C	0000 0000 0000 0000	0000h
-0.5°C	1111 1111 1111 1111	FFFFh
-25.0°C	1111 1111 1100 1110	FFCEh
-55.0°C	1111 1111 1001 0010	FF92h

*The power-on reset value of the temperature register is +85°C

OPERATION — ALARM SIGNALING

After the DS18S20 performs a temperature conversion, the temperature value is compared to the user-defined two's complement alarm trigger values stored in the 1-byte T_H and T_L registers (see Figure 3). The sign bit (S) indicates if the value is positive or negative: for positive numbers $S = 0$ and for negative numbers $S = 1$. The T_H and T_L registers are nonvolatile (EEPROM) so they will retain data when the device is powered down. T_H and T_L can be accessed through bytes 2 and 3 of the scratchpad as explained in the MEMORY section of this datasheet.

T_H AND T_L REGISTER FORMAT Figure 3

bit 7	bit 6	bit 5	bit 4	bit 3	bit 2	bit 1	bit 0
S	2^6	2^5	2^5	2^5	2^2	2^1	2^0

Only bits 8 through 1 of the temperature register are used in the T_H and T_L comparison since T_H and T_L are 8-bit registers. If the measured temperature is lower than or equal to T_L or higher than T_H , an alarm condition exists and an alarm flag is set inside the DS18S20. This flag is updated after every temperature measurement; therefore, if the alarm condition goes away, the flag will be turned off after the next temperature conversion.

The master device can check the alarm flag status of all DS18S20s on the bus by issuing an Alarm Search [ECh] command. Any DS18S20s with a set alarm flag will respond to the command, so the master can determine exactly which DS18S20s have experienced an alarm condition. If an alarm condition exists and the T_H or T_L settings have changed, another temperature conversion should be done to validate the alarm condition.

POWERING THE DS18S20

The DS18S20 can be powered by an external supply on the V_{DD} pin, or it can operate in “parasite power” mode, which allows the DS18S20 to function without a local external supply. Parasite power is very useful for applications that require remote temperature sensing or that are very space constrained. Figure 1 shows the DS18S20's parasite-power control circuitry, which “steals” power from the 1-Wire bus via the DQ pin when the bus is high. The stolen charge powers the DS18S20 while the bus is high, and some of the charge is stored on the parasite power capacitor (C_{PP}) to provide power when the bus is low. When the DS18S20 is used in parasite power mode, the V_{DD} pin must be connected to ground.

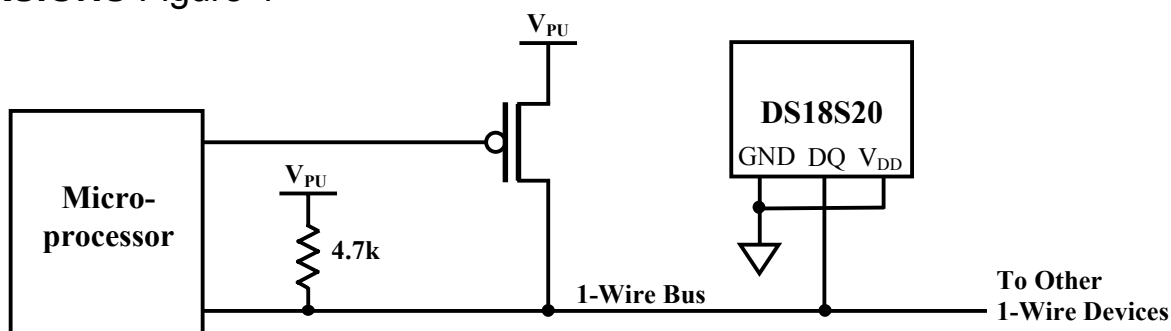
In parasite power mode, the 1-Wire bus and C_{PP} can provide sufficient current to the DS18S20 for most operations as long as the specified timing and voltage requirements are met (refer to the *DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS* and the *AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS* sections of this data sheet). However, when the DS18S20 is performing temperature conversions or copying data from the scratchpad memory to EEPROM, the operating current can be as high as 1.5mA. This current can cause an unacceptable voltage drop across the weak 1-Wire pullup resistor and is more current than can be supplied by C_{PP} . To assure that the DS18S20 has sufficient supply current, it is necessary to provide a strong pullup on the 1-Wire bus whenever temperature conversions are taking place or data is being copied from the scratchpad to EEPROM. This can be accomplished by using a MOSFET to pull the bus directly to the rail as shown in Figure 4. The 1-Wire bus must be switched to the strong pullup within 10 μ s (max) after a Convert T [44h] or Copy Scratchpad [48h] command is issued, and the bus must be held high by the pullup for the duration of the conversion (t_{conv}) or data transfer ($t_{wr} = 10$ ms). No other activity can take place on the 1-Wire bus while the pullup is enabled.

The DS18S20 can also be powered by the conventional method of connecting an external power supply to the V_{DD} pin, as shown in Figure 5. The advantage of this method is that the MOSFET pullup is not required, and the 1-Wire bus is free to carry other traffic during the temperature conversion time.

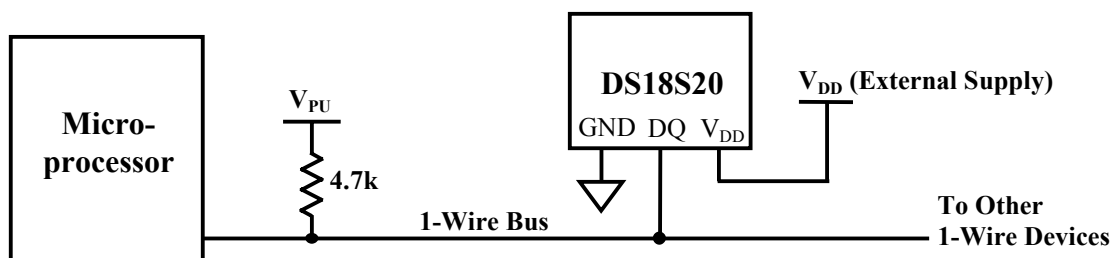
The use of parasite power is not recommended for temperatures above 100°C since the DS18S20 may not be able to sustain communications due to the higher leakage currents that can exist at these temperatures. For applications in which such temperatures are likely, it is strongly recommended that the DS18S20 be powered by an external power supply.

In some situations the bus master may not know whether the DS18S20s on the bus are parasite powered or powered by external supplies. The master needs this information to determine if the strong bus pullup should be used during temperature conversions. To get this information, the master can issue a Skip ROM [CCh] command followed by a Read Power Supply [B4h] command followed by a “read-time slot”. During the read-time slot, parasite powered DS18S20s will pull the bus low, and externally powered DS18S20s will let the bus remain high. If the bus is pulled low, the master knows that it must supply the strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions.

SUPPLYING THE PARASITE-POWERED DS18S20 DURING TEMPERATURE CONVERSIONS Figure 4



POWERING THE DS18S20 WITH AN EXTERNAL SUPPLY Figure 5



64-BIT LASERED ROM CODE

Each DS18S20 contains a unique 64-bit code (see Figure 6) stored in ROM. The least significant 8 bits of the ROM code contain the DS18S20's 1-Wire family code: 10h. The next 48 bits contain a unique serial number. The most significant 8 bits contain a cyclic redundancy check (CRC) byte that is calculated from the first 56 bits of the ROM code. A detailed explanation of the CRC bits is provided in the *CRC GENERATION* section. The 64-bit ROM code and associated ROM function control logic allow the DS18S20 to operate as a 1-Wire device using the protocol detailed in the *1-WIRE BUS SYSTEM* section of this datasheet.

64-BIT LASERED ROM CODE Figure 6

8-BIT CRC		48-BIT SERIAL NUMBER		8-BIT FAMILY CODE (10h)	
MSB	LSB	MSB	LSB	MSB	LSB

MEMORY

The DS18S20's memory is organized as shown in Figure 7. The memory consists of an SRAM scratchpad with nonvolatile EEPROM storage for the high and low alarm trigger registers (T_H and T_L). Note that if the DS18S20 alarm function is not used, the T_H and T_L registers can serve as general-purpose memory. All memory commands are described in detail in the *DS18S20 FUNCTION COMMANDS* section.

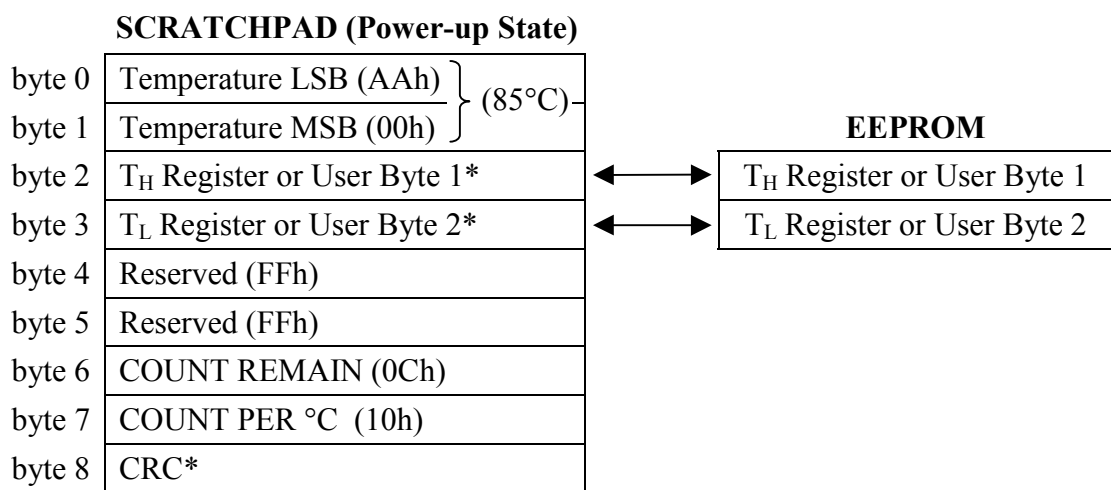
Byte 0 and byte 1 of the scratchpad contain the LSB and the MSB of the temperature register, respectively. These bytes are read-only. Bytes 2 and 3 provide access to T_H and T_L registers. Bytes 4 and 5 are reserved for internal use by the device and cannot be overwritten; these bytes will return all 1s when read. Bytes 6 and 7 contain the COUNT REMAIN and COUNT PER °C registers, which can be used to calculate extended resolution results as explained in the *OPERATION — MEASURING TEMPERATURE* section.

Byte 8 of the scratchpad is read-only and contains the cyclic redundancy check (CRC) code for bytes 0 through 7 of the scratchpad. The DS18S20 generates this CRC using the method described in the *CRC GENERATION* section.

Data is written to bytes 2 and 3 of the scratchpad using the Write Scratchpad [4Eh] command; the data must be transmitted to the DS18S20 starting with the least significant bit of byte 2. To verify data integrity, the scratchpad can be read (using the Read Scratchpad [BEh] command) after the data is written. When reading the scratchpad, data is transferred over the 1-Wire bus starting with the least significant bit of byte 0. To transfer the T_H and T_L data from the scratchpad to EEPROM, the master must issue the Copy Scratchpad [48h] command.

Data in the EEPROM registers is retained when the device is powered down; at power-up the EEPROM data is reloaded into the corresponding scratchpad locations. Data can also be reloaded from EEPROM to the scratchpad at any time using the Recall E² [B8h] command. The master can issue “read-time slots” (see the *1-WIRE BUS SYSTEM* section) following the Recall E² command and the DS18S20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done.

DS18S20 MEMORY MAP Figure 7



*Power-up state depends on value(s) stored in EEPROM

CRC GENERATION

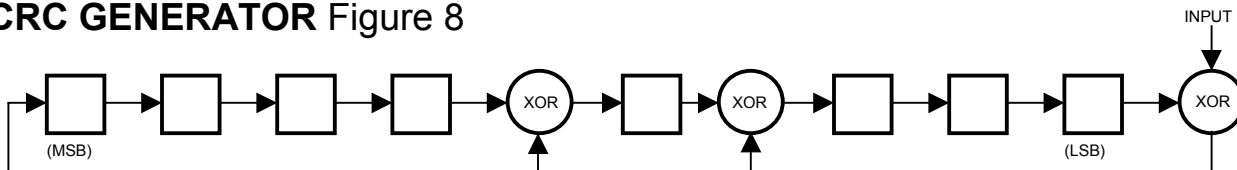
CRC bytes are provided as part of the DS18S20's 64-bit ROM code and in the 9th byte of the scratchpad memory. The ROM code CRC is calculated from the first 56 bits of the ROM code and is contained in the most significant byte of the ROM. The scratchpad CRC is calculated from the data stored in the scratchpad, and therefore it changes when the data in the scratchpad changes. The CRCs provide the bus master with a method of data validation when data is read from the DS18S20. To verify that data has been read correctly, the bus master must re-calculate the CRC from the received data and then compare this value to either the ROM code CRC (for ROM reads) or to the scratchpad CRC (for scratchpad reads). If the calculated CRC matches the read CRC, the data has been received error free. The comparison of CRC values and the decision to continue with an operation are determined entirely by the bus master. There is no circuitry inside the DS18S20 that prevents a command sequence from proceeding if the DS18S20 CRC (ROM or scratchpad) does not match the value generated by the bus master.

