

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería en Electrónica



Sistema de comunicación para el monitoreo y control de las pruebas realizadas durante la calibración de equipo en el laboratorio Metrológico Empresarial de RECOPE, Plantel El Alto.

Refinadora Costarricense de Petróleo

RECOPE

Juan Carlos Monge Mora

Cartago, Enero de 2006

ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA

PROYECTO DE GRADUACIÓN

TRIBUNAL EVALUADOR

Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Miembros del Tribunal



Ing. Julio Stradi Granados

Profesor rector



Ing. Carlos Badilla Corrales

Profesor asesor



Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

Instituto Tecnológico de Costa Rica.
Cartago, Costa Rica.
18 de enero del 2006

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, Costa Rica
16 de enero del 2006


Juan Carlos Monge Mora

Céd: 1 - 1190 - 0806

Resumen

La Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE), requiere realizar una modernización en el Laboratorio de Metrología Empresarial, con el fin de optimizar las labores de adquisición de datos en las diferentes pruebas que se realizan durante la calibración del equipo que se utiliza en los procesos de producción de la institución.

Por ahora no existe una automatización en el laboratorio, que permita realizar la adquisición de los datos de las diferentes pruebas mediante un sistema de monitoreo en tiempo real desde una estación central de trabajo.

Para RECOPE es necesario implementar las mejoras en éste proceso, ya que se encuentran en un plan de acreditación de la norma ISO 17025 (*Requerimientos Generales para la Competencia de Laboratorios de Prueba y Calibración*); además esto asegurará que las labores se lleven a cabo de forma más ágil y confiable, mejorando la calidad del trabajo que se entrega a los clientes (debido a que el servicio de calibración de equipos se brinda también a cualquier institución o empresa que solicite soporte en ésta área).

Para lograr lo mencionado anteriormente se pretende implementar un sistema de comunicación, entre los equipos del laboratorio que permita el monitoreo y configuración desde un servidor, de todas las pruebas que se estén realizando en éstos.

Palabras clave: Metrología; calibración, sistema de comunicación, adquisición de datos, Refinadora Costarricense de Petróleo.

Abstract

The Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE) requires to make a modernization in the Equipment Calibration Laboratory, with the purpose of optimizing the workings of data acquisition in the different tests that are made during the calibration of the equipment that is used in the processes of production of the institution.

The automatization in the laboratory allows to make the automatic data acquisition data of the different tests in real time from a central station of work.

For RECOPE it is necessary to implement the improvements in this one process, since at the moment they are in a plan of accreditation of norm ISO 17025 (General Requirements for the Competition of Research Laboratories and Calibration); in addition this will assure that the workings are carried out of more agile and reliable form, improving the quality of the work that is given to the clients (because the service of calibration of equipment also offers to any institution or company that asks for support in this one area).

In order to obtain the mentioned as previously, the goal is to implement a communication system, between the equipment of the laboratory that allows the automatic acquisition data from a computer, of all the tests that are being made in these.

Keywords: Equipment Calibration, automatic data acquisition, communication system, Refinadora Costarricense de Petróleo.

Dedicatoria

Durante la vida nos tropezamos y caemos constantemente, hasta sentir en algunos momentos que no nos quedan fuerzas suficientes para seguir adelante; pero siempre hay alguien más fuerte que nosotros, que nos levanta y lleva en sus regazos, es ese alguien que amo tanto el mundo que envió a su único hijo para salvarnos, es ese alguien que no nos abandona aún así todos se hayan ido de nuestro lado, es por ese alguien que he logrado alcanzar cada una de mis metas, es el responsable de mis triunfos, de la felicidad en mi vida, de todo lo que soy, y por esto y muchas cosas más quiero dedicar a Dios y a su madre la Virgen de los Ángeles el éxito alcanzado en una nueva etapa de mi vida, sin duda su compañía incondicional han hecho realidad la culminación de mi estudios.

Quiero dedicar este trabajo de forma especial, con todo mi amor y eterno agradecimiento a mis padres, Carlos Luis Monge Quirós y Alcira Mora Vargas quienes se han dedicado por completo durante su vida a educarme, formarme, amarme; son ellos quienes hicieron posible que yo me preparara y concluyera mis estudios, son ellos quienes confiaron en mí, quienes me dieron fuerzas necesarias en momentos en que sentía no poder continuar más; gracias por sus consejos, por consolarme, por alegrarme, por ser mis padres. Esto es obra de ustedes.

También no puedo olvidar a mis hermanos, Neyma, Priscila, Lizbeth Guadalupe y Jordi Esteban, porque su apoyo y cariño ha sido siempre una constante, han estado conmigo en todo este tiempo motivándome; sus vidas han sido un ejemplo para no doblegarme ante las adversidades y me han dado la fuerza para llegar al final de este camino.

Para finalizar quiero dedicar también de una manera muy especial, este trabajo a mi novia Natalia Mena Barrantes, ella ha compartido conmigo los últimos tres años de mis estudios universitarios, y durante este tiempo además de ser mi novia, ha sido mi mejor amiga, mi motivadora, mi consuelo; es esa persona que me escucha, alienta y me recuerda con su compañía las bendiciones que el Señor me ha derramado en mi vida; su apoyo y confianza me dan la fuerza suficiente para librar cualquier batalla.

A ellos, porque esto ha sido gracias a ellos...

Juan Carlos Monge Mora

“Si es cierto hijo todas las estrellas se han ocultado, pero recuerda que nunca se pone más oscuro que cuando va a salir el sol”
Isaac Felipe Azofeifa

Agradecimiento

Quiero primero que todo agradecer a las autoridades de RECOPE por apoyarme durante todo el desarrollo de mi proyecto de graduación en ésta empresa.

Agradezco de manera muy especial Ing. Carlos Badilla Corrales, por la asesoría brindada no solo en este proyecto, sino en buena parte de mi vida universitaria, su aporte en mi formación académica es invaluable. También no quiero olvidar al Ing. Julio Stradi Granados, quien con sus observaciones y recomendaciones lograron dar buen curso al desarrollo del éste proyecto.

Dar las gracias también al Ing. Roberto Coto Rojas, al Ing. Luis Hernández Sánchez y al Ing. Esteban Castillo Valverde; ellos además de ser mis asesores y guías académicos del proyecto en RECOPE, fueron mis verdaderos amigos y consejeros. Gracias por confiar en mí, y darme su entera confianza y verdadera amistad.

Además a todas las personas que trabajan en el Departamento de Aseguramiento de la Calidad de RECOPE, en el Plantel El Alto; el afectó y atenciones que siempre me tuvieron hizo posible que mi experiencia laboral fuera una realización personal.

ÍNDICE GENERAL

Capítulo 1: Introducción	13
1.1 Problema existente e importancia de su solución	13
1.2 Solución seleccionada	15
1.2.1 Requerimientos.....	15
1.2.2 Solución Propuesta	16
1.2.3 Descripción técnica de los componentes más relevantes utilizados en la implementación del proyecto.	23
Capítulo 2: Meta y Objetivos	29
2.1 Meta	29
2.2 Objetivo general	29
2.3 Objetivos específicos	29
A.1.1 a. Objetivos de hardware.....	29
A.1.2 b. Objetivos de software.....	30
A.1.3 c. Objetivos de documentación	30
A.1.4 d. Objetivos de implementación.....	31
Capítulo 3: Marco teórico	32
3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar	32
3.2 Antecedentes Bibliográficos	35
3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema	38
Capítulo 4: Procedimiento metodológico	39
4.1 Reconocimiento y definición del problema	39
4.2 Obtención y análisis de información	39
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución	40
4.4 Implementación de la solución	41
4.5 Reevaluación y rediseño	43
Capítulo 5: Descripción detallada de la solución	44
5.1 Descripción de las características de diseño presentes en el proyecto	44
5.1.1 Elementos de diseño integrados en el proyecto	44
5.1.2 Restricciones limitantes del desarrollo del proyecto	46
5.1.3 Características del proceso de diseño en ingeniería	47
5.2 Descripción del hardware	49
5.2.1 Módulo Central	51
5.2.2 Módulos Periféricos	53
5.2.2.1 Termómetro Digital 1560 Black Stack	53
5.2.2.2 Termómetro Digital 1502A Tweener	55
5.2.2.3 Indicador de Temperatura TTI – 2.....	57
5.2.2.4 Baño para calibración 6020	58
5.2.2.5 Baño para Calibración, AYRIES Fluidized, modelo 875	60

5.2.2.6 Datalogger SK – L200TH.....	61
5.2.2.7 Viscometer Bath.....	64
5.3 Características de los enlaces inalámbricos.....	68
5.4 Descripción del Software.....	73
5.4.1 Diagrama de flujo general para interfaz con el usuario.....	74
5.4.2 Diagrama de flujo general para interfaz entre el módulo periférico y el Temperature Controller 2100.....	80
Capítulo 6: Análisis de Resultados.....	83
Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones.....	99
7.1 Conclusiones.....	99
7.2 Recomendaciones.....	101
Bibliografía.....	102
Apéndices.....	103
A.1 Glosario, abreviaturas y simbología.....	103
A.1.1 Abreviaturas.....	103
A.1.2 Definiciones importantes.....	103
A.2 Información sobre la empresa.....	104
A.2.1 Descripción de la empresa.....	104
A.2.2 Descripción del departamento o sección en la que se realizará el proyecto.....	106
A.3 Cronograma de actividades.....	107
A.4 Pruebas realizadas al sistema.....	110
A.4.1 Prueba para la adquisición de datos desde el equipo Black Stack.....	110
A.4.2 Prueba de la adquisición de datos desde el 1502A Thermometer.....	113
A.4.3 Prueba de la adquisición de datos desde el indicador TTI – 2.....	116
A.4.4 Prueba de la adquisición de datos desde el Temperature Controller 2100.....	119
A.4.5 Prueba de la adquisición de datos desde el Datalogger SK – L200TH.....	122
Anexos.....	124
B.1 Datos técnicos Termómetro Digital 1560 Black Stack.....	124
B.2 Datos técnicos Termómetro Digital 1502 Tweener.....	125
B.3 Datos técnicos Baño de calibración, AYRIES Fluizied.....	126
B.4 Datos técnicos Baño de calibración 6020.....	127
B.5 Datos técnicos Indicador de Temperatura TTI2.....	129
B.6 Datos técnicos Temperatura Controller 2100.....	130
B.7 Datos técnicos Datalogger SK – L200TH.....	131
B.8 Datos técnicos 9XCite OEM RF Module.....	132
B.9 Datos técnicos microcontrolador PIC16F877A.....	134
B.10 Datos técnicos del regulador de voltaje LM7805.....	135
B.11 Datos técnicos del MAX232 Driver/Receiver.....	137

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.2.2.1 Diagrama general del sistema a implementar para la automatización del Laboratorio de Metrología Empresarial, RECOPE, Plantel El Alto.....	17
Figura 1.2.2.2 Diagrama de bloques de primer nivel.....	19
Figura 1.2.2.3 Diagrama de bloques de segundo nivel (comunicación uno a uno, módulo central – módulo periférico).....	20
Figura 1.2.2.4 Trama para los datos.....	22
Figura 1.2.3.1 Diagrama de bloques del módulo 9XCite OEM RF.....	26
Figura 1.2.3.2 Kit de desarrollo para programación de los módulos 9XCite OEM RF.....	26
Figura 1.2.3.3 Tarjeta de comunicación 9XCite OEM RF.....	27
Figura 3.1.1 Secuencia del proceso realizado para la calibración de equipo.....	32
Figura 5.2.1 Diagrama de bloques general del sistema implementado.....	49
Figura 5.2.1.1 Diagrama de bloques del módulo central.....	51
Figura 5.2.1.2 Diagrama de conexión del hardware para la comunicación entre la PC y el módulo de comunicación de la estación central de trabajo.....	52
Figura 5.2.2.1.1 Diagrama de las conexiones eléctricas para el módulo periférico conectado al termómetro digital 1560 Black Stack.....	55
Figura 5.2.2.2.1 Diagrama de las conexiones eléctricas para el módulo periférico conectado al termómetro digital 1502A Tweener.....	56
Figura 5.2.2.3.1 Diagrama de las conexiones eléctricas para el módulo periférico conectado al indicador de temperatura TTI – 2.....	58
Figura 5.2.2.4.1 Diagrama de las conexiones eléctricas para el módulo periférico conectado al baño de calibración 6020.....	59
Figura 5.2.2.5.1 Diagrama de las conexiones eléctricas para el módulo periférico conectado al AYRIES Fluidized 875.....	61
Figura 5.2.2.6.1 Diagrama de conexión eléctrica del puerto de comunicación del Datalogger SK – L200TH (Tomado del SK – L200 Series Datalogger Instruction Manual, Sato Keiryoki MFG).....	62
Figura 5.2.2.6.2 Diagrama conexiones eléctricas módulo periférico conectado al Datalogger.....	63
Figura 5.2.2.7.1 Diagrama de las conexiones eléctricas implementada para el módulo periférico conectado al Controlador de temperatura 2100.....	66
Figura 5.4.1.1 Diagrama de flujo general del programa desarrollado para la interfaz del sistema con el usuario.....	75
Figura 5.4.1.2 Diagrama de flujo del ciclo infinito de control.....	79
Figura 5.4.2.1 Diagrama de flujo para la interfaz de comunicación entre el Temperature Controller 2100 y el sistema de control y monitoreo diseñado.....	81
Figura 6.1 Circuito impreso implementado para cada uno de los módulos periféricos.....	83
Figura 6.2 Módulo de comunicación utilizado para la estación central de trabajo.....	84
Figura 6.3 Fotografía del módulo periférico creado (producto final) conectad al baño de calibración 6020.....	85
Figura 6.4 Imagen de la página 1 de la pantalla de mediciones en la aplicación desarrollada.....	87
Figura 6.5 Imagen de la página 2 de la pantalla de mediciones en la aplicación desarrollada.....	88
Figura 6.6 Imagen de la página 1 de la pantalla de mediciones en pleno funcionamiento.....	90
Figura 6.7 Imagen de la operación del Black Stack en el programa desarrollado.....	91
Figura 6.8 Gráfico trazado por el programa desarrollado a partir de los datos adquiridos en la operación del Black Stack.....	91
Figura 6.9 Imagen de la operación del 1502A Thermometer en el programa desarrollado.....	92
Figura 6.10 Gráfico trazado por el programa desarrollado a partir de los datos adquiridos en la operación del 1502A Thermometer.....	93
Figura 6.11 Imagen de la operación del TTI – 2 en el programa desarrollado.....	94
Figura 6.12 Gráfico trazado por el programa desarrollado a partir de los datos adquiridos en la operación del TTI – 2.....	95
Figura 6.13 Imagen de la operación del Temperature Controller 2100 en el programa desarrollado.....	96

Figura 6.14 Gráfico trazado por el programa desarrollado a partir de los datos adquiridos en la operación del Temperature Controller 2100.....	96
Figura 6.15 Imagen de la página 2 de la pantalla de mediciones en pleno funcionamiento	98
Figura A.2.1.1 Diagrama administrativo organizacional de RECOPE.....	105
Figura A.3.1 Gráfico de Gantt (Inicio 8 de Agosto del 2005 – Fin 13 de Enero del 2006).....	108
Figura A.3.2 Diagrama de Pert	109

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.2.3.1 Características generales del módulo de comunicación inalámbrica 9XCite OEM RF.	25
Tabla 1.2.3.2 Características generales del microcontrolador PIC16F877A.....	28
Tabla 5.2.1 Tabla con los parámetros definidos para el protocolo de comunicación entre los módulos del sistema de comunicación.	50
Tabla 5.2.2.1.1 Parámetros para la comunicación del Termómetro Digital 1560 Black Stack.	53
Tabla 5.2.2.2.1 Parámetros para la comunicación del Termómetro Digital 1502 Tweener.	56
Tabla 5.2.2.3.1 Parámetros para la comunicación del Indicador de temperatura TTI – 2.....	57
Tabla 5.2.2.4.1 Parámetros para la comunicación del baño de calibración 6020.....	59
Tabla 5.2.2.5.1 Parámetros para la comunicación del baño de calibración AYRIES Fluidized 875.....	61
Tabla 5.2.2.6.1 Parámetros para la comunicación del Datalogger SK – LTH200.	63
Tabla 5.2.2.7.1 Parámetros para la comunicación del controlador 2100.....	65
Tabla 5.3.1 Valores en hexadecimal de los canales disponibles para las tarjetas 9XCite, y su respectivo valor de frecuencia en MHz.	69
Tabla 5.3.2 Descripción del canal asignado a cada uno de los equipos de medición del laboratorio, con su respectivo valor de frecuencia.	70
Tabla 5.4.1.1 Descripción de los códigos de error para el sistema	78
Tabla A.3.1 Cronograma de Actividades	107
Tabla A.4.1 Tabla con los datos adquiridos en la prueba realizada bajo condiciones normales del laboratorio (20 °C) para el indicador digital Black Stack.....	110
Tabla A.4.2 Tabla con los datos adquiridos en la prueba realizada bajo condiciones normales del laboratorio (20 °C) para el termómetro digital 1502A Thermometer	113
Tabla A.4.3 Tabla con los datos adquiridos en la prueba realizada bajo condiciones normales del laboratorio (20 °C) para el indicador digital TTI – 2	116
Tabla A.4.4 Tabla con los datos adquiridos en la prueba realizada bajo condiciones normales del laboratorio (20 °C) para el controlador de temperatura (Temperatura Controller 2100).....	119
Tabla A.4.5 Tabla con los datos adquiridos en la prueba realizada bajo condiciones normales del laboratorio (20 °C) para el Datalogger SK – L200TH.....	122

Capítulo 1: Introducción

1.1 Problema existente e importancia de su solución

El Laboratorio de Metrología Empresarial de RECOPE (ubicado en el plantel de El Alto, Ochoмого, Cartago), forma parte del Departamento de Control de la Calidad, y su función primordial es realizar la calibración de los diferentes equipos que son utilizados en todas las áreas de producción de RECOPE, o de cualquier otra empresa o institución que contrate sus servicios.

En su afán por asegurar a sus clientes la calidad del servicio brindado, así como obtener prestigio no solo a nivel nacional, sino que también a nivel internacional, RECOPE se encuentra trabajando en el plan de acreditación del ISO 17025, la cual es la norma creada por el ISO (International Standard Organizations) que regula los requerimientos generales para la competencia de laboratorios de prueba y calibración. Ésta acreditación es un reconocimiento formal, que permite a RECOPE determinar su competencia para realizar determinados tipos de ensayos, mediciones y calibraciones; y por tanto brinda a los clientes un medio para acceder a servicios de calibración y ensayos confiables.

Actualmente el Laboratorio de Metrología Empresarial de RECOPE realiza las labores de calibración de equipos de una forma manual, de manera que la persona encargada de supervisar la prueba, adquiere periódicamente los datos y al finalizar la misma procede a tabular éstos, para que luego mediante algún software que permita el análisis estadístico se procesen los resultados y a partir de ésta información se obtengan los indicadores necesarios para tener el mejor criterio en lo que se refiere a la calibración que se le debe realizar al equipo en prueba.

Como se puede ver, es necesario la implementación de un sistema que permita la automatización del proceso de adquisición de datos desde los dispositivos que se utilizan para desarrollar las pruebas de calibración de equipo, ya que por ahora la manera como se lleva a cabo dicha adquisición es ineficiente y poco

práctica, debido a la gran cantidad de tiempo que se pierde en el monitoreo, tabulación e interpretación de la información suministrada durante las pruebas.

Además es importante tomar en cuenta que al existir la intervención directa del factor humano en la captura de datos durante las pruebas, existe la posibilidad de que se presenten errores por parte de la persona que se encuentra realizando la prueba, lo que afectaría directamente la calibración del equipo.

Por lo tanto el problema con el que cuenta el Laboratorio de Metrología Empresarial de RECOPE, reside en la necesidad de llevar a cabo una modernización en la adquisición de los datos que se realiza durante la elaboración de pruebas de calibración de equipos, con el objetivo de contar con las mejores condiciones y tecnología en su laboratorio, que permita la optimización del proceso realizado y además asegure la eliminación de fuentes de error humanas en la adquisición de los datos durante las pruebas, garantizando de ésta manera la confiabilidad y calidad del trabajo realizado, así como de todos los subprocesos que se derivan de éste.

Lo anterior permitirá cumplir con los requerimientos y exigencias que se estipulan por parte de la ISO, para la acreditación de la norma ISO 17025, mejorando notoriamente la competencia de RECOPE en la industria tanto local, como exterior.

1.2 Solución seleccionada

1.2.1 Requerimientos

- Se debe de implementar un sistema de comunicación que permita la transmisión de datos entre los dispositivos utilizados para la calibración del equipo en el laboratorio con una estación central de trabajo.
- El sistema de comunicación a desarrollar debe de ser portátil, para permitir el transporte del mismo con el fin de garantizar su funcionamiento en actividades de calibración fuera del plantel de El Alto (Ochomogo, Cartago).
- El sistema debe de estar en capacidad de llevar a cabo un monitoreo en tiempo real de las pruebas que se están realizando en los diferentes equipos por parte de la estación central.
- Se debe implementar un programa en un lenguaje de alto nivel, que permita a los encargados de las pruebas en el laboratorio, adquirir o programar datos a los diferentes dispositivos.
- La aplicación desarrollada para la interfaz con el usuario deberá permitir el despliegue de la información (como por ejemplo, tablas y gráficos) de los datos que se están capturando en las diferentes pruebas realizadas.
- La adquisición de los datos en los diferentes equipos que se encuentran conectados al sistema de comunicación, deberá de realizarse en intervalos de un minuto entre cada una de las capturas de los datos.
- Se debe de realizar una documentación detallada de los diferentes protocolos utilizados para la comunicación entre la estación central de trabajo y los equipos de medición, con el fin de permitir el mantenimiento del sistema.