The equivalent polynomial function of the CRC (ROM or scratchpad) is:

$$\text{CRC} = X^8 + X^5 + X^4 + 1$$

The bus master can re-calculate the CRC and compare it to the CRC values from the DS18S20 using the polynomial generator shown in Figure 8. This circuit consists of a shift register and XOR gates, and the shift register bits are initialized to 0. Starting with the least significant bit of the ROM code or the least significant bit of byte 0 in the scratchpad, one bit at a time should be shifted into the shift register. After shifting in the 56th bit from the ROM or the most significant bit of byte 7 from the scratchpad, the polynomial generator will contain the re-calculated CRC. Next, the 8-bit ROM code or scratchpad CRC from the DS18S20 must be shifted into the circuit. At this point, if the re-calculated CRC was correct, the shift register will contain all 0s. Additional information about the Dallas 1-Wire cyclic redundancy check is available in *Application Note 27: Understanding and Using Cyclic Redundancy Checks with Dallas Semiconductor Touch Memory Products*.

CRC GENERATOR Figure 8



1-WIRE BUS SYSTEM

The 1-Wire bus system uses a single bus master to control one or more slave devices. The DS18S20 is always a slave. When there is only one slave on the bus, the system is referred to as a “single-drop” system; the system is “multidrop” if there are multiple slaves on the bus.

All data and commands are transmitted least significant bit first over the 1-Wire bus.

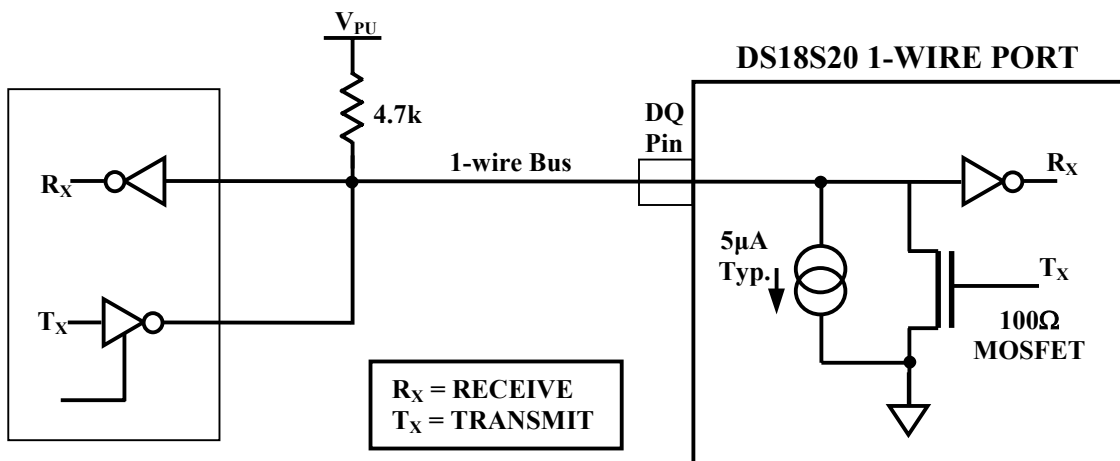
The following discussion of the 1-Wire bus system is broken down into three topics: hardware configuration, transaction sequence, and 1-Wire signaling (signal types and timing).

HARDWARE CONFIGURATION

The 1-Wire bus has by definition only a single data line. Each device (master or slave) interfaces to the data line via an open drain or 3-state port. This allows each device to “release” the data line when the device is not transmitting data so the bus is available for use by another device. The 1-Wire port of the DS18S20 (the DQ pin) is open drain with an internal circuit equivalent to that shown in Figure 9.

The 1-Wire bus requires an external pullup resistor of approximately 5k Ω ; thus, the idle state for the 1-Wire bus is high. If for any reason a transaction needs to be suspended, the bus **MUST** be left in the idle state if the transaction is to resume. Infinite recovery time can occur between bits so long as the 1-Wire bus is in the inactive (high) state during the recovery period. If the bus is held low for more than 480 μ s, all components on the bus will be reset.

HARDWARE CONFIGURATION Figure 9



TRANSACTION SEQUENCE

The transaction sequence for accessing the DS18S20 is as follows:

- Step 1. Initialization
- Step 2. ROM Command (followed by any required data exchange)
- Step 3. DS18S20 Function Command (followed by any required data exchange)

It is very important to follow this sequence every time the DS18S20 is accessed, as the DS18S20 will not respond if any steps in the sequence are missing or out of order. Exceptions to this rule are the Search ROM [F0h] and Alarm Search [ECh] commands. After issuing either of these ROM commands, the master must return to Step 1 in the sequence.

INITIALIZATION

All transactions on the 1-Wire bus begin with an initialization sequence. The initialization sequence consists of a reset pulse transmitted by the bus master followed by presence pulse(s) transmitted by the slave(s). The presence pulse lets the bus master know that slave devices (such as the DS18S20) are on the bus and are ready to operate. Timing for the reset and presence pulses is detailed in the *1-WIRE SIGNALING* section.

ROM COMMANDS

After the bus master has detected a presence pulse, it can issue a ROM command. These commands operate on the unique 64-bit ROM codes of each slave device and allow the master to single out a specific device if many are present on the 1-Wire bus. These commands also allow the master to determine how many and what types of devices are present on the bus or if any device has experienced an alarm condition. There are five ROM commands, and each command is 8 bits long. The master device must issue an appropriate ROM command before issuing a DS18S20 function command. A flowchart for operation of the ROM commands is shown in Figure 14.

SEARCH ROM [F0h]

When a system is initially powered up, the master must identify the ROM codes of all slave devices on the bus, which allows the master to determine the number of slaves and their device types. The master learns the ROM codes through a process of elimination that requires the master to perform a Search ROM cycle (i.e., Search ROM command followed by data exchange) as many times as necessary to identify all of the slave devices. If there is only one slave on the bus, the simpler Read ROM command (see below) can be used in place of the Search ROM process. For a detailed explanation of the Search ROM procedure, refer to the *iButton® Book of Standards* at www.ibutton.com/ibuttons/standard.pdf. After every Search ROM cycle, the bus master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence.

READ ROM [33h]

This command can only be used when there is one slave on the bus. It allows the bus master to read the slave's 64-bit ROM code without using the Search ROM procedure. If this command is used when there is more than one slave present on the bus, a data collision will occur when all the slaves attempt to respond at the same time.

MATCH ROM [55h]

The match ROM command followed by a 64-bit ROM code sequence allows the bus master to address a specific slave device on a multidrop or single-drop bus. Only the slave that exactly matches the 64-bit ROM code sequence will respond to the function command issued by the master; all other slaves on the bus will wait for a reset pulse.

SKIP ROM [CCh]

The master can use this command to address all devices on the bus simultaneously without sending out any ROM code information. For example, the master can make all DS18S20s on the bus perform simultaneous temperature conversions by issuing a Skip ROM command followed by a Convert T [44h] command.

Note that the Read Scratchpad [BEh] command can follow the Skip ROM command only if there is a single slave device on the bus. In this case time is saved by allowing the master to read from the slave without sending the device's 64-bit ROM code. A Skip ROM command followed by a Read Scratchpad command will cause a data collision on the bus if there is more than one slave since multiple devices will attempt to transmit data simultaneously.

ALARM SEARCH [ECh]

The operation of this command is identical to the operation of the Search ROM command except that only slaves with a set alarm flag will respond. This command allows the master device to determine if any DS18S20s experienced an alarm condition during the most recent temperature conversion. After every Alarm Search cycle (i.e., Alarm Search command followed by data exchange), the bus master must return to Step 1 (Initialization) in the transaction sequence. Refer to *the OPERATION — ALARM SIGNALING* section for an explanation of alarm flag operation.

DS18S20 FUNCTION COMMANDS

After the bus master has used a ROM command to address the DS18S20 with which it wishes to communicate, the master can issue one of the DS18S20 function commands. These commands allow the master to write to and read from the DS18S20's scratchpad memory, initiate temperature conversions and determine the power supply mode. The DS18S20 function commands, which are described below, are summarized in Table 4 and illustrated by the flowchart in Figure 15.

CONVERT T [44h]

This command initiates a single temperature conversion. Following the conversion, the resulting thermal data is stored in the 2-byte temperature register in the scratchpad memory and the DS18S20 returns to its low-power idle state. If the device is being used in parasite power mode, within 10 μ s (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for the duration of the conversion (t_{conv}) as described in the *POWERING THE DS18S20* section. If the DS18S20 is powered by an external supply, the master can issue read-time slots after the Convert T command and the DS18S20 will respond by transmitting 0 while the temperature conversion is in progress and 1 when the conversion is done. In parasite power mode this notification technique cannot be used since the bus is pulled high by the strong pullup during the conversion.

WRITE SCRATCHPAD [4Eh]

This command allows the master to write 2 bytes of data to the DS18S20's scratchpad. The first byte is written into the T_H register (byte 2 of the scratchpad), and the second byte is written into the T_L register (byte 3 of the scratchpad). Data must be transmitted least significant bit first. Both bytes **MUST** be written before the master issues a reset, or the data may be corrupted.

READ SCRATCHPAD [BEh]

This command allows the master to read the contents of the scratchpad. The data transfer starts with the least significant bit of byte 0 and continues through the scratchpad until the 9th byte (byte 8 – CRC) is read. The master may issue a reset to terminate reading at any time if only part of the scratchpad data is needed.

COPY SCRATCHPAD [48h]

This command copies the contents of the scratchpad T_H and T_L registers (bytes 2 and 3) to EEPROM. If the device is being used in parasite power mode, within 10 μ s (max) after this command is issued the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus for at least 10ms as described in the *POWERING THE DS18S20* section.

RECALL E² [B8h]

This command recalls the alarm trigger values (T_H and T_L) from EEPROM and places the data in bytes 2 and 3, respectively, in the scratchpad memory. The master device can issue read-time slots following the Recall E² command and the DS18S20 will indicate the status of the recall by transmitting 0 while the recall is in progress and 1 when the recall is done. The recall operation happens automatically at power-up, so valid data is available in the scratchpad as soon as power is applied to the device.

READ POWER SUPPLY [B4h]

The master device issues this command followed by a read-time slot to determine if any DS18S20s on the bus are using parasite power. During the read-time slot, parasite powered DS18S20s will pull the bus low, and externally powered DS18S20s will let the bus remain high. Refer to the *POWERING THE DS18S20* section for usage information for this command.

DS18S20 FUNCTION COMMAND SET Table 4

Command	Description	Protocol	1-Wire Bus Activity After Command is Issued	Notes
TEMPERATURE CONVERSION COMMANDS				
Convert T	Initiates temperature conversion.	44h	DS18S20 transmits conversion status to master (not applicable for parasite-powered DS18S20s).	1
MEMORY COMMANDS				
Read Scratchpad	Reads the entire scratchpad including the CRC byte.	BEh	DS18S20 transmits up to 9 data bytes to master.	2
Write Scratchpad	Writes data into scratchpad bytes 2 and 3 (T_H and T_L).	4Eh	Master transmits 2 data bytes to DS18S20.	3
Copy Scratchpad	Copies T_H and T_L data from the scratchpad to EEPROM.	48h	None	1
Recall E^2	Recalls T_H and T_L data from EEPROM to the scratchpad.	B8h	DS18S20 transmits recall status to master.	
Read Power Supply	Signals DS18S20 power supply mode to the master.	B4h	DS18S20 transmits supply status to master.	

NOTES:

- 1) For parasite-powered DS18S20s, the master must enable a strong pullup on the 1-Wire bus during temperature conversions and copies from the scratchpad to EEPROM. No other bus activity may take place during this time.
- 2) The master can interrupt the transmission of data at any time by issuing a reset.
- 3) Both bytes must be written before a reset is issued.