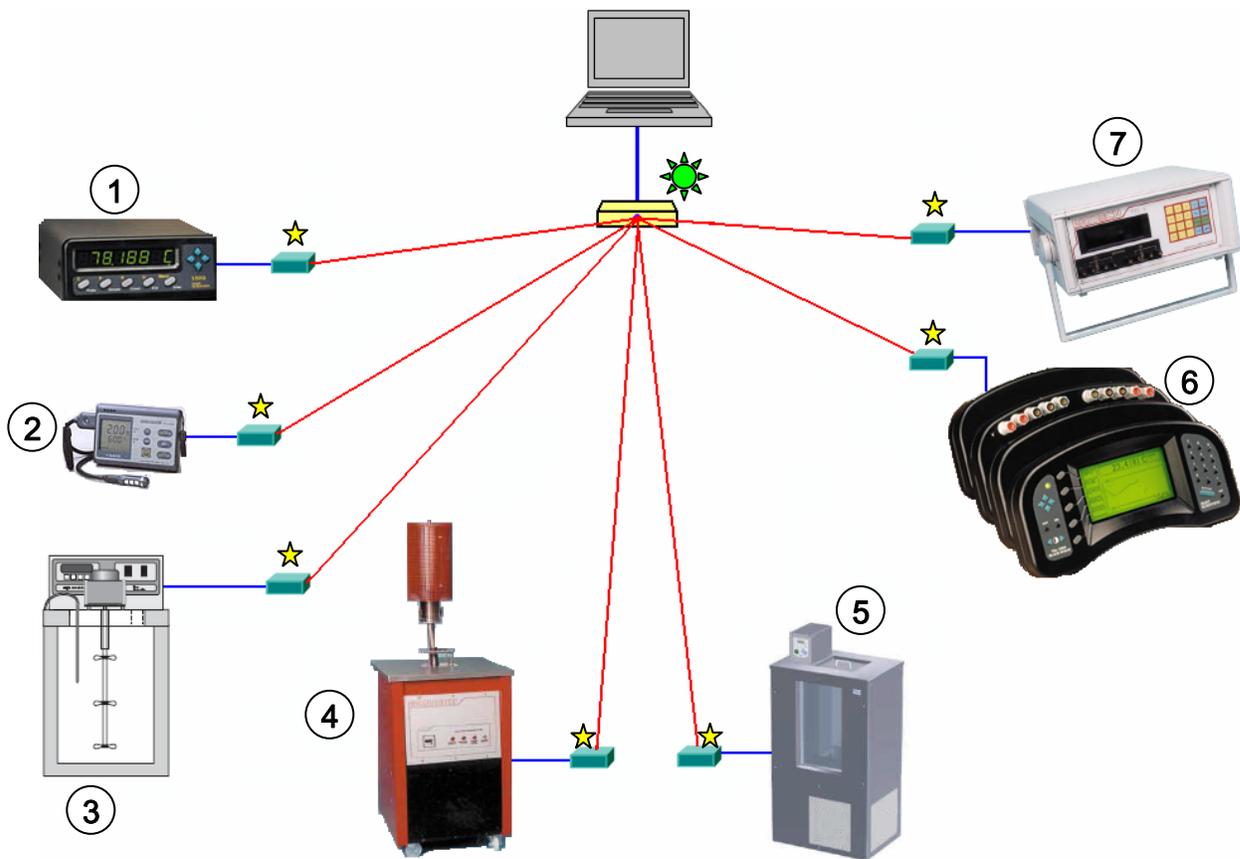
1.2.2 Solución Propuesta

Como se detalló en la definición del problema, es necesario implementar un sistema capaz de monitorear y controlar los equipos con que cuenta el laboratorio de Metrología Empresarial para la calibración de equipos. Los equipos que deben de ser conectados en el sistema son los siguientes:

- 1) Termómetro Digital 1560 Black Stack.
- 2) Termómetro Digital 1502A Tweener.
- 3) Baño para Calibración, AYIRIES Fluidized, modelo 875.
- 4) Baño para Calibración 6020.
- 5) Indicador de Temperatura TTI 2.
- 6) Viscometer Bath, TV7000.
- 7) Datalogger SK – L200TH.

A estos equipos se les deberá crear una interfaz que les permita llevar a cabo la comunicación con una estación central de trabajo, que está compuesta por una computadora; de forma tal que se puedan adquirir los datos de las pruebas que se estén realizando en el laboratorio, para luego almacenarlas en una base de datos y lograr el despliegue respectivo de los datos en un programa elaborado para la presentación de los mismos.

Otra característica importante que se debe de tomar en cuenta dentro del sistema de comunicación que se pretende diseñar, es la implementación de funciones que permitan al operador a cargo de las pruebas en el laboratorio, realizar configuraciones a los equipos, así como controlar el funcionamiento de los mismos (todo desde la estación central de trabajo), con el fin de permitir una versatilidad al sistema que le dé la capacidad de optimizar el trabajo realizado en el laboratorio.



- Conexiones inalámbricas
- Conexiones Puerto RS232
- ★ Módulos de interfaz y comunicación entre los equipos y el módulo central.
- ★ Módulo central para la comunicación e interfase entre los dispositivos y la estación central de trabajo.

EQUIPOS

- | | |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| ① Termómetro Digital 1502A Tweener. | ② Datalogger SK – L200TH. |
| ③ Baño para calibración 6020. | ④ Baño para Calibración, AYIRIES. |
| ⑤ Viscometer Bath, TV7000. | ⑥ Termómetro Digital 1560. |
| ⑦ Indicador de Temperatura TTI 2. | |

Figura 1.2.2.1 Diagrama general del sistema a implementar para la automatización del Laboratorio de Metrología Empresarial, RECOPE, Plantel El Alto.

En la figura anterior se presenta un diagrama general del sistema que se pretende implementar. Como se puede observar para cada dispositivo se cuenta con un módulo denominado “módulos de interfaz y comunicación entre los equipos y el módulo central” (de ahora en adelante en el documento cuando se haga referencia a estos módulos, se les llamará módulos periféricos).

Éstos módulos se encargan de realizar la conexión entre cada uno de los equipos con la red de comunicación diseñada, de manera tal que sea posible la adquisición de datos y envío de instrucciones por parte del módulo principal, denominado “módulo central para la comunicación e interfase entre los dispositivos y la estación central de trabajo” (de ahora en adelante en el documento cuando se haga referencia a éste módulo, se les llamará módulo central).

En la Figura 1.2.2.2 se presenta el diagrama de bloques de primer nivel del sistema de comunicación a diseñar, como se observa en dicho diagrama las conexiones entre los dispositivos y los módulos periféricos se realiza mediante protocolo RS – 232. De igual manera sucede con el módulo central y la estación central de trabajo, que se comunican mediante puerto serie.

El módulo central es la parte que se encargará de monitorear y controlar todo el sistema; en dicho módulo se encuentra implementado el protocolo de comunicación que se pretende establecer para permitir la comunicación entre éste y cada módulo periférico, la comunicación entre el módulo central y los módulos periféricos se hará uno a uno, o sea, solo se encontrará comunicándose a la vez el módulo central y un módulo periférico, esto con el fin de evitar la interferencia en la transmisión de datos y facilitar el diseño en la comunicación.

También se puede apreciar en Figura 1.2.2.3 la conexión que se realiza entre la estación central de trabajo y el módulo central, en donde la estación central de trabajo estará conformada por una computadora, que fungirá la función de servidor del sistema.

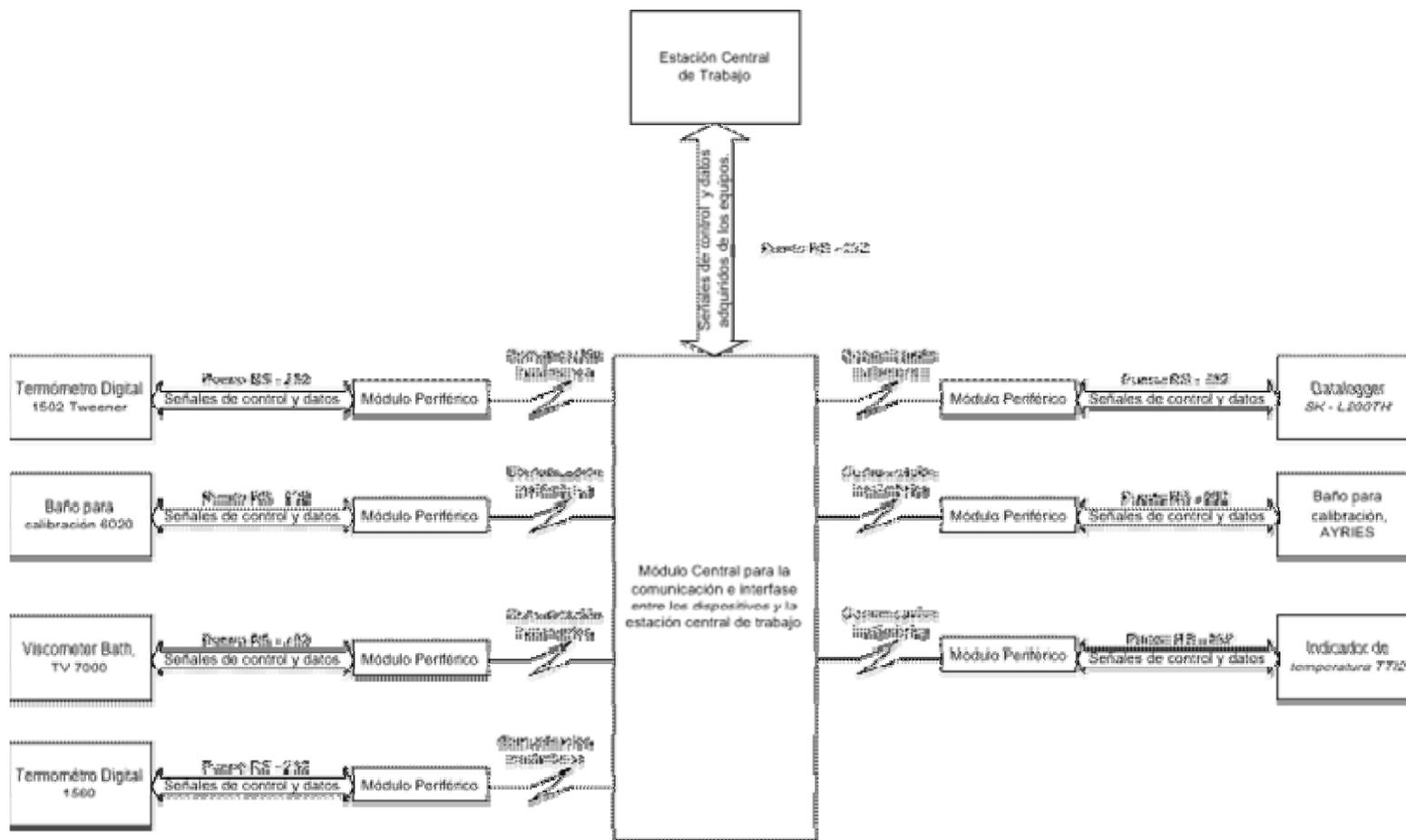


Figura 1.2.2.2 Diagrama de bloques de primer nivel.

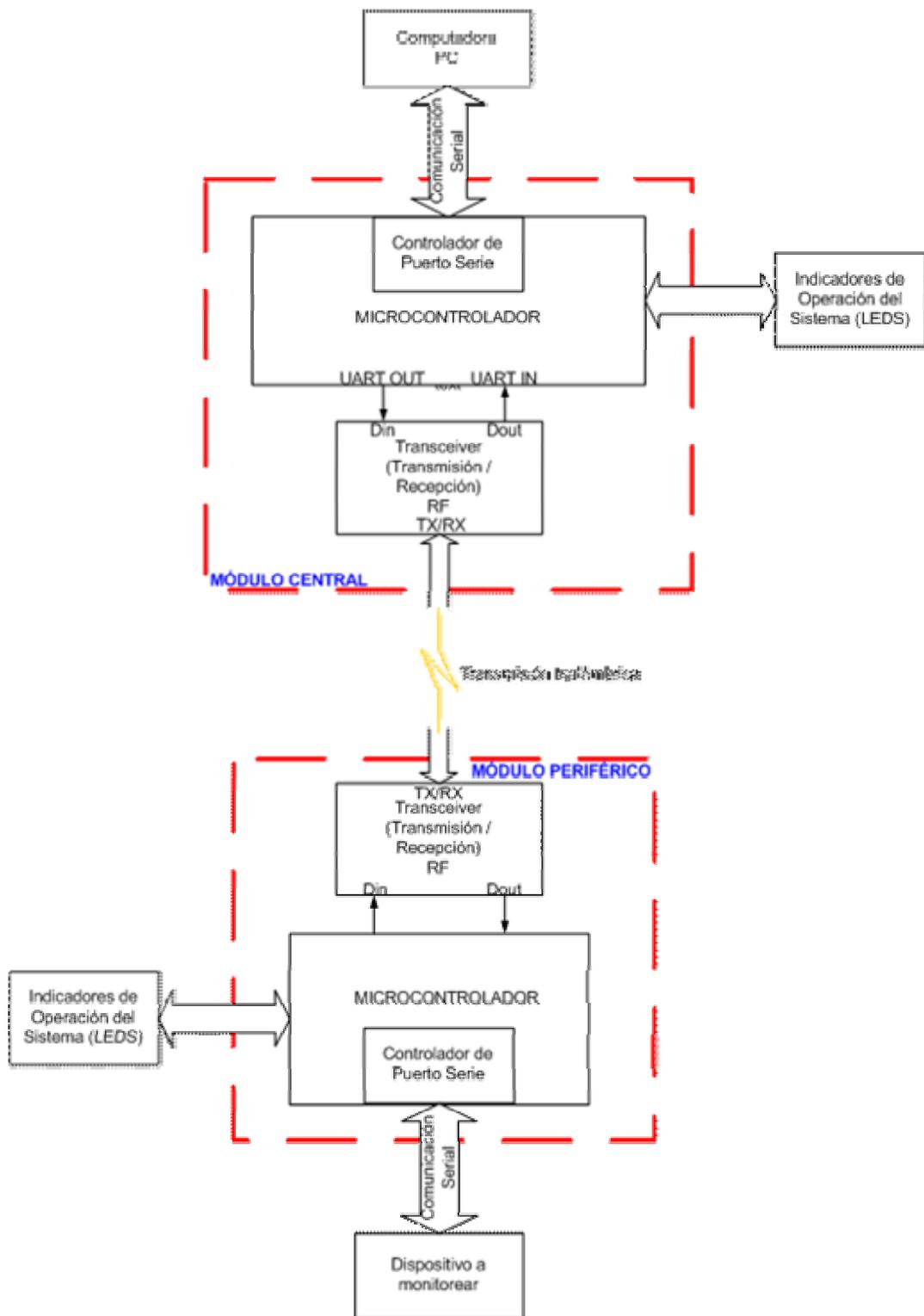


Figura 1.2.2.3 Diagrama de bloques de segundo nivel (comunicación uno a uno, módulo central – módulo periférico).

Con el fin de facilitar la visualización del diagrama de bloques de segundo nivel, en la Figura 1.2.2.3 se presenta solamente la conexión punto a punto, entre el módulo central y uno de los módulos periféricos.

Como se puede apreciar en dicha figura, tanto el módulo central como el módulo periférico cuenta con un transceiver, para el envío y recepción de la información. La frecuencia de operación de los transceiver que se piensan utilizar en la construcción de los módulos es de 900 MHz, dicha frecuencia se ha seleccionado debido a que los equipos de medición no se encuentran en un mismo cuarto, por lo que en algunos casos es necesario que las señales sobrepasen paredes para llegar hasta la estación central de trabajo, por lo tanto se requiere del uso de frecuencias que no presentan problemas en este tipo de operaciones. Además otra ventaja que presenta al trabajar con esta frecuencia (900 MHz), es que los analizadores que se tienen para poder realizar pruebas y observar el comportamiento del sistema durante su implementación, tienen la suficiente capacidad para sensar éste tipo de señales, labor que sería imposible realizar si se trabajará con frecuencias más altas, lo que traería inconvenientes en la depuración del proyecto.

También en lo que concierne a la modulación empleada en el tratamiento de la señal, se debe de acotar que los transceivers propuestos para la solución del problema, traen la característica de contar con un modulador FM, por lo que no se tiene ningún problema en este aspecto para la comunicación entre los equipos.

Por otra parte en lo que se refiere a la solución del protocolo de comunicación que se diseñará para permitir el correcto funcionamiento del sistema, se tiene que la comunicación será half duplex (en un solo sentido a la vez) y de punto a punto, por lo que se ha planeado realizar un muestreo de cada uno de los equipos, mediante un barrido de éstos.

Por lo tanto solamente se tendrá en funcionamiento el transceiver del módulo periférico que está comunicándose con el módulo central, esto con el fin de evitar la posibilidad de introducción de señales en el ambiente que interfieran en la correcta comunicación.

Incluido a la comunicación half duplex, se tiene que los módulos con que se pretende diseñar el proyecto, cuentan con la capacidad de trabajar en 25 canales de frecuencia, de modo que cada uno de los equipos contará con una banda de frecuencia propia, y con un algoritmo previamente programado en la aplicación diseñada para el sistema, se enviarán las señales necesarias al modulo central para que permita realizar el salto de frecuencia en éste módulo y se de la comunicación con el equipo correspondiente; eliminando la posibilidad de choque o interrupción en la comunicación.

Otra característica importante de mencionar del protocolo de comunicación, es que se ha decidido que los datos que se transmitan, tengan la siguiente trama:



Figura 1.2.2.4 Trama para los datos

Como se muestra en la figura anterior no se tiene planeado insertar un chequeo de datos, para validar la comunicación; debido a que los módulos de comunicación con que se pretenden trabajar realizan un chequeo que corroboran que ambos módulos se encuentren trabajando en la misma banda de frecuencia.

Los datos que se señalan en la trama de datos, se refieren ya sea la palabra de control que se desea enviar al equipo o los datos que se han adquirido de éste. Por último se tiene el byte de fin de transmisión, que se encarga de avisar al módulo que ya ha concluido la transmisión, éste byte será un carácter ASCII que se escogerá luego de realizar el estudio correspondiente de los manuales de los equipos y sus respectivos protocolos, el byte de fin de transmisión puede variar según las características de los equipos.

Es importante dejar claro que pese a que los módulos periféricos tienen una gran similitud en su diseño de hardware, se cuenta con la diferencia que en la parte de control o software existen grandes diferencias, debido a que los protocolos de comunicación con los que cuentan cada dispositivo son diferentes, por lo tanto el empleo de los algoritmos para la adquisición, decodificación y manipulación de los datos es diferente en todos los casos.

Por último, para la interfaz de comunicación del sistema con el usuario, se tiene proyectado realizar una aplicación que cumpla con los requerimientos necesarios, permitiendo al operador del laboratorio o cualquier usuario autorizado del sistema, configurar las pruebas, así como obtener de forma visual los resultados de las pruebas en gráficos y tablas, los cuales deben de contar con la opción de poder almacenarse para futuras revisiones de éstas.

1.2.3 Descripción técnica de los componentes más relevantes utilizados en la implementación del proyecto.

Uno de los principales problemas con los que se contó para la elaboración del proyecto, fue la variedad de los protocolos de comunicación que utilizaba cada equipo, esto hizo que la implementación de los módulos periféricos tuviera variaciones desde la configuración de los parámetros de comunicación, hasta en un caso fue necesario la utilización de un microcontrolador para interfazar el equipo de medición y el módulo de comunicación.

En esta sección se describirán los componentes utilizados para poder crear tanto el módulo central, como los módulos periféricos, no se entrará en detalles del diseño, ya que esto se tratará en otro apartado.

Debido a que una de las especificaciones del sistema era que éste fuera lo más flexible para poder transportarse y realizar calibraciones si fuese necesario fuera del plantel, es que se decidió realizar un enlace inalámbrico entre los módulos

periféricos y el módulo central; para esto se procedió a buscar un módulo transceiver, que permita recibir y enviar señales; debido a la gran gama de productos que se encuentran, es que fue posible adquirir un módulo de control que cuenta con la opción de configurar y programar diferentes características para la comunicación.

Otro factor importante en la selección del módulo de comunicación, es la potencia de salida, ya que es necesario realizar enlaces relativamente largos; además se tomó en cuenta la frecuencia de operación de los módulos, con el afán de garantizar una comunicación sin problemas por obstáculos, como las paredes presentes en el laboratorio que separan los diferentes cubículos de medición.

El último criterio de escogencia que fue tomado para la selección del módulo de comunicación, fue la flexibilidad con que contaba éste para la implementación de algún algoritmo de comunicación par – par, entre la unidad central y un dispositivo periférico a la vez, con el fin de evitar la interferencia e ingreso de señales que no pertenezcan al sistema.

Basado en las características básicas descritas anteriormente, es que se tomó la decisión de trabajar con el módulo 9XCite OEM RF, en el anexo B.8 se muestra la hoja técnica de datos de dicho dispositivo, el cual es un transceiver para comunicación inalámbrica programable, de la compañía MaxStream.

Éste módulo además de contar con las características necesarias, presenta la posibilidad de programar muchos de sus parámetros, lo que le da una flexibilidad en la comunicación con equipos. Pero una característica especial que sirvió de mucho en el desarrollo del proyecto, fue la posibilidad que presentan estos módulos de trabajar en 25 bandas de frecuencia diferente que van desde los 902 MHz hasta los 928 MHz con separación entre cada canal de 0.3 MHz (está función será discutida más detalladamente en la sección de la descripción detallada de la solución, capítulo 5).

En la siguiente tabla se presentan las características más relevantes del 9XCite OEM RF:

Tabla 1.2.3.1 Características generales del módulo de comunicación inalámbrica 9XCite OEM RF.

Característica		Dimensión
Alcance de la señal	Con obstáculos (dentro de edificios)	90 m
	Sin obstáculos (con línea de vista)	300 m
Requerimientos para funcionamiento	Corriente de transmisión	55 mA
	Corriente de recepción	35 mA
	Estado de Reposo	> 20 uA
Potencia	Potencia de Transmisión	4 mW (6 dBm)
Transmisión de Datos	Data Rate	1200 – 57600 bps
	Paridad	Programable
	Cantidad de Datos	Programable
	Bits de Parada	Programable
Conexión y comunicación	Frecuencia de Operación	902 – 928 MHz
	Canales de comunicación (Programables)	7 canales de frecuencia (Mode Hopping)
		25 canales de frecuencia independientes (Single Channel Mode)
	Interfaz de comunicación	RS – 232, RS – 485

En la siguiente figura se muestra un diagrama de bloques del funcionamiento del 9XCite OEM RF.

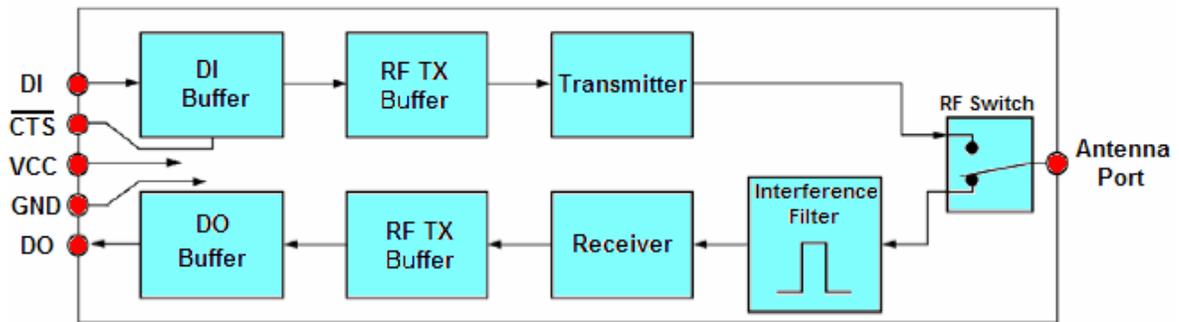


Figura 1.2.3.1 Diagrama de bloques del módulo 9XCite OEM RF.