1-WIRE SIGNALING

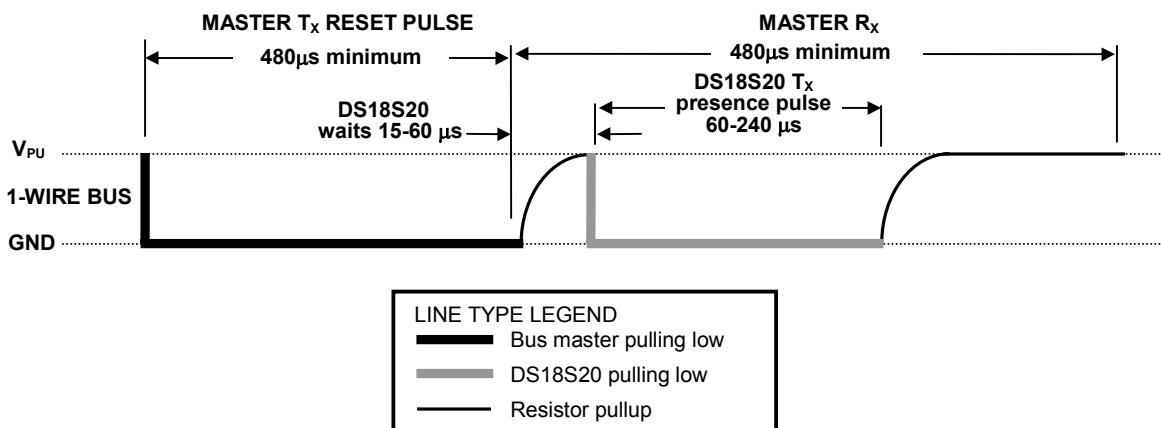
The DS18S20 uses a strict 1-Wire communication protocol to insure data integrity. Several signal types are defined by this protocol: reset pulse, presence pulse, write 0, write 1, read 0, and read 1. All of these signals, with the exception of the presence pulse, are initiated by the bus master.

INITIALIZATION PROCEDURE: RESET AND PRESENCE PULSES

All communication with the DS18S20 begins with an initialization sequence that consists of a reset pulse from the master followed by a presence pulse from the DS18S20. This is illustrated in Figure 10. When the DS18S20 sends the presence pulse in response to the reset, it is indicating to the master that it is on the bus and ready to operate.

During the initialization sequence the bus master transmits (T_X) the reset pulse by pulling the 1-Wire bus low for a minimum of $480\mu\text{s}$. The bus master then releases the bus and goes into receive mode (R_X). When the bus is released, the 5k pullup resistor pulls the 1-Wire bus high. When the DS18S20 detects this rising edge, it waits $15\mu\text{s}$ to $60\mu\text{s}$ and then transmits a presence pulse by pulling the 1-Wire bus low for $60\mu\text{s}$ to $240\mu\text{s}$.

INITIALIZATION TIMING Figure 10



READ/WRITE TIME SLOTS

The bus master writes data to the DS18S20 during write time slots and reads data from the DS18S20 during read-time slots. One bit of data is transmitted over the 1-Wire bus per time slot.

WRITE TIME SLOTS

There are two types of write time slots: "Write 1" time slots and "Write 0" time slots. The bus master uses a Write 1 time slot to write a logic 1 to the DS18S20 and a Write 0 time slot to write a logic 0 to the DS18S20. All write time slots must be a minimum of $60\mu\text{s}$ in duration with a minimum of a $1\mu\text{s}$ recovery time between individual write slots. Both types of write time slots are initiated by the master pulling the 1-Wire bus low (see Figure 11).

To generate a Write 1 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must release the 1-Wire bus within $15\mu\text{s}$. When the bus is released, the 5k pullup resistor will pull the bus high. To generate a Write 0 time slot, after pulling the 1-Wire bus low, the bus master must continue to hold the bus low for the duration of the time slot (at least $60\mu\text{s}$). The DS18S20 samples the 1-Wire bus during a window that lasts from $15\mu\text{s}$ to $60\mu\text{s}$ after the master initiates the write time slot. If the bus is high during the sampling window, a 1 is written to the DS18S20. If the line is low, a 0 is written to the DS18S20.

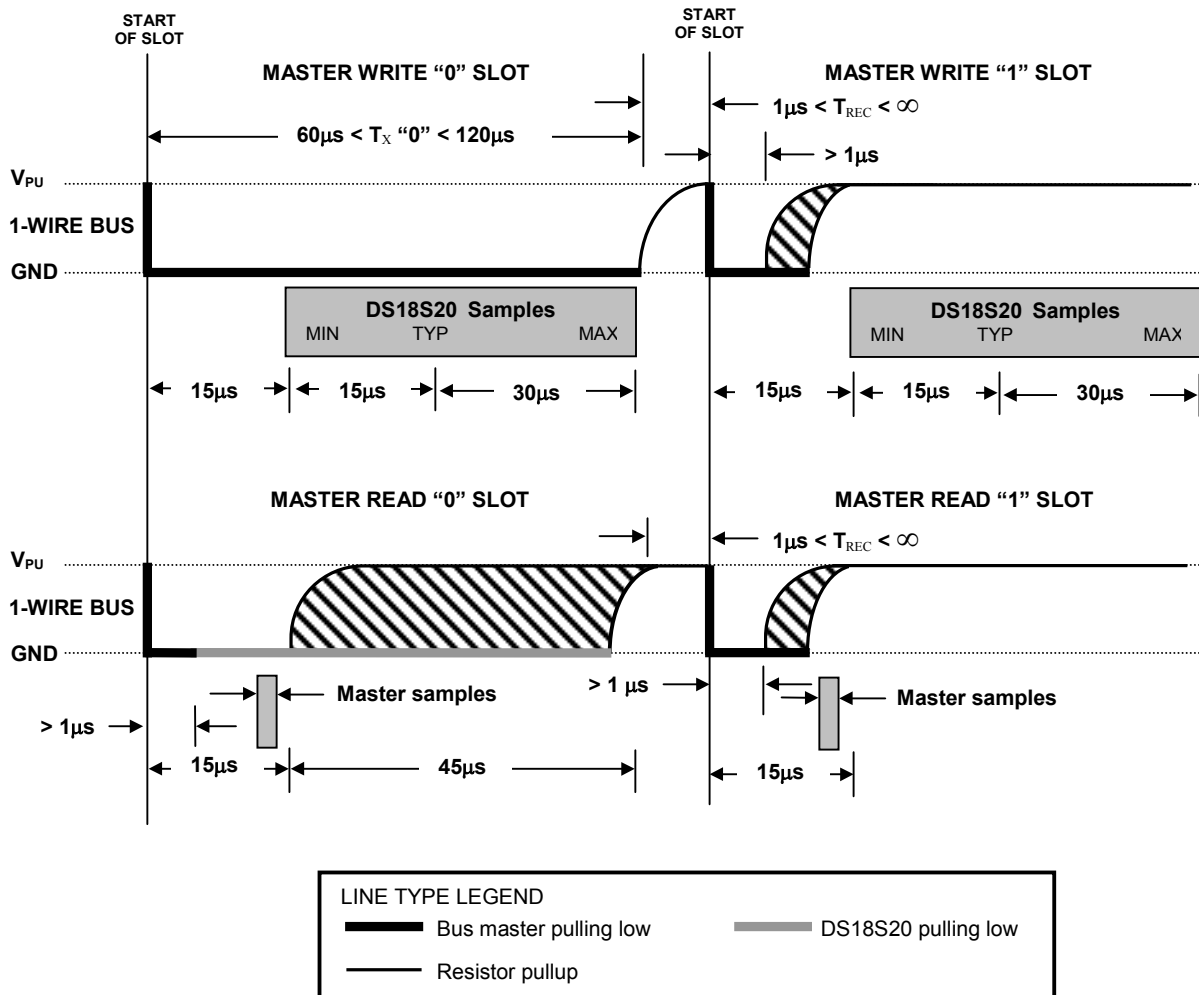
READ-TIME SLOTS

The DS18S20 can only transmit data to the master when the master issues read-time slots. Therefore, the master must generate read-time slots immediately after issuing a Read Scratchpad [BEh] or Read Power Supply [B4h] command, so that the DS18S20 can provide the requested data. In addition, the master can generate read-time slots after issuing Convert T [44h] or Recall E² [B8h] commands to find out the status of the operation as explained in the DS18S20 FUNCTION COMMAND section.

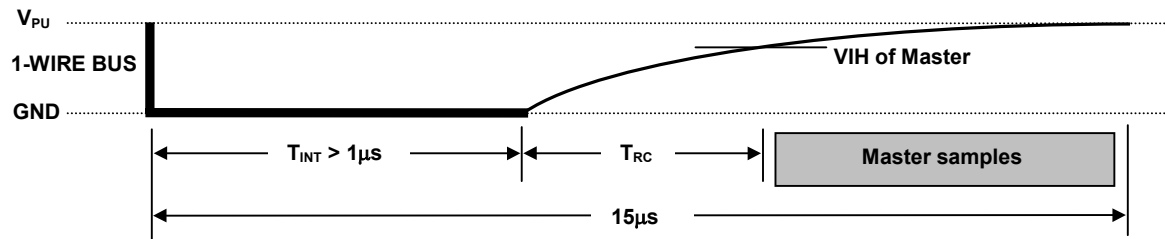
All read-time slots must be a minimum of 60µs in duration with a minimum of a 1µs recovery time between slots. A read-time slot is initiated by the master device pulling the 1-Wire bus low for a minimum of 1µs and then releasing the bus (see Figure 11). After the master initiates the read-time slot, the DS18S20 will begin transmitting a 1 or 0 on bus. The DS18S20 transmits a 1 by leaving the bus high and transmits a 0 by pulling the bus low. When transmitting a 0, the DS18S20 will release the bus by the end of the time slot, and the bus will be pulled back to its high idle state by the pullup resistor. Output data from the DS18S20 is valid for 15µs after the falling edge that initiated the read-time slot. Therefore, the master must release the bus and then sample the bus state within 15µs from the start of the slot.

Figure 12 illustrates that the sum of T_{INIT}, T_{RC}, and T_{SAMPLE} must be less than 15µs for a read-time slot. Figure 13 shows that system timing margin is maximized by keeping T_{INIT} and T_{RC} as short as possible and by locating the master sample time during read-time slots towards the end of the 15µs period.

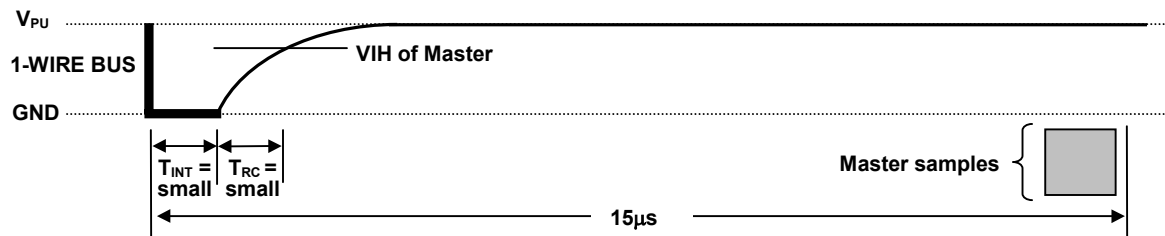
READ/WRITE TIME SLOT TIMING DIAGRAM Figure 11



DETAILED MASTER READ 1 TIMING Figure 12

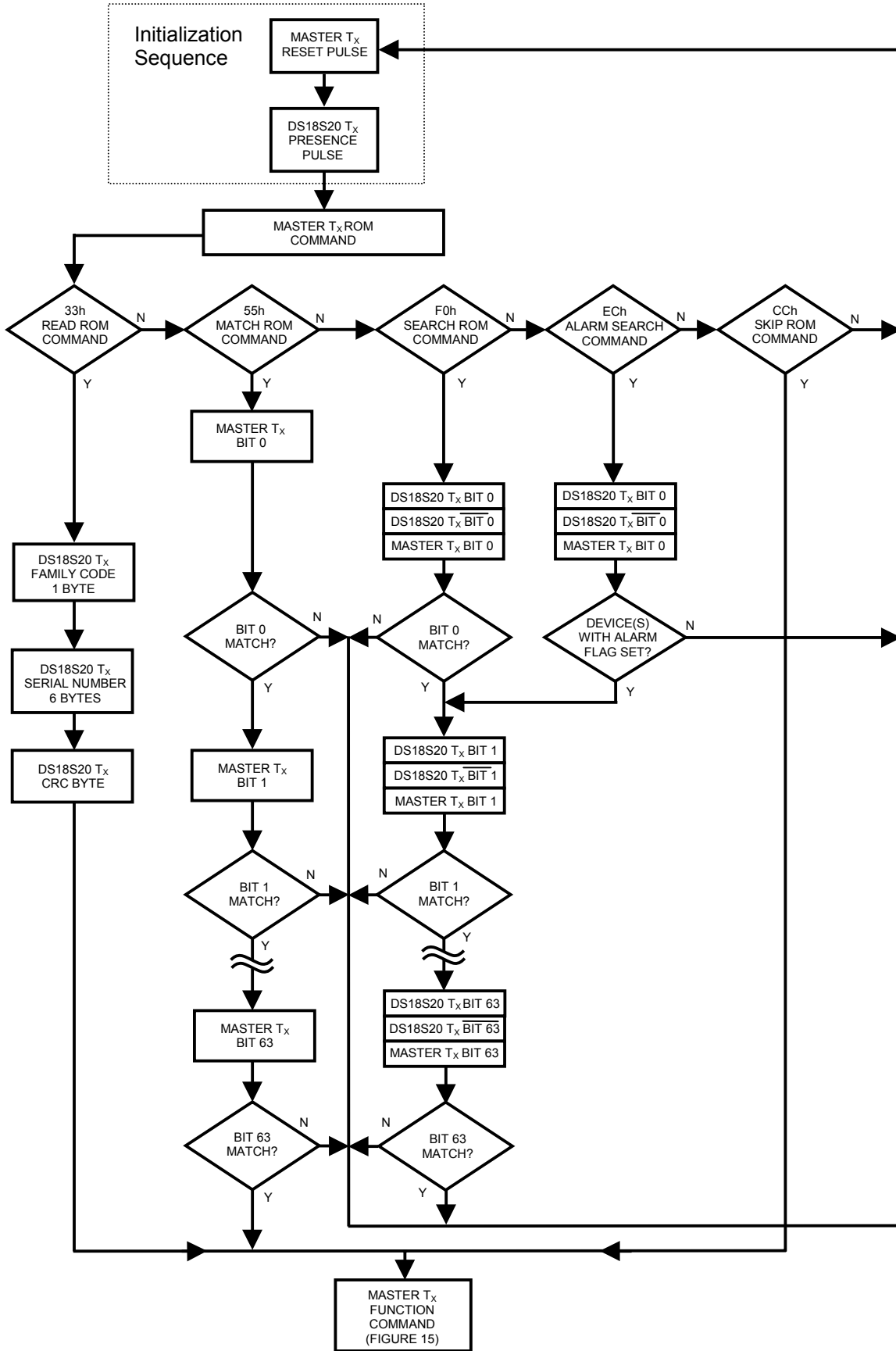


RECOMMENDED MASTER READ 1 TIMING Figure 13

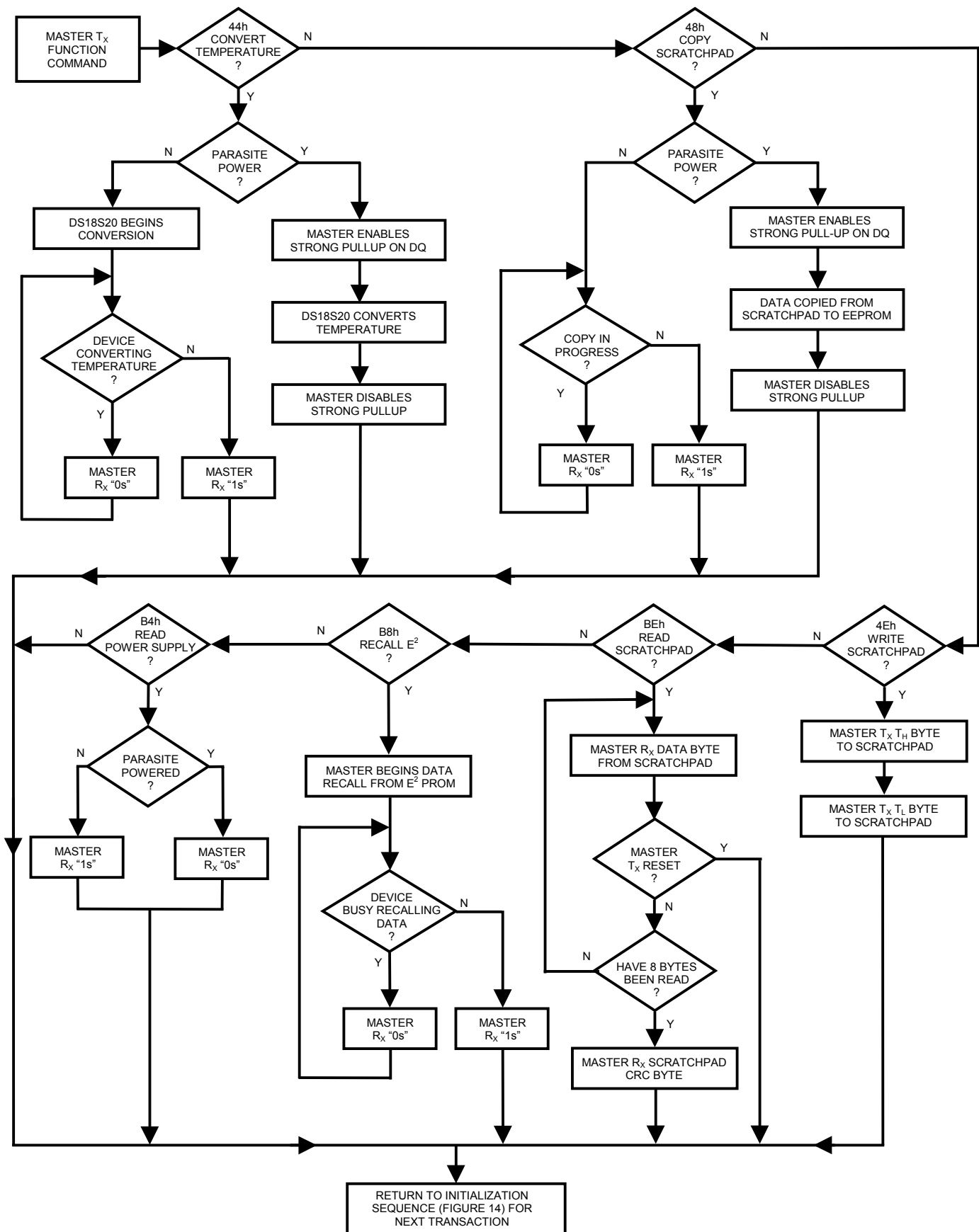


LINE TYPE LEGEND
 — Bus master pulling low
 — Resistor pullup

ROM COMMANDS FLOW CHART Figure 14



DS18S20 FUNCTION COMMANDS FLOW CHART Figure 15



DS18S20 OPERATION EXAMPLE 1

In this example there are multiple DS18S20s on the bus and they are using parasite power. The bus master initiates a temperature conversion in a specific DS18S20 and then reads its scratchpad and recalculates the CRC to verify the data.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20s respond with presence pulse.
TX	55h	Master issues Match ROM command.
TX	64-bit ROM code	Master sends DS18S20 ROM code.
TX	44h	Master issues Convert T command.
TX	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for the duration of the conversion (t_{conv}).
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20s respond with presence pulse.
TX	55h	Master issues Match ROM command.
TX	64-bit ROM code	Master sends DS18S20 ROM code.
TX	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
RX	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.

DS18S20 OPERATION EXAMPLE 2

In this example there is only one DS18S20 on the bus and it is using parasite power. The master writes to the T_H and T_L registers in the DS18S20 scratchpad and then reads the scratchpad and recalculates the CRC to verify the data. The master then copies the scratchpad contents to EEPROM.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	4Eh	Master issues Write Scratchpad command.
TX	2 data bytes	Master sends two data bytes to scratchpad (T_H and T_L)
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
RX	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated.
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	48h	Master issues Copy Scratchpad command.
TX	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for at least 10ms while copy operation is in progress.

DS18S20 OPERATION EXAMPLE 3

In this example there is only one DS18S20 on the bus and it is using parasite power. The bus master initiates a temperature conversion then reads the DS18S20 scratchpad and calculates a higher resolution result using the data from the temperature, COUNT REMAIN and COUNT PER °C registers.

MASTER MODE	DATA (LSB FIRST)	COMMENTS
TX	Reset	Master issues reset pulse.
TR	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	44h	Master issues Convert T command.
TX	DQ line held high by strong pullup	Master applies strong pullup to DQ for the duration of the conversion (t_{conv}).
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
TX	CCh	Master issues Skip ROM command.
TX	BEh	Master issues Read Scratchpad command.
RX	9 data bytes	Master reads entire scratchpad including CRC. The master then recalculates the CRC of the first eight data bytes from the scratchpad and compares the calculated CRC with the read CRC (byte 9). If they match, the master continues; if not, the read operation is repeated. The master also calculates the TEMP_READ value and stores the contents of the COUNT REMAIN and COUNT PER °C registers.
TX	Reset	Master issues reset pulse.
RX	Presence	DS18S20 responds with presence pulse.
-	-	CPU calculates extended resolution temperature using the equation in the <i>OPERATION — MEASURING TEMPERATURE</i> section of this datasheet.

ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS*

Voltage on Any Pin Relative to Ground	-0.5V to +6.0V
Operating Temperature Range	-55°C to +125°C
Storage Temperature Range	-55°C to +125°C
Solder Temperature	See IPC/JEDEC J-STD-020A
Reflow Oven Temperature	+220°C

*These are stress ratings only and functional operation of the device at these or any other conditions above those indicated in the operation sections of this specification is not implied. Exposure to absolute maximum rating conditions for extended periods of time may affect reliability.

DC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (-55°C to +125°C; $V_{DD} = 3.0V$ to $5.5V$)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Supply Voltage	V_{DD}	Local Power	+3.0		+5.5	V	1
Pullup Supply Voltage	V_{PU}	Parasite Power	+3.0		+5.5	V	1, 2
		Local Power	+3.0		V_{DD}		
Thermometer Error	t_{ERR}	-10°C to +85°C			±0.5	°C	3
		-55°C to +125°C			±2		
Input Logic Low	V_{IL}		-0.3		+0.8	V	1, 4, 5
Input Logic High	V_{IH}	Local Power	+2.2		The lower of 5.5 or $V_{DD} + 0.3$	V	1, 6
		Parasite Power	+3.0				
Sink Current	I_L	$V_{I/O}=0.4V$	4.0			mA	1
Standby Current	I_{DDs}			750	1000	nA	7, 8
Active Current	I_{DD}	$V_{DD}=5V$		1	1.5	mA	9
DQ Input Current	I_{DQ}			5		μA	10
Drift				±0.2		°C	11

NOTES:

- All voltages are referenced to ground.
- The Pullup Supply Voltage specification assumes that the pullup device is ideal, and therefore the high level of the pullup is equal to V_{PU} . In order to meet the V_{IH} spec of the DS18S20, the actual supply rail for the strong pullup transistor must include margin for the voltage drop across the transistor when it is turned on; thus: $V_{PU_ACTUAL} = V_{PU_IDEAL} + V_{TRANSISTOR}$.
- See typical performance curve in Figure 16
- Logic low voltages are specified at a sink current of 4mA.
- To guarantee a presence pulse under low voltage parasite power conditions, V_{ILMAX} may have to be reduced to as low as 0.5V.
- Logic high voltages are specified at a source current of 1mA.
- Standby current specified up to 70°C. Standby current typically is 3μA at 125°C.
- To minimize I_{DDs} , DQ should be within the following ranges: $GND \leq DQ \leq GND + 0.3V$ or $V_{DD} - 0.3V \leq DQ \leq V_{DD}$.
- Active current refers to supply current during active temperature conversions or EEPROM writes.
- DQ line is high ("hi-Z" state).
- Drift data is based on a 1000 hour stress test at 125°C with $V_{DD} = 5.5V$.