Debido a que para poder realizar la configuración de los módulos de comunicación era necesario contar con un kit de desarrollo que permitiera realizar esta tarea, fue necesario adquirir éste. El kit de desarrollo cuenta con dos módulos que traen integrados el puerto serie, la alimentación y todo el hardware necesario para que se comuniquen de manera directa con el puerto serie tanto de la computadora que se encuentra en la estación central de trabajo, o con los equipos. En la siguiente figura se muestra una imagen de kit de desarrollo adquirido.



Figura 1.2.3.2 Kit de desarrollo para programación de los módulos 9XCite OEM RF.

Pero como era necesario conectar 7 equipos y una computadora, faltaban 6 módulos de comunicación más, debido al precio de los kit de desarrollo fue que se tomo la decisión de adquirir nada más la tarjeta de comunicación de estos, dejando la implementación de la interfaz de comunicación como parte del trabajo. La Figura 1.2.3.3 muestra la tarjeta de comunicación adquirida.



Figura 1.2.3.3 Tarjeta de comunicación 9XCite OEM RF

Los detalles de la interfaz y programación de éstas tarjetas y el kit de desarrollo se discutirán en el capítulo 5.

Por otra parte, como se verá en la descripción detallada de la solución, fue necesario para uno de los equipos de medición utilizar un microcontrolador, debido a problemas de sincronía en lo que se refiere a la velocidad de transmisión de datos, entre el módulo central y el controlador conectado al Viscometer Bath, TV7000 (las especificaciones técnicas de éste diseño se detallaran en la sección de la solución implementada).

Debido a la situación anterior fue necesario seleccionar un microcontrolador, dentro de las características particulares que debía reunir el dispositivo, la que fue utilizada como principal criterio de escogencia, es la capacidad que debía de tener el microcontrolador de manejar dos interfases de puerto serie, en donde pudiera programarse diferentes velocidad de transmisión de datos; razón por la cual se decidió utilizar el PIC16F877A (ver hoja de datos técnica en el anexo B.9), de la familia de microcontroladores Microchip. Otra característica importante es el manejo de interrupciones, tanto para la interfaces serial como el manejo de interrupción externa.

Éste dispositivo tiene una USART (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) integrada, y cuenta con la opción de programarle por medio de software dos interfases de puerto serie más. Además es un dispositivo bastante barato, lo cual es importante, ya que se busca que el diseño sea lo más económico posible.

En la tabla que se presenta a continuación se resumen las características principales que fueron tomadas en cuenta para la escogencia del PIC16F877A:

Tabla 1.2.3.2 Características generales del microcontrolador PIC16F877A.

Característica	Dimensión
Frecuencia de Operación	20 MHz
Memoria de Programa (Flash)	8 Kbytes
Memoria de Datos	368 bytes
Interrupciones	Permite manejo de 15 tipos diferentes, entre los que cuenta manejo de interrupción de puerto serie y manejo de interrupción externa.
Comunicación Serial	MSPP, USART

Capítulo 2: Meta y Objetivos

2.1 Meta

- Obtener una mayor eficiencia y calidad en las pruebas realizadas para la calibración de equipo del Laboratorio de Metrología Empresarial de RECOPE, que permita disminuir los tiempos de duración de éstas y además evite la posibilidad de introducción de errores en la ejecución de las pruebas, garantizando la fidelidad de los resultados que se obtienen y de ésta forma cumpliendo con las exigencias establecidas por la norma ISO 17025.

2.2 Objetivo general

- Diseñar y construir un sistema capaz de realizar el control, monitoreo y adquisición de datos de las pruebas realizadas en el procedimiento de calibración de equipo del Laboratorio de Metrología Empresarial de la Refinadora Costarricense de Petróleo (RECOPE).

2.3 Objetivos específicos

A.1.1 a. Objetivos de hardware

- Estudiar y analizar los equipos a utilizar, para obtener las características de sus interfaces y protocolos de comunicación.
- Diseñar y construir un circuito para cada uno de los equipos utilizados en las pruebas de calibración, que realice la interfaz para la adquisición de datos y envío de señales de control, mediante el puerto serie (RS – 232).
- Diseñar y construir una unidad de control, encargada de controlar la comunicación entre los dispositivos remotos (equipos del laboratorio) y la estación de trabajo (servidor).

A.1.2 b. Objetivos de software

- Diseñar e implementar un protocolo de comunicación, para llevar a cabo la transferencia de información entre los equipos remotos y la estación central de trabajo.
- Diseñar e implementar una rutina para la captura de datos provenientes de los equipos del laboratorio.
- Diseñar e implementar un controlador de puerto serie capaz de transmitir los valores de las variables que se obtienen en los diferentes equipos durante las pruebas de calibración.
- Diseñar e implementar las rutinas que permitan a la unidad de control gobernar y monitorear desde la estación central de trabajo (servidor) los dispositivos remotos conectados (equipos de laboratorio).
- Diseñar e implementar una rutina en un lenguaje de programación de alto nivel, capaz de controlar y solicitar el estado, y los datos de los diferentes equipos durante la ejecución de pruebas para calibración, vía puerto serie, además de capturarlos para luego almacenarlos en una base de datos contenida en el servidor para su posterior interpretación.
- Diseñar e implementar una aplicación en un lenguaje de programación de alto nivel, que muestre el comportamiento de las diferentes variables obtenidas de las pruebas de calibración (anteriormente almacenadas en una base de datos), con respecto al tiempo de duración de la prueba.

A.1.3 c. Objetivos de documentación

- Elaborar una tesis para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería Electrónica en donde se consideren todos los aspectos relacionados con la elaboración del proyecto.

- Elaborar un documento para RECOPE en el que se presente una descripción detallada de todos los pasos realizados en el diseño, elaboración y ejecución del proyecto, así como un resumen de los resultados experimentales obtenidos.
- Redactar un documento (manual de usuario) que contenga las especificaciones técnicas del funcionamiento, modo de operación del sistema de comunicación desarrollado, funciones que el usuario tiene a su disposición para el control y monitoreo de las pruebas, así como los diferentes procedimientos necesarios para el mantenimiento del sistema.

A.1.4 d. Objetivos de implementación

- Realizar las pruebas necesarias para verificar el correcto funcionamiento del sistema, una vez implementado.
- Elaborar un mapa con el diseño de la tarjeta impresa que se creará para el circuito que interfasa el equipo de calibración con el sistema de comunicación implementado, con el fin de prever posible expansión del laboratorio y por tanto darle escalabilidad al sistema desarrollado.

Capítulo 3: Marco teórico

3.1 Descripción del sistema o proceso a mejorar

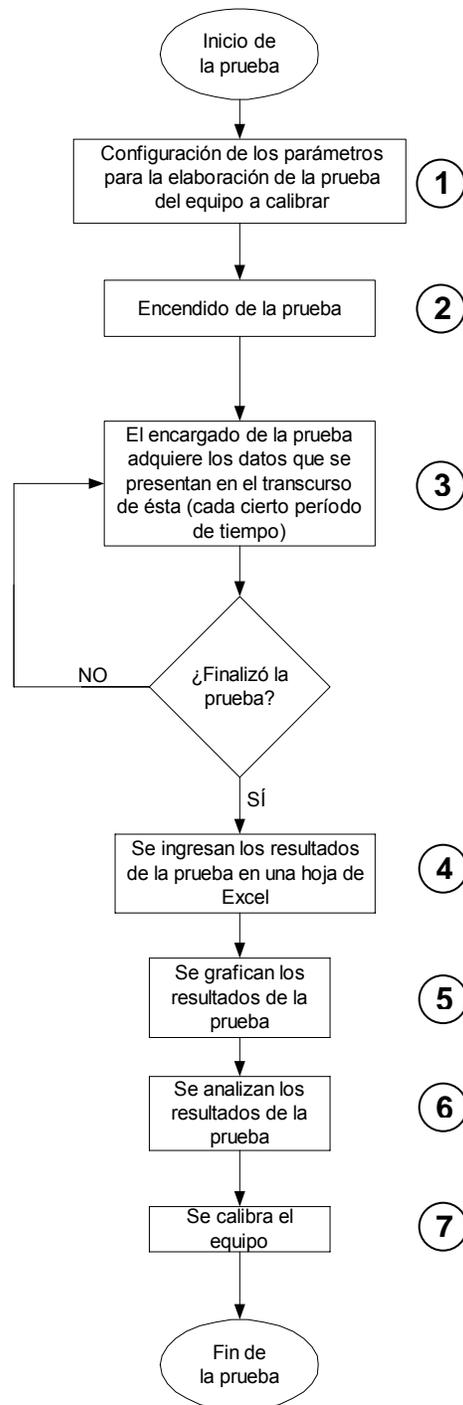


Figura 3.1.1 Secuencia del proceso realizado para la calibración de equipo.

En la figura anterior se muestra el diagrama que describe el proceso que se realiza para la calibración del equipo.

El proceso inicia con la configuración de los parámetros de la prueba, esto se realiza desde los equipos con que se cuenta en el laboratorio para el desarrollo de las pruebas. En ésta parte del proceso el encargado de la prueba determina la duración de la misma, además de realizar la configuración de otros parámetros que son necesarios para la calibración del equipo.

Luego de que se han determinado todas las características de la prueba que se pretende realizar, el analista de laboratorio inicia ésta; a partir de éste instante él define un tiempo para realizar la recolección de los datos, de manera tal que durante todo el transcurso de la prueba, procede a ir al equipo, leer el dato que se está presentado en ese instante y anotarlo en una tabla, esto se hace todas las veces que sea necesario hasta la culminación de la prueba.

Cuando se termina el tiempo de la prueba, el encargado procede a tabular los datos con ayuda del programa EXCEL, para que cuando se ha creado la tabla con todos ellos, se puedan realizar gráficos y cualquier otra interpretación de los datos que sea necesaria. A partir de los resultados que se obtengan de la presentación de la información realizada, el analista de laboratorio determina las condiciones o parámetros que son necesarios para llevar a cabo la configuración del equipo.

Éste proceso puede aplicarse a una o varias pruebas a la vez, lo que ocasiona en algunos casos confusiones o posibles errores en la adquisición de la información. Además como se puede ver dicho proceso se encuentra vulnerable a cualquier error, ya sea por motivo de una mala lectura de los datos o que por algún motivo exista una distracción y la adquisición de los datos no se realiza en el momento que deba de ser introduciendo problemas en el procedimiento de la prueba y por lo tanto posiblemente los resultados no sean los más confiables.