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS: NV MEMORY(-55°C to +100°C; $V_{DD} = 3.0V$ to 5.5V)

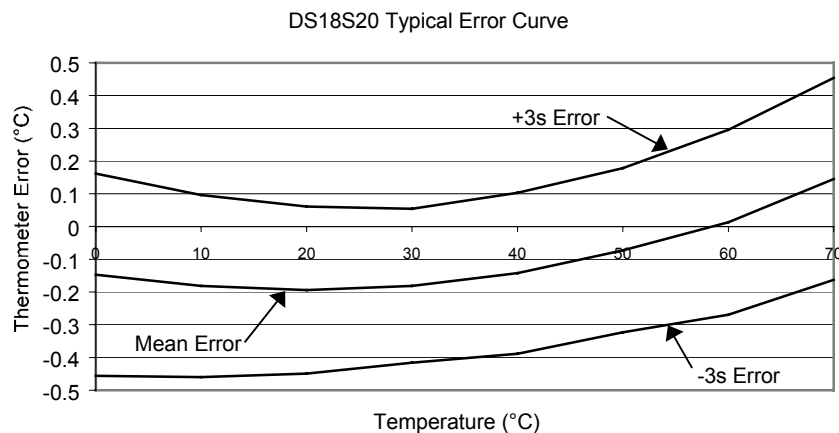
PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS
NV Write Cycle Time	t_{WR}			2	10	ms
EEPROM Writes	N_{EEWR}	-55°C to +55°C	50k			writes
EEPROM Data Retention	t_{EEDR}	-55°C to +55°C	10			years

AC ELECTRICAL CHARACTERISTICS (-55°C to +125°C; $V_{DD} = 3.0V$ to 5.5V)

PARAMETER	SYMBOL	CONDITION	MIN	TYP	MAX	UNITS	NOTES
Temperature Conversion Time	t_{CONV}				750	ms	1
Time to Strong Pullup On	t_{SPON}	Start Convert T Command Issued			10	μs	
Time Slot	t_{SLOT}		60		120	μs	1
Recovery Time	t_{REC}		1			μs	1
Write 0 Low Time	t_{LOW0}		60		120	μs	1
Write 1 Low Time	t_{LOW1}		1		15	μs	1
Read Data Valid	t_{RDV}				15	μs	1
Reset Time High	t_{RSTH}		480			μs	1
Reset Time Low	t_{RSTL}		480			μs	1, 2
Presence Detect High	t_{PDHIGH}		15		60	μs	1
Presence Detect Low	t_{PDLow}		60		240	μs	1
Capacitance	$C_{IN/OUT}$				25	pF	

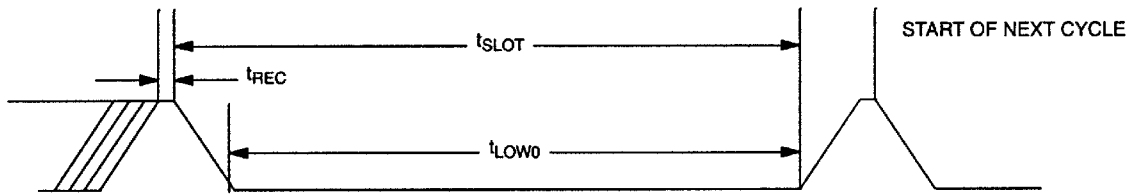
NOTES:

- 1) Refer to timing diagrams in Figure 17.
- 2) Under parasite power, if $t_{RSTL} > 960\mu s$, a power on reset may occur.

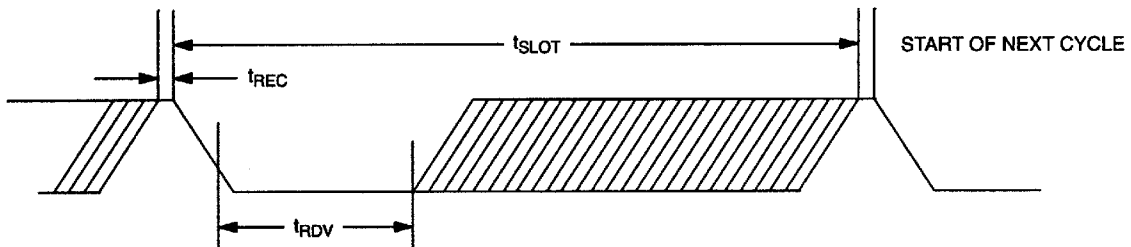
TYPICAL PERFORMANCE CURVE Figure 16

TIMING DIAGRAMS Figure 17

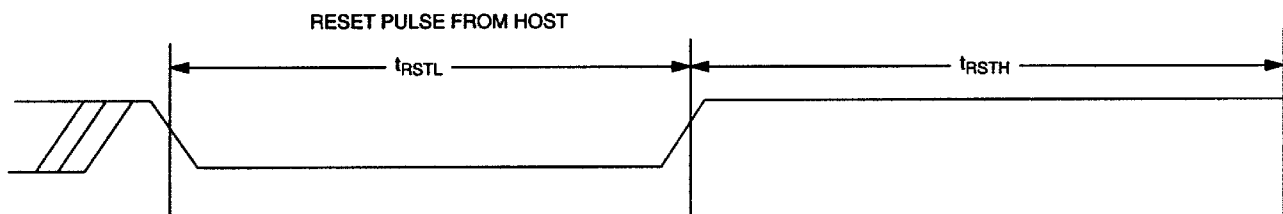
1-WIRE WRITE ZERO TIME SLOT



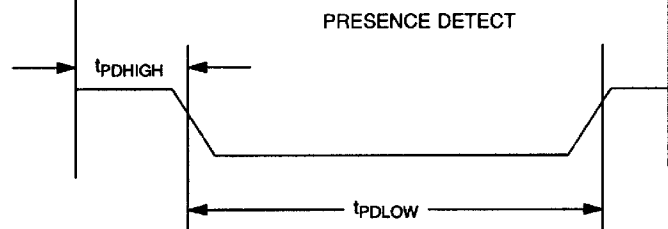
1-WIRE READ ZERO TIME SLOT



1-WIRE RESET PULSE



1-WIRE PRESENCE DETECT



Humidity Sensors Humidity Sensor

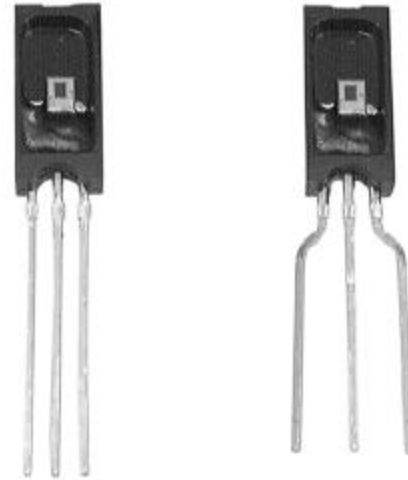
HIH-3610 Series

FEATURES

- Molded thermoset plastic housing with cover
- Linear voltage output vs %RH
- Laser trimmed interchangeability
- Low power design
- High accuracy
- Fast response time
- Stable, low drift performance
- Chemically resistant

TYPICAL APPLICATIONS

- Refrigeration
- Drying
- Metrology
- Battery-powered systems
- OEM assemblies



The HIH-3610 Series humidity sensor is designed specifically for high volume OEM (Original Equipment Manufacturer) users. Direct input to a controller or other device is made possible by this sensor's linear voltage output. With a typical current draw of only 200 μ A, the HIH-3610 Series is ideally suited for low drain, battery operated systems. Tight sensor interchangeability reduces or eliminates OEM production calibration costs. Individual sensor calibration data is available.

The HIH-3610 Series delivers instrumentation-quality RH (Relative Humidity) sensing performance in a low cost, solderable SIP (Single In-line Package). Available in two lead spacing configurations, the RH sensor is a laser trimmed thermoset polymer capacitive sensing element with on-chip integrated signal conditioning. The sensing element's multilayer construction provides excellent resistance to application hazards such as wetting, dust, dirt, oils, and common environmental chemicals.

⚠ WARNING

PERSONAL INJURY

- DO NOT USE these products as safety or emergency stop devices, or in any other application where failure of the product could result in personal injury.

Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

⚠ WARNING

MISUSE OF DOCUMENTATION

- The information presented in this product sheet is for reference only. Do not use this document as system installation information
- Complete installation, operation, and maintenance information is provided in the instructions supplied with each product.

Failure to comply with these instructions could result in death or serious injury.

Humidity Sensors

Humidity Sensor

HIH-3610 Series

TABLE 1: PERFORMANCE SPECIFICATIONS

Parameter	Condition
RH Accuracy ⁽¹⁾	±2% RH, 0-100% RH non-condensing, 25 °C, V _{supply} = 5 Vdc
RH Interchangeability	±5% RH, 0-60% RH; ±8% @ 90% RH typical
RH Linearity	±0.5% RH typical
RH Hysteresis	±1.2% RH span maximum
RH Repeatability	±0.5% RH
RH Response Time, 1/e	15 sec in slowly moving air at 25 °C
RH Stability	±1% RH typical at 50% RH in 5 years
Power Requirements	
Voltage Supply	4 Vdc to 5.8 Vdc, sensor calibrated at 5 Vdc
Current Supply	200 µA at 5 Vdc
Voltage Output	V _{out} = V _{supply} (0.0062(Sensor RH) + 0.16), typical @ 25 °C (Data printout option provides a similar, but sensor specific, equation at 25 °C.)
V _{supply} = 5 Vdc	0.8 Vdc to 3.9 Vdc output @ 25 °C typical
Drive Limits	Push/pull symmetric; 50 µA typical, 20 µA minimum, 100 µA maximum Turn-on ≤ 0.1 sec
Temperature Compensation	True RH = (Sensor RH)/(1.093-0.0021T), T in °F True RH = (Sensor RH)/(1.0546-0.00216T), T in °C
Effect @ 0% RH	±0.007 %RH/°C (negligible)
Effect @ 100% RH	-0.22% RH/°C (<1% RH effect typical in occupied space systems above 15 °C (59 °F))
Humidity Range	
Operating	0 to 100% RH, non-condensing ⁽¹⁾
Storage	0 to 90% RH, non-condensing
Temperature Range	
Operating	-40 °C to 85 °C (-40 °F to 185 °F)
Storage	-51 °C to 125 °C (-60 °F to 257 °F)
Package ⁽²⁾	Three pin, solderable SIP in molded thermoset plastic housing with thermoplastic cover
Handling	Static sensitive diode protected to 15 kV maximum

Notes:

1. Extended exposure to ³90% RH causes a reversible shift of 3% RH.
2. This sensor is light sensitive. For best results, shield the sensor from bright light.



Humidity/Moisture Sensors

Humidity Sensor

HIH-3610 Series

FACTORY CALIBRATION

HIH-3610 sensors may be ordered with a calibration and data printout (Table 2). See order guide on back page.

TABLE 2: EXAMPLE DATA PRINTOUT

Model	HIH-3610-001
Channel	92
Wafer	030996M
MRP	337313
Calculated values at 5 V	
V _{out} @ 0% RH	0.958 V
V _{out} @ 75.3% RH	3.268 V
Linear output for 2% RH accuracy @ 25 °C	
Zero offset	0.958 V
Slope	30.680 mV/%RH
RH	(V _{out} -zero offset)/slope (V _{out} -0.958)/0.0307
Ratiometric response for 0 to 100% RH	
V _{out}	V _{supply} (0.1915 to 0.8130)

FIGURE 1: RH SENSOR CONSTRUCTION

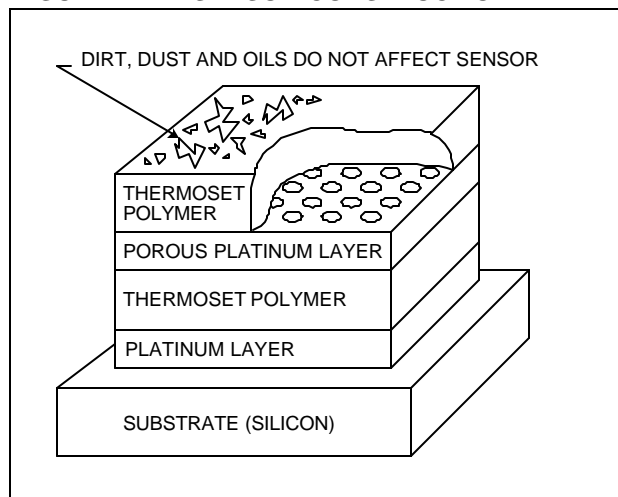


FIGURE 2: OUTPUT VOLTAGE VS RELATIVE HUMIDITY AT 0 °C

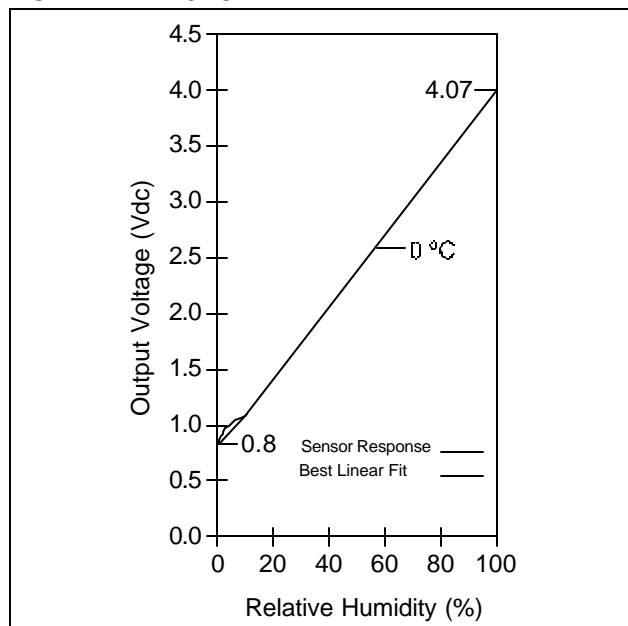
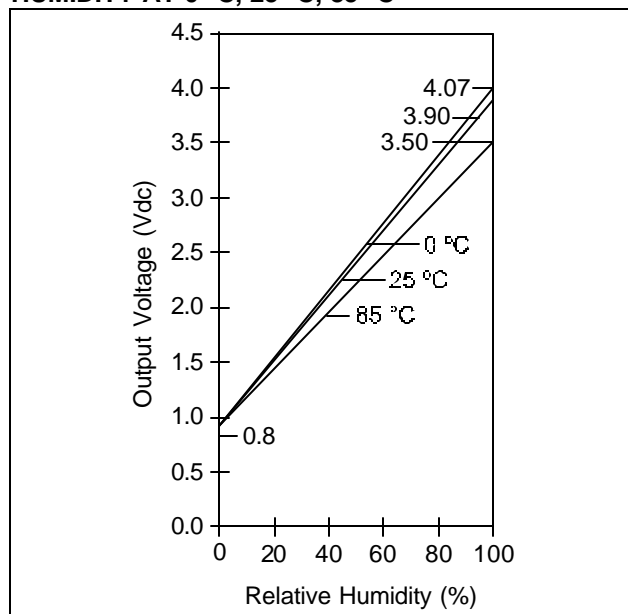


FIGURE 3: OUTPUT VOLTAGE VS RELATIVE HUMIDITY AT 0 °C, 25 °C, 85 °C



Humidity/Moisture Sensors

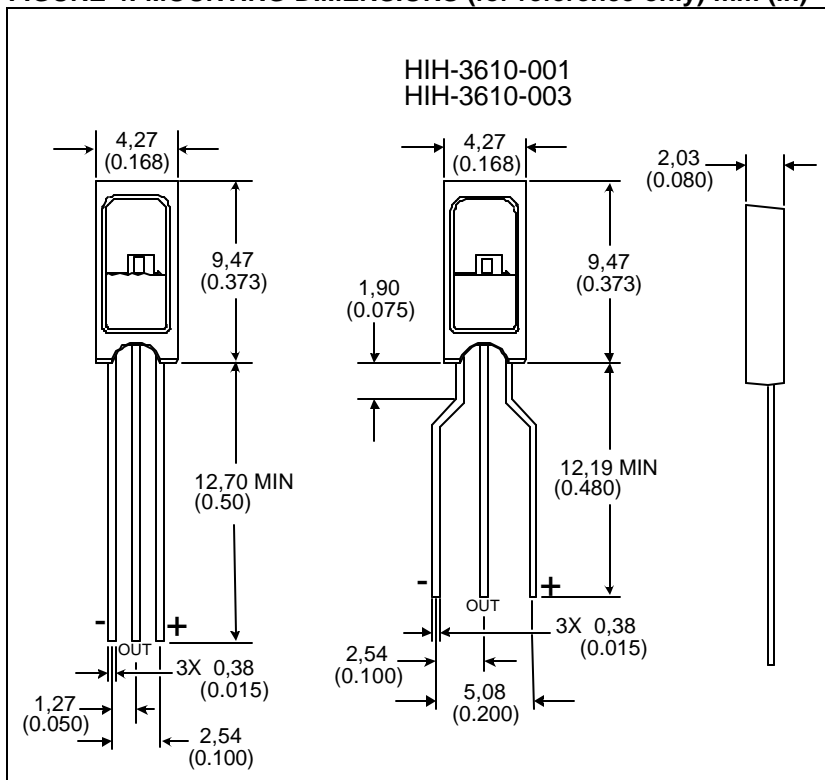
Humidity Sensor

HIH-3610 Series

ORDER GUIDE

Catalog Listing	Description
HIH-3610-001	Integrated circuit humidity sensor, 0.100 in lead pitch SIP
HIH-3610-002	Integrated circuit humidity sensor, 0.050 in lead pitch SIP
HIH-3610-003	Integrated circuit humidity sensor, 0.100 in lead pitch SIP with calibration and data printout
HIH-3610-004	Integrated circuit humidity sensor, 0.050 in lead pitch SIP with calibration and data printout

FIGURE 4: MOUNTING DIMENSIONS (for reference only) mm (in)



WARRANTY/REMEDY

Honeywell warrants goods of its manufacture as being free of defective materials and faulty workmanship. Contact your local sales office for warranty information. If warranted goods are returned to Honeywell during the period of coverage, Honeywell will repair or replace without charge those items it finds defective. The foregoing is Buyer's sole remedy and is **in lieu of all other warranties, expressed or implied, including those of merchantability and fitness for a particular purpose.**

Specifications may change without notice. The information we supply is believed to be accurate and reliable as of this printing. However, we assume no responsibility for its use.

While we provide application assistance personally, through our literature and the Honeywell web site, it is up to the customer to determine the suitability of the product in the application.

For application assistance, current specifications, or name of the nearest Authorized Distributor, check the Honeywell web site or call:

1-800-537-6945 USA
1-800-737-3360 Canada
1-815-235-6847 International

FAX

1-815-235-6545 USA

INTERNET

www.honeywell.com/sensing
info.sc@honeywell.com

Honeywell

Sensing and Control
Honeywell
11 West Spring Street
Freeport, Illinois 61032



www.honeywell.com/sensing

Printed with Soy Ink
on 50% Recycled Paper

009012-1-EN IL50 GLO 600 Printed in USA

Integrated Silicon Pressure Sensor for Manifold Absolute Pressure, Altimeter or Barometer Applications On-Chip Signal Conditioned, Temperature Compensated and Calibrated

Motorola's MPX4115A/MPXA4115A series sensor integrates on-chip, bipolar op amp circuitry and thin film resistor networks to provide a high output signal and temperature compensation. The small form factor and high reliability of on-chip integration make the Motorola pressure sensor a logical and economical choice for the system designer.

The MPX4115A/MPXA4115A series piezoresistive transducer is a state-of-the-art, monolithic, signal conditioned, silicon pressure sensor. This sensor combines advanced micromachining techniques, thin film metallization, and bipolar semiconductor processing to provide an accurate, high level analog output signal that is proportional to applied pressure.

Figure 1 shows a block diagram of the internal circuitry integrated on a pressure sensor chip.

Features

- 1.5% Maximum Error over 0° to 85°C
- Ideally suited for Microprocessor or Microcontroller-Based Systems
- Temperature Compensated from -40° to +125°C
- Durable Epoxy Unibody Element or Thermoplastic (PPS) Surface Mount Package

Application Examples

- Aviation Altimeters
- Industrial Controls
- Engine Control
- Weather Stations and Weather Reporting Devices

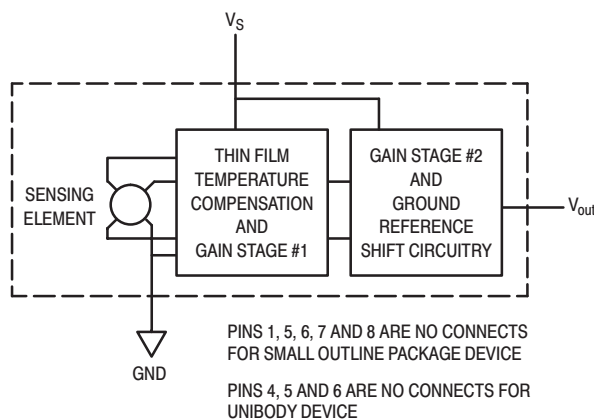


Figure 1. Fully Integrated Pressure Sensor Schematic

**MPX4115A
 MPXA4115A
 SERIES**

**INTEGRATED
 PRESSURE SENSOR
 15 to 115 kPa (2.2 to 16.7 psi)
 0.2 to 4.8 Volts Output**

UNIBODY PACKAGE

**MPX4115A
 CASE 867**

**MPX4115AP
 CASE 867B**

**MPX4115AS
 CASE 867E**

SMALL OUTLINE PACKAGE

**MPXA4115A6U
 CASE 482**

**MPXA4115AC6U
 CASE 482A**

PIN NUMBER			
1	N/C	5	N/C
2	V _S	6	N/C
3	Gnd	7	N/C
4	V _{out}	8	N/C

NOTE: Pins 1, 5, 6, 7, and 8 are internal device connections. Do not connect to external circuitry or ground. Pin 1 is noted by the notch in the lead.

PIN NUMBER			
1	V _{out}	4	N/C
2	Gnd	5	N/C
3	V _S	6	N/C

NOTE: Pins 4, 5, and 6 are internal device connections. Do not connect to external circuitry or ground. Pin 1 is noted by the notch in the lead.

Freescale Semiconductor, Inc.

MAXIMUM RATINGS^(NOTE)

Parametrics	Symbol	Value	Units
Maximum Pressure (P1 > P2)	P _{max}	400	kPa
Storage Temperature	T _{stg}	-40° to +125°	°C
Operating Temperature	T _A	-40° to +125°	°C

NOTE: Exposure beyond the specified limits may cause permanent damage or degradation to the device.

OPERATING CHARACTERISTICS (V_S = 5.1 Vdc, T_A = 25°C unless otherwise noted, P1 > P2. Decoupling circuit shown in Figure 3 required to meet Electrical Specifications.)

Characteristic	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Pressure Range	P _{OP}	15	—	115	kPa
Supply Voltage ⁽¹⁾	V _S	4.85	5.1	5.35	Vdc
Supply Current	I _o	—	7.0	10	mAdc
Minimum Pressure Offset ⁽²⁾ @ V _S = 5.1 Volts	V _{off}	0.135	0.204	0.273	Vdc
Full Scale Output ⁽³⁾ @ V _S = 5.1 Volts	V _{FSO}	4.725	4.794	4.863	Vdc
Full Scale Span ⁽⁴⁾ @ V _S = 5.1 Volts	V _{FSS}	4.521	4.590	4.659	Vdc
Accuracy ⁽⁵⁾	—	—	—	±1.5	%V _{FSS}
Sensitivity	V/P	—	45.9	—	mV/kPa
Response Time ⁽⁶⁾	t _R	—	1.0	—	ms
Output Source Current at Full Scale Output	I _{o+}	—	0.1	—	mAdc
Warm-Up Time ⁽⁷⁾	—	—	20	—	ms
Offset Stability ⁽⁸⁾	—	—	±0.5	—	%V _{FSS}

NOTES:

- Device is ratiometric within this specified excitation range.
- Offset (V_{off}) is defined as the output voltage at the minimum rated pressure.
- Full Scale Output (V_{FSO}) is defined as the output voltage at the maximum or full rated pressure.
- Full Scale Span (V_{FSS}) is defined as the algebraic difference between the output voltage at full rated pressure and the output voltage at the minimum rated pressure.
- Accuracy is the deviation in actual output from nominal output over the entire pressure range and temperature range as a percent of span at 25°C due to all sources of error including the following:
 - Linearity: Output deviation from a straight line relationship with pressure over the specified pressure range.
 - Temperature Hysteresis: Output deviation at any temperature within the operating temperature range, after the temperature is cycled to and from the minimum or maximum operating temperature points, with zero differential pressure applied.
 - Pressure Hysteresis: Output deviation at any pressure within the specified range, when this pressure is cycled to and from minimum or maximum rated pressure at 25°C.
 - TcSpan: Output deviation over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.
 - TcOffset: Output deviation with minimum pressure applied, over the temperature range of 0° to 85°C, relative to 25°C.
- Response Time is defined as the time for the incremental change in the output to go from 10% to 90% of its final value when subjected to a specified step change in pressure.
- Warm-up Time is defined as the time required for the product to meet the specified output voltage after the pressure has been stabilized.
- Offset Stability is the product's output deviation when subjected to 1000 cycles of Pulsed Pressure, Temperature Cycling with Bias Test.