El sistema que se pretende diseñar, busca realizar una automatización de todo el proceso que se ha presentado en el diagrama anterior, de manera tal que el

analista de laboratorio no deba de preocuparse por estar llevando a cabo la lectura de los datos, sino más bien luego de que se lleva a cabo la configuración de los parámetros por parte de éste (proceso que podrá ejecutarse desde la computadora sin necesidad de desplazarse hasta la estación donde se encuentra el equipo) solo deba de preocuparse por estar controlando el estado del sistema y que la prueba se esté llevando a cabo sin inconvenientes. Durante el transcurso de la prueba el sistema estará adquiriendo los datos, irá desplegando en la pantalla del computador del encargado de la prueba los valores que adquiere y guardará los mismos en una base de datos, para que al final el analista pueda manipularlos con opciones que se incluirán en la interfaz que se desarrollará para el manejo del sistema.

Si se hace referencia a la Figura 3.1.1, se puede decir que el sistema que se está proponiendo desarrollar, suprimiría las labores numeradas con 1, 2, 3, 4, 5 permitiendo de esta manera una optimización del proceso en lo que concierne al tiempo que toma al encargado de las pruebas realizar estos pasos, así como asegurar la eliminación de posibles errores en alguna de éstas etapas.

3.2 Antecedentes Bibliográficos

Metrología

La Metrología es simplemente la ciencia y arte de medir correcto. Como las mediciones son importantes en prácticamente todos los procesos productivos, su relevancia para la calidad es evidente.

Medir de manera correcta no es sólo medir con cuidado, o utilizando el procedimiento y los instrumentos adecuados. Además de lo anterior, se trata de que las unidades de medida sean equivalentes, es decir, que exista un estándar que permita corroborar que lo que se mide en cualquier parte del mundo es igual.

Esto se asegura cuando cada país tiene una infraestructura metrológica, compatible y ligada con las infraestructuras metrológicas de otros países, consistente en la disponibilidad de laboratorios donde se pueda calibrar los instrumentos de medición. La compatibilidad entre países se asegura mediante intercomparaciones periódicas, en las cuales un determinado patrón de medida es medido sucesivamente por los diferentes laboratorios.

<http://www.dictuc.cl/metrologia/quees.html>

Beneficios de la metrología

- Promueve el desarrollo de un sistema armonizado de medidas, análisis y ensayos exactos, necesarios para que la industria sea competitiva.
- Facilita a la industria las herramientas de medida necesarias para la investigación y desarrollo de campos determinados y para definir y controlar mejor la calidad de los productos.
- Perfecciona los métodos y medios de medición.
- Facilita el intercambio de información científica y técnica.

- Posibilita una mayor normalización internacional de productos en general, maquinaria, equipos de medición y medios de medición.

(<http://www.indecopi.gob.pe/nuestrosservicios/metrologiaycalibracion/anexo.asp>)

Calibración

Calibración es el conjunto de operaciones que tiene por objeto determinar el valor de los errores de un patrón, instrumento o equipo de medida, procediendo a su ajuste o expresando aquellos errores mediante tablas o curvas de corrección. Se llama también calibración a ciertos controles indirectos que muestran que el instrumento en cuestión está dentro de las especificaciones.

El resultado de una calibración permite atribuir a las indicaciones, los valores correspondientes del mesurando o bien determinar las correcciones a aplicar en las indicaciones.

Una calibración también puede servir para determinar otras propiedades metrológicas, tales como los efectos de las magnitudes de influencia.

(<http://www.indecopi.gob.pe/nuestrosservicios/metrologiaycalibracion/anexo.asp>)

Proveedores

A continuación, se presenta la referencia bibliográfica de la búsqueda realizada para el conocimiento de proveedores y las tecnologías que puedan ser útiles en el desarrollo del proyecto.

La compañía MaxStream, cuenta con una gama completa de tecnología inalámbrica en donde se pueden encontrar módulos transceivers, los cuales cumplen con las características necesarias para poder utilizarlos en la transferencia de información en el sistema.

(<http://www.maxstream.net>)

Por su parte en lo que concierne a los microcontroladores que pueden utilizarse para la elaboración del sistema, se tiene que la compañía Microchip, cuenta con una cantidad importante de microcontroladores, dentro de los cuales se pueden encontrar varios que cumplan con las características necesarias para el desarrollo del sistema en la parte de control de variables y lógica de la comunicación.

(<http://www.microchip.com>)

Otros

En la página que se señala más abajo, se puede encontrar información acerca de un proyecto desarrollado por dos estudiantes de *San José State University* de los Estados Unidos, denominado “**Telemetry Acquisition Component**”, en donde desde una PC controlan los movimientos de un helicóptero; para la parte de comunicación entre el sistema de control y el helicóptero los estudiantes utilizaron los transceivers de la compañía MaxStream, de modo que es interesante estudiar su diseño y la manera de cómo realizaron el sistema de comunicación.

(http://www.engr.sjsu.edu/electrical/student_projects/Presentations%20pc%2012-03-04/HeliTAC%20RC%20Helicopter%20Telemetry%20Acquisition%20Component.ppt)

3.3 Descripción de los principales principios físicos y/o electrónicos relacionados con la solución del problema

El sistema a desarrollar tiene integrado en su desarrollo aspectos electrónicos que abarcan el área de la teoría de sistemas digitales y estructuras de microcontroladores, en donde se debe de aplicar conceptos de las características eléctricas y lógicas de los microcontroladores a utilizar, así como de los procesos de adquisición de datos y protocolos de comunicación. También se tiene en el proyecto los principios concernientes a la parte de comunicaciones eléctricas en donde se introducen aspectos de la modulación y transmisión de señales.

En lo que concierne a la parte computacional, debe de decirse que es importante realizar el estudio de bases de datos, para poder llevar la implementación del archivo que permita mantener la información que se obtiene de las diferentes pruebas almacenadas en la computadora.

Para la etapa de adquisición e interpretación de los datos durante la ejecución de las pruebas, se deben de contemplar aspectos importantes relacionados a la física en lo que concierne a los diferentes métodos para la calibración de los equipos, además de principios matemáticos (principalmente en el área del cálculo, álgebra y estadística) para lograr entender los parámetros que se obtienen de las diferentes pruebas.

Capítulo 4: Procedimiento metodológico

4.1 Reconocimiento y definición del problema

Para la identificación del problema se decidió seguir la siguiente secuencia de actividades:

- Reunión con el Ing. Esteban Castillo Valverde, asesor del proyecto en RECOPE, con el que se estudió y analizó el problema con el que contaban en el laboratorio, para la obtención y ejecución de las pruebas de calibración de equipo.
- Se visitó el laboratorio y se realizó una entrevista al Ing. Luis Hernández Sánchez, quién es el encargado de la supervisión de pruebas en el laboratorio Metrológico Empresarial, con el fin de conocer el proceso que llevaban a cabo, así como el equipo presente en las instalaciones.
- Se definió el marco del problema, con el objetivo de limitar los procesos y actividades vinculadas en el mismo.
- Se realizó el estudio de los manuales de los equipos que conforman el sistema, con el fin de poder ampliar el criterio en torno a los posibles alcances y limitaciones que se tendrían en el desarrollo del proyecto.

4.2 Obtención y análisis de información

- Entrevistas con el Ing. Luis Hernández Sánchez, para estudiar y analizar el proceso como se llevan a cabo las pruebas. Además se estudió con él, las operaciones de los equipos y las configuraciones necesarias para cada una de las pruebas.
- Entrevistas con el Ing. Esteban Castillo Valverde, asesor del proyecto en RECOPE, para conocer el equipo y materiales con los que contaba RECOPE para el desarrollo del proyecto.
- Lectura y análisis de los manuales que se tienen para los equipos del laboratorio.

- Solicitud mediante Internet a los fabricantes o proveedores de los equipos del laboratorio que se deseaban interconectar al sistema, con respecto a información necesaria sobre los protocolos de comunicación que manejan cada uno de los dispositivos.
- Obtención de características de microcontroladores y módulos para la transmisión y recepción (transceiver) a partir de los requerimientos establecidos para el proyecto.
- Estudio de los sistemas de automatización implementados en otras empresas para el monitoreo de equipos, con el fin de comparar costos y equipos utilizados.
- Se buscó y contacto a posibles proveedores para la compra de los materiales que eran necesarios adquirir fuera de nuestro país.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de una solución

Con el fin de determinar una solución adecuada al problema planteado, se siguieron los siguientes pasos para la evaluación de ésta:

- Se definió con el Ing. Roberto Coto Rojas, encargado y supervisor del proyecto en RECOPE, los requerimientos que se planteó la empresa en relación a éste proyecto, para definir de una manera razonable la meta y objetivos del trabajo, y así obtener la solución del mismo.
- A partir del estudio de los manuales de los equipos del laboratorio, se determinaron las posibles rutinas para el envío de palabras de control y adquisición de los datos en los mismos.
- Se limitaron y definieron de manera concreta las áreas de la electrónica involucradas en la solución del proyecto.
- Se realizó un presupuesto con todos los recursos que eran necesarios adquirir para la ejecución del proyecto, y de esta forma se determinaron los costos totales del proyecto.

- Se elaboró una planificación de las diferentes etapas del proyecto, de la cual se estimó el total de tiempo necesario para la elaboración del mismo.
- Posteriormente se analizó y estudió con el profesor asesor del proyecto la solución planteada, de esta reunión se terminó de definir el diseño del proyecto.
- Se realizó una presentación a los encargados del proyecto en la empresa para justificar la solución, su debido presupuesto y el tiempo estimado en la realización del mismo.
- Una vez aprobado el diseño tanto en la Escuela de Ingeniería Electrónica del Instituto Tecnológico de Costa Rica, como en RECOPE se emprendió el desarrollo del sistema.

4.4 Implementación de la solución

A continuación se describe la metodología que se realizó para la consecución del proyecto planteado:

- Se diseñaron las rutinas de comunicación para la adquisición de datos desde los diferentes dispositivos que se tienen en el laboratorio para las pruebas de calibración.
- Se realizaron pruebas a las rutinas diseñadas mediante MATLAB e HyperTerminal, que permitieron comprobar el manejo de los protocolos con cada uno de los equipos.
- Luego, se diseñó un sistema de control central que permitió implementar un protocolo de comunicación para el monitoreo de todos los equipos conectados al sistema.
- Posteriormente se diseñaron las microrutinas de programación necesarias para la implementación del protocolo de comunicación que realiza la comunicación entre el controlador del módulo central y los equipos conectados al sistema.
- Además se diseñaron las microrutinas de programación necesarias para el manejo del puerto serie de las dos computadoras, conectadas al módulo central.

- Se diseñaron las microrrutinas de programación necesarias para el manejo del puerto serie, que permite la comunicación entre el módulo periférico y los equipos del laboratorio.
- Implementación de los controladores diseñados para realizar las pruebas del sistema.
- Se probó la comunicación punto a punto, esto sin integrar todo el sistema, o sea se realizaron pruebas de envío y recepción de datos desde el módulo central y cada uno de los módulos periféricos.
- Seguidamente se analizaron los resultados obtenidos en las pruebas y se resolvieron los problemas que pueden presentar cada una de las comunicaciones.
- Para la integración del sistema se recurrió al proceso iterativo, de forma tal que se conectaron al sistema los módulos periféricos y sus equipos de uno en uno, para corregir los errores que se presentaron en las primeras pruebas, esto facilitó la depuración total del sistema.
- Cuando se tenían bien definidos y probados los circuitos, se diseñaron los diagramas de los circuitos impresos (para todos los módulos con los que cuenta el sistema).
- Una vez listos los mapas de circuitos impresos, se subcontrató el servicios de una empresa, la cual realizó la tarea de elaborar los circuitos impresos.
- Para cumplir con el objetivo de poder contar con un sistema de fácil control y configuración, se elaboró un programa de interfaz con el usuario, en donde se pueden configurar las características de las diferentes pruebas, así como obtener y visualizar (mediante tablas y gráficos) los resultados de cada una de las pruebas.
- Mediante el envío de datos por el puerto serie de la computadora, se probó el funcionamiento del programa desarrollado.