MECHANICAL CHARACTERISTICS

Characteristics	Typ	Unit
Weight, Basic Element (Case 867)	4.0	grams
Weight, Small Outline Package (Case 482)	1.5	grams

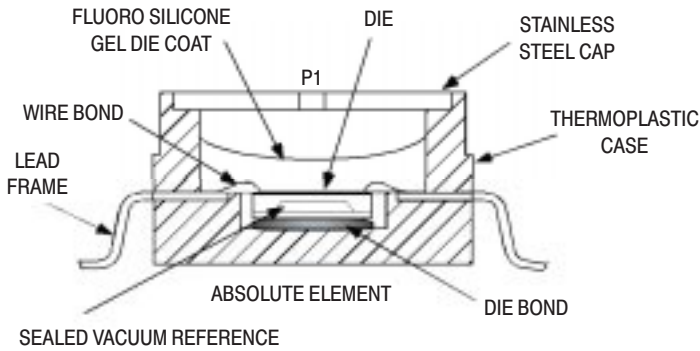


Figure 2. Cross Sectional Diagram SOP (not to scale)

Figure 2 illustrates the absolute sensing chip in the basic chip carrier (Case 482).

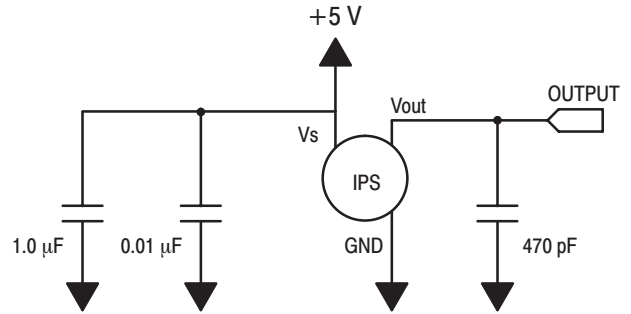


Figure 3. Recommended power supply decoupling and output filtering. For additional output filtering, please refer to Application Note AN1646.

Figure 3 shows the recommended decoupling circuit for interfacing the output of the integrated sensor to the A/D input of a microprocessor or microcontroller. Proper decoupling of the power supply is recommended.

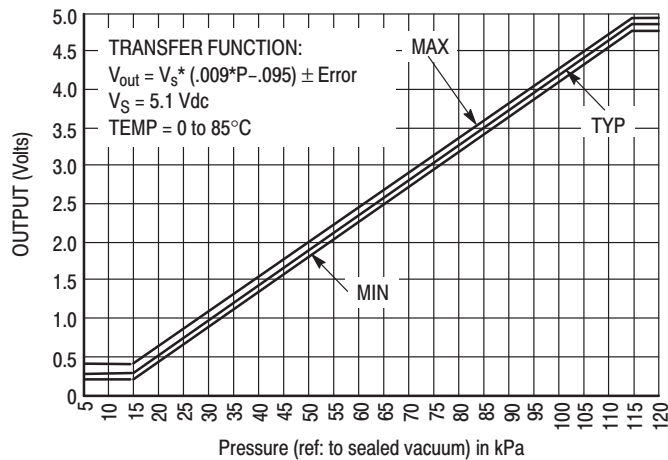


Figure 4. Output versus Absolute Pressure

Figure 4 shows the sensor output signal relative to pressure input. Typical minimum and maximum output curves are shown for operation over 0 to 85°C temperature range. The output will saturate outside of the rated pressure range.

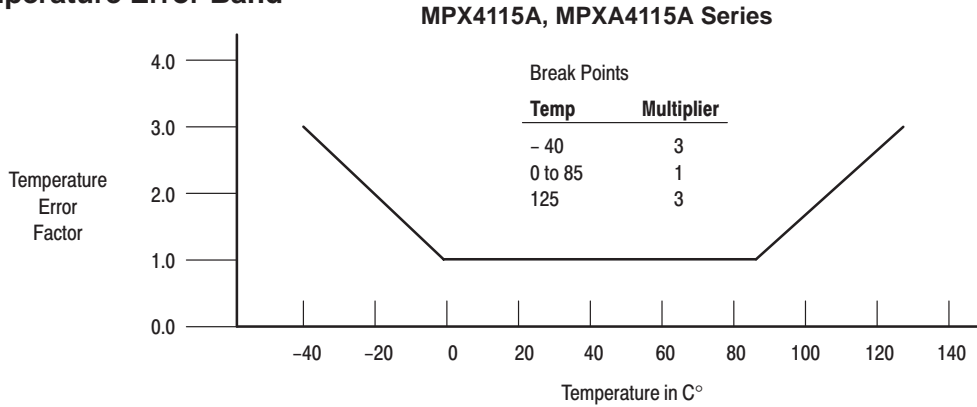
A fluorosilicone gel isolates the die surface and wire bonds from the environment, while allowing the pressure signal to be transmitted to the silicon diaphragm. The

MPX4115A/MPXA4115A series pressure sensor operating characteristics, internal reliability and qualification tests are based on use of dry air as the pressure media. Media other than dry air may have adverse effects on sensor performance and long-term reliability. Contact the factory for information regarding media compatibility in your application.

Transfer Function (MPX4115A, MPXA4115A)

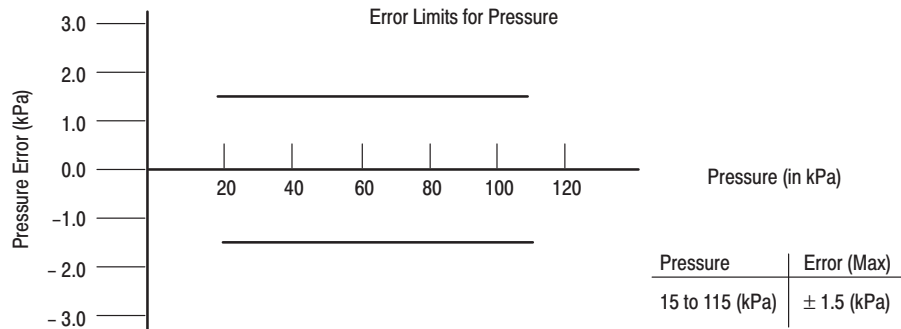
Nominal Transfer Value: $V_{out} = V_S \times (0.009 \times P - 0.095)$
 $\pm (\text{Pressure Error} \times \text{Temp. Factor} \times 0.009 \times V_S)$
 $V_S = 5.1 \pm 0.25 \text{ Vdc}$

Temperature Error Band



NOTE: The Temperature Multiplier is a linear response from 0°C to -40°C and from 85°C to 125°C

Pressure Error Band



ORDERING INFORMATION — UNIBODY PACKAGE

Device Type	Options	Case No.	MPX Series Order No.	Marking
Basic Element	Absolute, Element Only	867	MPX4115A	MPX4115A
Ported Elements	Absolute, Ported	867B	MPX4115AP	MPX4115AP
	Absolute, Stove Pipe Port	867E	MPX4115AS	MPX4115A

ORDERING INFORMATION — SMALL OUTLINE PACKAGE

Device Type	Options	Case No.	MPX Series Order No.	Packing Options	Marking
Basic Element	Absolute, Element Only	482	MPXA4115A6U	Rails	MPXA4115A
	Absolute, Element Only	482	MPXA4115A6T1	Tape and Reel	MPXA4115A
Ported Element	Absolute, Axial Port	482A	MPXA4115AC6U	Rails	MPXA4115A
	Absolute, Axial Port	482A	MPXA4115AC6T1	Tape and Reel	MPXA4115A

INFORMATION FOR USING THE SMALL OUTLINE PACKAGE (CASE 482)

MINIMUM RECOMMENDED FOOTPRINT FOR SURFACE MOUNTED APPLICATIONS

Surface mount board layout is a critical portion of the total design. The footprint for the surface mount packages must be the correct size to ensure proper solder connection interface between the board and the package. With the correct

footprint, the packages will self-align when subjected to a solder reflow process. It is always recommended to design boards with a solder mask layer to avoid bridging and shorting between solder pads.

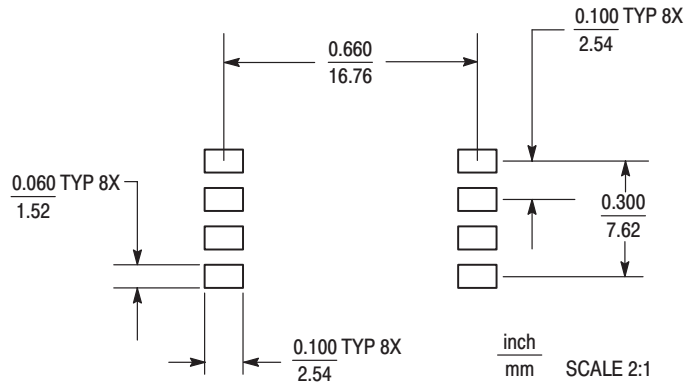
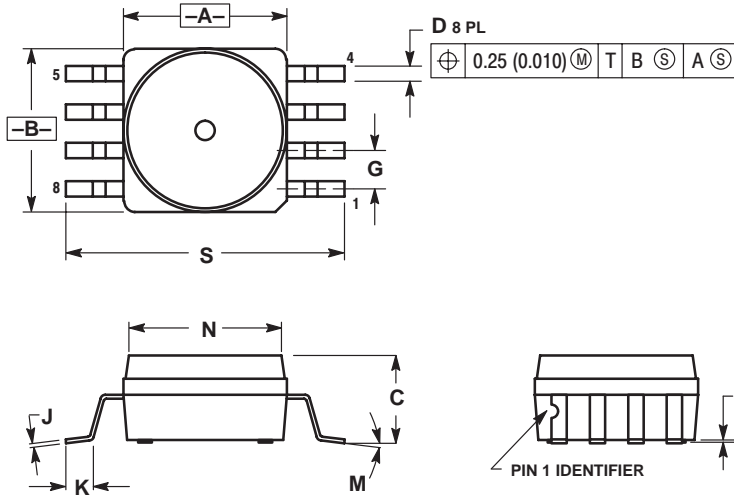


Figure 5. SOP Footprint (Case 482)

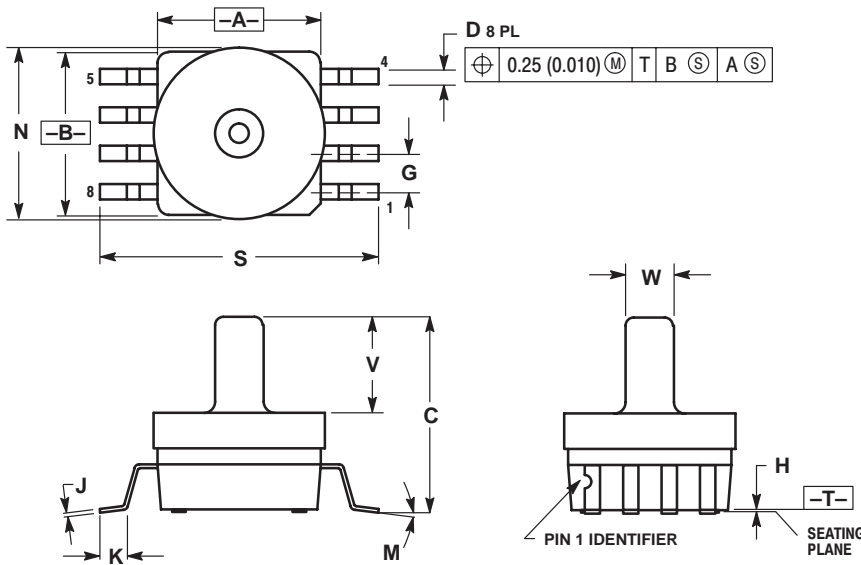
SMALL OUTLINE PACKAGE DIMENSIONS



- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
 4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006).
 5. ALL VERTICAL SURFACES 5° TYPICAL DRAFT.

DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.415	0.425	10.54	10.79
B	0.415	0.425	10.54	10.79
C	0.212	0.230	5.38	5.84
D	0.038	0.042	0.96	1.07
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.002	0.010	0.05	0.25
J	0.009	0.011	0.23	0.28
K	0.061	0.071	1.55	1.80
M	0°	7°	0°	7°
N	0.405	0.415	10.29	10.54
S	0.709	0.725	18.01	18.41

CASE 482-01
ISSUE O

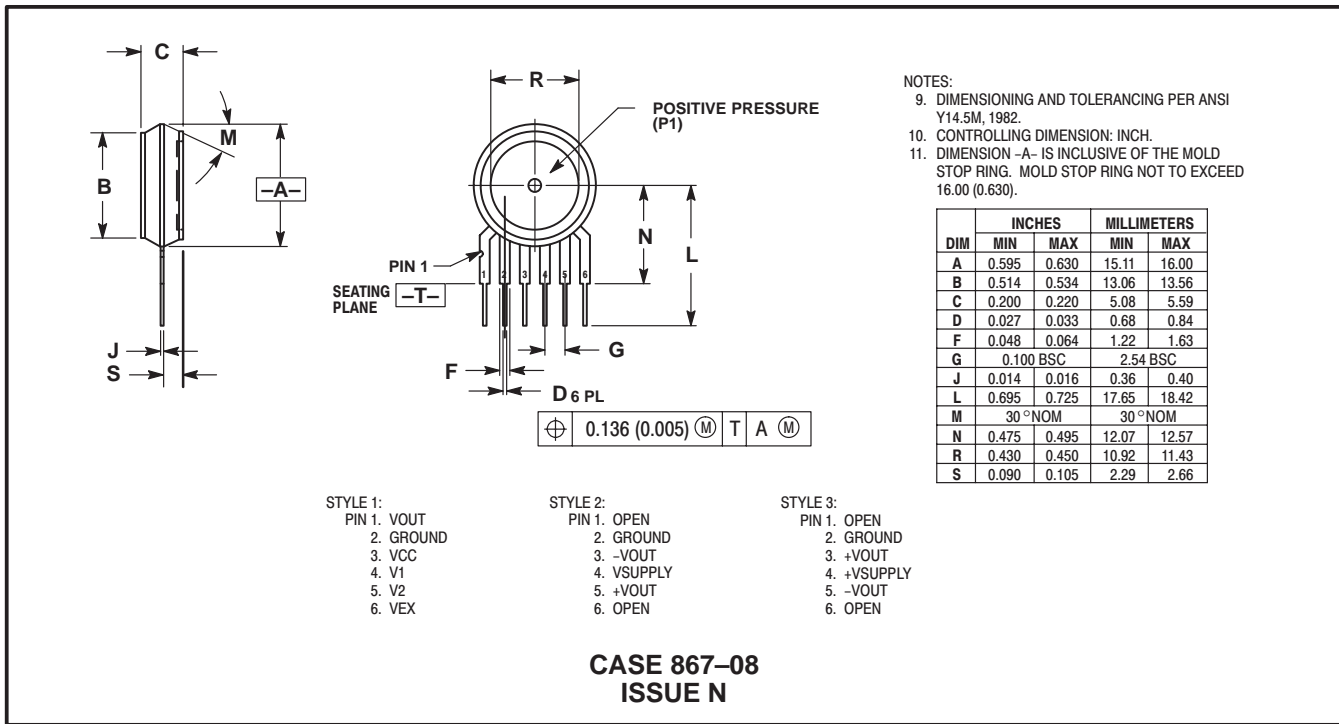


- NOTES:
1. DIMENSIONING AND TOLERANCING PER ANSI Y14.5M, 1982.
 2. CONTROLLING DIMENSION: INCH.
 3. DIMENSION A AND B DO NOT INCLUDE MOLD PROTRUSION.
 4. MAXIMUM MOLD PROTRUSION 0.15 (0.006).
 5. ALL VERTICAL SURFACES 5° TYPICAL DRAFT.

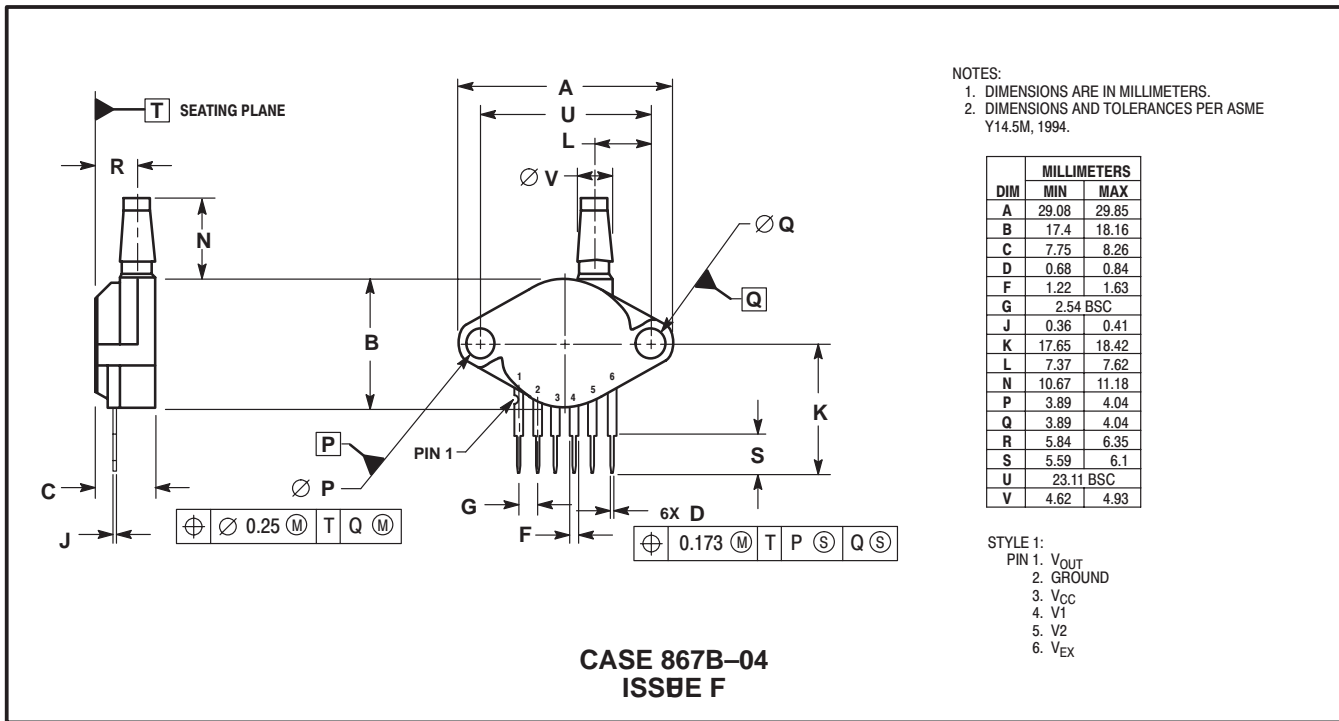
DIM	INCHES		MILLIMETERS	
	MIN	MAX	MIN	MAX
A	0.415	0.425	10.54	10.79
B	0.415	0.425	10.54	10.79
C	0.500	0.520	12.70	13.21
D	0.038	0.042	0.96	1.07
G	0.100 BSC		2.54 BSC	
H	0.002	0.010	0.05	0.25
J	0.009	0.011	0.23	0.28
K	0.061	0.071	1.55	1.80
M	0°	7°	0°	7°
N	0.444	0.448	11.28	11.38
S	0.709	0.725	18.01	18.41
V	0.245	0.255	6.22	6.48
W	0.115	0.125	2.92	3.17

CASE 482A-01
ISSUE A

UNIBODY PACKAGE DIMENSIONS

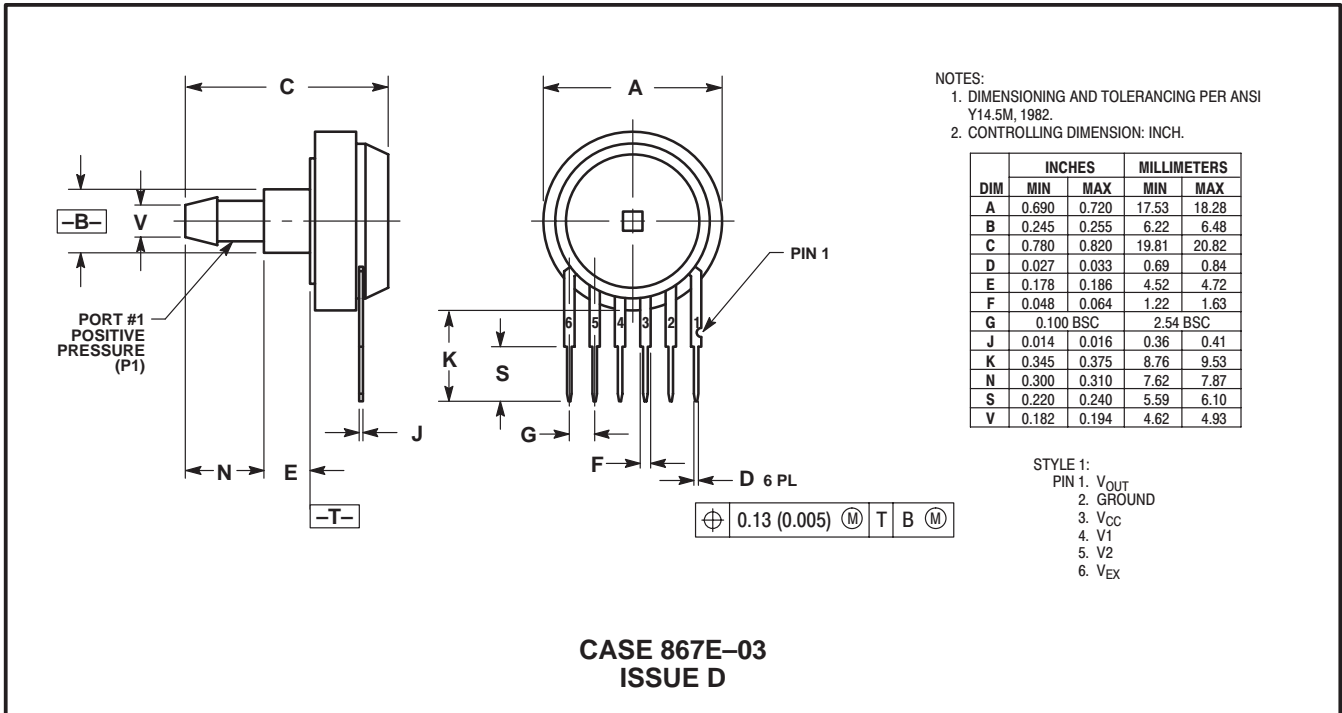


BASIC ELEMENT




PRESSURE SIDE PORTED (AP, GP)

UNIBODY PACKAGE DIMENSIONS—CONTINUED



PRESSURE SIDE PORTED (AS, GS)

Motorola reserves the right to make changes without further notice to any products herein. Motorola makes no warranty, representation or guarantee regarding the suitability of its products for any particular purpose, nor does Motorola assume any liability arising out of the application or use of any product or circuit, and specifically disclaims any and all liability, including without limitation consequential or incidental damages. "Typical" parameters which may be provided in Motorola data sheets and/or specifications can and do vary in different applications and actual performance may vary over time. All operating parameters, including "Typicals" must be validated for each customer application by customer's technical experts. Motorola does not convey any license under its patent rights nor the rights of others. Motorola products are not designed, intended, or authorized for use as components in systems intended for surgical implant into the body, or other applications intended to support or sustain life, or for any other application in which the failure of the Motorola product could create a situation where personal injury or death may occur. Should Buyer purchase or use Motorola products for any such unintended or unauthorized application, Buyer shall indemnify and hold Motorola and its officers, employees, subsidiaries, affiliates, and distributors harmless against all claims, costs, damages, and expenses, and reasonable attorney fees arising out of, directly or indirectly, any claim of personal injury or death associated with such unintended or unauthorized use, even if such claim alleges that Motorola was negligent regarding the design or manufacture of the part. Motorola and  are registered trademarks of Motorola, Inc. Motorola, Inc. is an Equal Opportunity/Affirmative Action Employer.

How to reach us:

USA/EUROPE/Locations Not Listed: Motorola Literature Distribution;
P.O. Box 5405, Denver, Colorado 80217. 1-303-675-2140 or 1-800-441-2447

JAPAN: Motorola Japan Ltd.; SPS, Technical Information Center, 3-20-1,
Minami-Azabu, Minato-ku, Tokyo 106-8573 Japan. 81-3-3440-3569

Technical Information Center: 1-800-521-6274

ASIA/PACIFIC: Motorola Semiconductors H.K. Ltd.; Silicon Harbour Centre,
2, Dai King Street, Tai Po Industrial Estate, Tai Po, N.T., Hong Kong.
852-26668334

HOME PAGE: <http://www.motorola.com/semiconductors/>



MOTOROLA

**For More Information On This Product,
Go to: www.freescale.com**

MPXA4115A/D