- Una vez concluido el desarrollo de todas las partes del sistema, se procedió a realizar la instalación del mismo en el laboratorio e inmediatamente se ejecutaron las pruebas necesarias para verificar su funcionamiento.
- Se realizó una presentación preliminar a los encargados del proyecto en la empresa para determinar posibles modificaciones y a partir de ésta reunión se hizo la última depuración al sistema.
- Finalizado el proyecto, se redactó el informe final con todas las especificaciones del diseño del sistema realizado; además se elaboró un manual de usuario con todas las especificaciones del funcionamiento y operación del sistema implementado.
- Realizar la presentación ante los profesores asesores del proyecto, para la evaluación final de éste.

4.5 Reevaluación y rediseño

La reevaluación y rediseño del proyectado, se llevó a cabo a partir de las diferentes pruebas que se diseñaron.

Debido a esto, es que se había determinado en el punto anterior realizar después de cada prueba una etapa de análisis de los resultados obtenidos, con el fin de determinar si era necesario cambiar aspectos al diseño propuesto.

Además en lo que se refiere a la integración del sistema, como se puede constatar en el punto anterior, se llevó a cabo ésta de manera iterativa, de tal forma que se pudo realizar un proceso de detección de errores en el sistema mucho más simple que en el caso de que se implementará todo el sistema de una vez. Lo anterior permitió un mejor control para el rediseño de las características del sistema.

Capítulo 5: Descripción detallada de la solución

5.1 Descripción de las características de diseño presentes en el proyecto

5.1.1 Elementos de diseño integrados en el proyecto

a. Matemática

Debido a la teoría que debe de ser estudiada para aplicar conceptos importantes en el desarrollo del proyecto, es sumamente importante contar con un conocimiento amplio en el área de la teoría de cálculo, álgebra lineal y estadística, ya que los procesos de calibración de equipos tienen directamente relacionados la presencia de operaciones y procedimientos que requieren la solución de ecuaciones matemáticas para la obtención de los diferentes parámetros de calibración. Un ejemplo de éste tipo de operaciones es el proceso de obtención de polinomios de ajustes para los RTD, mediante el método de la ITS 90 o la estimación de Callendar Van Deusen, los cuales son procedimientos matemáticos que determinan mediante arreglos matriciales y ecuaciones los polinomios que permitan establecer buenos criterios para la calibración de los RTD .

Además en los aspectos referentes a la modulación empleada para la comunicación de las señales, se encuentran conceptos de cálculo en los respectivos modelos y ecuaciones que se tienen para la modulación utilizada por los transceivers, que permiten conocer a fondo la forma de operación de los módulos que se utilizarán y de esta forma poder diseñar con conocimiento pleno de los dispositivos que se van a usar en el sistema.

b. Ciencias Básicas

Las ciencias básicas tienen un papel importante en el desarrollo del proyecto, el principal campo de acción de éstas es el área de la Metrología, ciencia donde se encuentra relacionada de manera directa la Física, ya que los procesos realizados para la calibración del equipo cuentan con principios y conceptos importantes de ésta ciencia. De esta forma es necesario para lograr entender de forma amplia el proceso

que se realiza en el laboratorio contar con conocimientos en ésta área que permitan tomar decisiones en el desarrollo del proyecto.

c. Ciencias de la ingeniería

Las ciencias de la ingeniería se pueden encontrar en las siguientes áreas:

Electrónica:

En éste campo se cuenta primero que toda el área de las comunicaciones eléctricas, que incluye todos los conocimientos necesarios para la implementación de la comunicación mediante radio frecuencia de las señales que se necesitan para controlar y monitorear los equipos remotos que se desean implementar en el sistema.

Luego se tiene el campo de los sistemas digitales, en donde es necesario aplicar los conceptos relacionados a los microprocesadores, ya que estos cumplen el papel fundamental en el proyecto de controlar y ejecutar cada una de los algoritmos diseñados que permitan obtener a partir de los valores de entrada, las salidas de control, monitoreo y transferencia de datos desde y hacia la computadora.

Computación:

Los conceptos de la ingeniería de la computación, son bastantes necesarios y aplicables durante todo el desarrollo del proyecto. Es necesario el dominio de lenguajes de bajo nivel, para realizar la programación de los microcontroladores que se van a utilizar.

También se trabajará con un lenguaje en alto nivel para desarrollar la aplicación (interfaz con el usuario), que permita a los operarios del sistema controlar y monitorear el estado de todas las pruebas desde el servidor que se tiene designado para ésta labor.

Otras ingenierías:

En ésta área se encuentran los conceptos que se relacionan directamente con el campo de la Metrología y calibración de los equipos.

d. Estudios complementarios

En lo que se refiere a los estudios complementarios se tienen relacionados de manera directa y en buena proporción conceptos de la estadística, para la obtención y manipulación de los resultados de las pruebas de calibración de equipos.

Además el campo de la Metrología está presente de forma directa en el proyecto, debido a que éste se está desarrollando para procedimientos y labores que se realizan concernientes a ésta área.

5.1.2 Restricciones limitantes del desarrollo del proyecto

a. Estándares:

Se deben de seguir los estándares técnicos aprobados por la IEEE para el manejo de los protocolos de comunicación de los diferentes equipos con que cuenta el laboratorio, así como de las computadoras que se deben de conectar.

b. Aspectos Legislativos:

Es necesario conocer y acatar las normas que se definen por parte del Código Eléctrico Nacional. Además es necesario respetar las normas que se establecen para las comunicaciones mediante radio frecuencia estipuladas y reguladas por el Control Nacional de Radio.

c. Factores Interdisciplinarios:

Debido a que los laboratorios de RECOPE se encuentran en el proceso de acreditación de la norma ISO 17025, y el proyecto a realizar contribuye al cumplimiento de las pautas y lineamientos determinados para alcanzar dicha norma, el trabajo que se encuentra sujeto a las directrices que dicten los personeros de la institución, en pro del cumplimiento de los *Requerimientos Generales para la Competencia de Laboratorios de Prueba y Calibración*, dispuestos por las ISO.

5.1.3 Características del proceso de diseño en ingeniería

a. Creativo:

Las características presentes en el proyecto en lo que concierne al aspecto creativo o innovador, radica en que en nuestro país muchos de los laboratorios que se utilizan para calibración de equipo o ejecución de pruebas no cuentan con un sistema capaz de integrar todas las labores que se hacen, para facilitar el monitoreo y control de las diferentes pruebas.

En RECOPE además del Laboratorio de Metrología Empresarial, se encuentra el Laboratorio de Metrología Nacional, en éste fue implementado un sistema para el monitoreo de equipos, sin embargo éste no cuenta con tecnología inalámbrica, desde este aspecto dentro de la empresa se está buscando contar con las herramientas tecnológicas que brinden las mejores características a los procesos que se llevan a cabo, así como contar con la facilidad de poder ser instalado de una forma sencilla, cómoda y muy portátil.

b. Iterativo:

Como el proyecto se encuentra conformado de una buena cantidad de módulos que se deben de integrar al final en un solo sistema, es necesario determinar una estrategia para que se pueda ir realizando un proceso paulatino de integración de cada uno de los módulos que conforman el proyecto, de forma tal que se puedan ir obteniendo resultados y garantizando el funcionamiento del sistema por etapas, con el fin de hacer más fácil el proceso de revisión de errores y rediseño. Por

esta razón se requiere un alto grado de iteración en la ejecución y evaluación de los resultados del proyecto; ya que en cada nueva conexión de un módulo al sistema se deben de probar las partes que ya han sido implementadas.

c. De final abierto:

Debido a que el proyecto es desarrollado para un laboratorio en donde se adquieren equipos para desarrollar nuevas pruebas o procesos, su diseño y elaboración deben de tomar en cuenta la escalabilidad de la capacidad del laboratorio a futuro, permitiendo posibles incorporaciones de nuevos equipos al sistema de comunicación. También no se pueden descartar mejoras que pueden ser desarrolladas al diseño realizado con el fin de expandir su funcionalidad a otras áreas.

Ahora que se ha presentado la justificación de los elementos de diseño integrados en el proyecto, se procederá a realizar la descripción detallada de la solución implementada.

La presentación de la solución se divide en tres partes claramente definidas, en la primera parte se describe las características del hardware del sistema, en donde se encuentra la descripción de los módulos periféricos y el módulo central, la segunda parte describe las características de las conexiones inalámbricas implementadas y por último se tiene la descripción del software, tanto el implementado en las unidades de control, como en la aplicación desarrollada para el control y visualización del estado del sistema.

5.2 Descripción del hardware

Para esta parte, se hace referencia al diagrama de bloques general del sistema, el cual se repite a continuación.

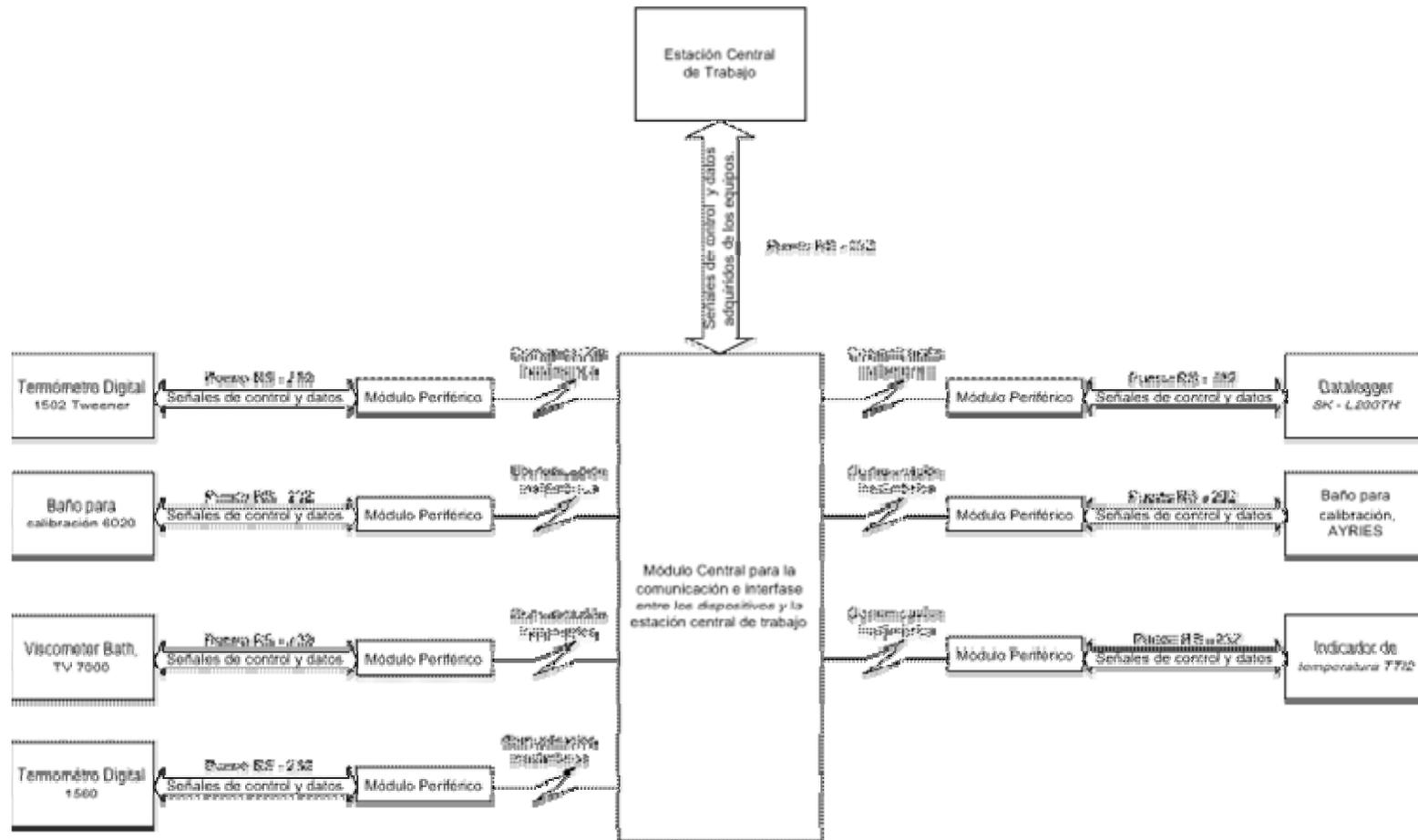


Figura 5.2.1 Diagrama de bloques general del sistema implementado

Como se puede observar claramente en la figura anterior, el sistema se divide básicamente en dos grandes partes, conformadas por el módulo central y los módulos periféricos.

Los módulos periféricos, se encuentran conformados por la conexión existente entre cada uno de los siete equipos con los que cuenta el laboratorio y el módulo programable de comunicación.

Con el fin de ser lo más específico en el diseño del sistema, se detallará la composición tanto del módulo central como de los módulos periféricos, así como de las características de la conexión inalámbrica implementada.

Sin embargo debido a la estructura del documento se adelantará en la siguiente tabla, los parámetros que se han fijado dentro del protocolo de comunicación para la transmisión y recepción de señales entre el módulo central y los módulos periféricos.

Tabla 5.2.1 Tabla con los parámetros definidos para el protocolo de comunicación entre los módulos del sistema de comunicación.

Parámetro	Dimensión
Velocidad de la comunicación (Baud Rate)	9600 bps
Paridad	Ninguno
Bits de Datos	8
Bits de Parada	1

Se decidió trabajar con éstos valores para los diferentes parámetros, debido a que la mayoría de equipos reunían estas características, en los dos casos en donde no se presentaba esta situación (los equipos tenían configurado otro protocolo de comunicación y no era programable), se desarrolló una solución particular, la cual será explicada detalladamente en cada caso en éste capítulo.

5.2.1 Módulo Central

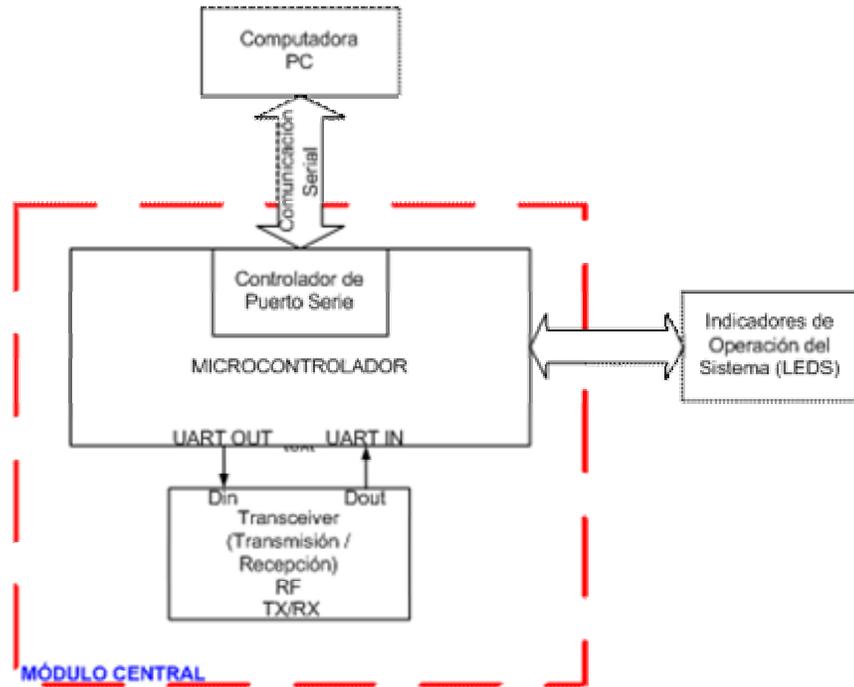


Figura 5.2.1.1 Diagrama de bloques del módulo central

La Figura 5.2.1.1 muestra el diagrama de bloques del módulo central del sistema.

En el diagrama anterior se tiene un microcontrolador conectado al transceiver, como ya se mencionó y explicó en la sección 1.2.3 (Descripción técnica de los componentes principales utilizados en el desarrollo del proyecto), se logró adquirir un módulo que integraba ambos, evitando la necesidad de realizar alguna adaptación de hardware para realizar la comunicación inalámbrica.

Además como se apuntó en la sección mencionada anteriormente, fue necesario comprar un kit de desarrollo 9XCite OEM RF MODULE, para poder configurar las diferentes tarjetas de comunicación, mostradas en la Figura 1.2.3.3, con lo que se tenía a disposición a la hora de implementar la solución del problema dos módulos con la interfaz serie lista, así como el sistema para la alimentación del dispositivo, de modo tal que se evitó la realización o implementación de hardware adicional para el desarrollo del módulo central.

De esta manera la conexión entre la computadora y el módulo de comunicación, en la estación central de trabajo, se realiza mediante la interfaz RS – 232 del puerto serie de ambos dispositivos, ésta es half duplex y las señales para la comunicación, control y monitoreo de los diferentes equipos del laboratorio, son generadas por una aplicación desarrollada para este fin con el lenguaje de programación orientado a objetos, Delphi V. 7.0.

En la figura que se presenta a continuación se muestra el hardware para la estación central de trabajo, el cual debido a las razones mencionadas anteriormente se simplificó bastante, quedando de la siguiente forma:

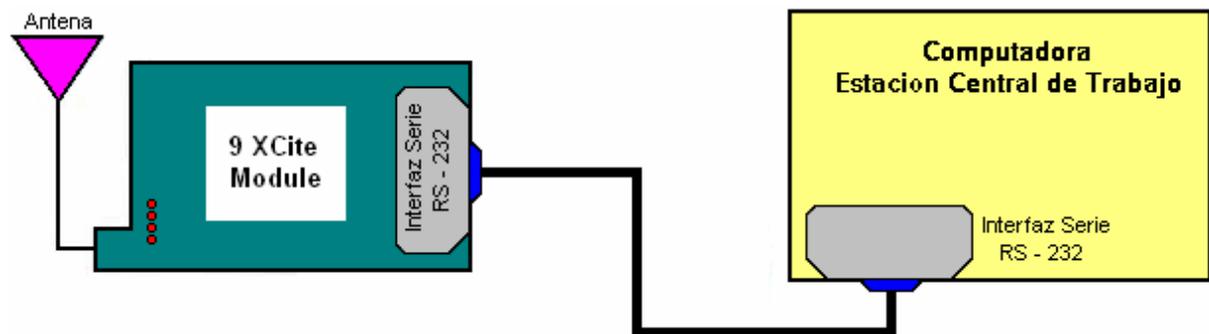


Figura 5.2.1.2 Diagrama de conexión del hardware para la comunicación entre la PC y el módulo de comunicación de la estación central de trabajo

Como se ha acotado en varias ocasiones en este documento, es necesario realizar la comunicación con siete equipos diferentes de medición, evitando la interferencia entre las señales cuando se adquieren datos o se envían palabras de control.

A continuación se explicará las conexiones realizadas para cada uno de los equipos. Y más adelante se detallará la configuración programada en las tarjetas, así como el diseño desarrollado para permitir la comunicación en el equipo.

5.2.2 Módulos Periféricos

Como se ha mencionado anteriormente, el sistema de comunicación adquiere datos y controla los procesos de siete equipos, que se tienen en el laboratorio. En esta sección se procederá a describir la función de cada uno, así como las características principales de la interfaz de comunicación de estos y la conexión realizada para la incorporación al sistema de comunicación.

5.2.2.1 Termómetro Digital 1560 Black Stack

El Termómetro Digital 1560 Black Stack, es un medidor de temperatura y resistencia, de dos canales, en el anexo B.1 se muestra la hoja técnica de éste equipo. Dentro de sus características principales cuenta con la selección de diferentes normas, según sea la calibración que se vaya a ser, de forma se le puede programar diferentes parámetros para cada calibración; éstas funciones de selección de norma y configuración de parámetros fue desarrollado en la aplicación de Delphi elaborada.

Para la comunicación, contiene una tarjeta de comunicación serial con interfaz RS – 232, y los datos son enviados de la siguiente forma:

Tabla 5.2.2.1.1 Parámetros para la comunicación del Termómetro Digital 1560 Black Stack.

Paridad	Ninguna
Bits de Datos	8 bits
Bit de Parada	1
Bits por segundo (Baud Rate)	9600 bps

Como el protocolo de comunicación que tiene el Black Stack 1560, es igual al definido para el desarrollo del proyecto, se puede realizar la conexión entre la tarjeta de adquisición de datos y el equipo, sin necesidad de incluir algún dispositivo de por medio que traduzca las señales que provienen ya sea del equipo como de la estación

central de trabajo. Lo único que fue necesario fue implementar la interfaz para la conexión serie, ya que recordemos que las tarjetas adquiridas no tienen ésta y por lo tanto es necesario desarrollar el hardware para la conexión entre el equipo y la tarjeta, así como el sistema de alimentación.

Para el suministro de corriente del circuito que conforma el módulo periférico, se ha tomado la alimentación desde la línea eléctrica de 110 V con que cuenta el laboratorio; pero como es de esperar este valor de voltaje se debe de convertir, ya que los dispositivos que se utilizan se alimentan con +5V, por lo tanto se utiliza un transformador comercial, que proporciona una salida +9V, de esta forma fue necesario utilizar un regulador de voltaje (LM7805, la hoja de datos técnicos de éste dispositivo se presenta en el anexo B.10), el cual soporta en la entrada valores de voltaje desde +20V, y proporciona a la salida +5V. Los transformadores utilizados tienen una corriente máxima de 500 mA, corriente suficiente para alimentar todos los dispositivos conectados al módulo periférico.

Por otra parte para el puerto serie, fue necesario adecuar el valor de voltaje que se obtiene desde el Termómetro Digital 1560 Black Stack, ya que recordemos que el voltaje en la salida en todos los puertos series es de + 12V y - 12V, y debido a las valores soportados por la tarjeta 9XCite (+5 V), fue necesario convertir la señal de voltaje. Para poder conseguir lo anterior se utilizó un MAX232, el cual es un circuito integrado conocido como transceiver para recepción y transmisión de señales, y básicamente lo que hace es transformar las señales del puerto serie (+12 V, - 12 V), a valores TTL (+ 5 V). En el anexo B.11 se muestra la hoja técnica de datos de éste chip.

En la

Figura 5.2.2.1.1 se muestra la conexión eléctrica realizada para la comunicación entre el Black Stack 1560 y el módulo periférico.

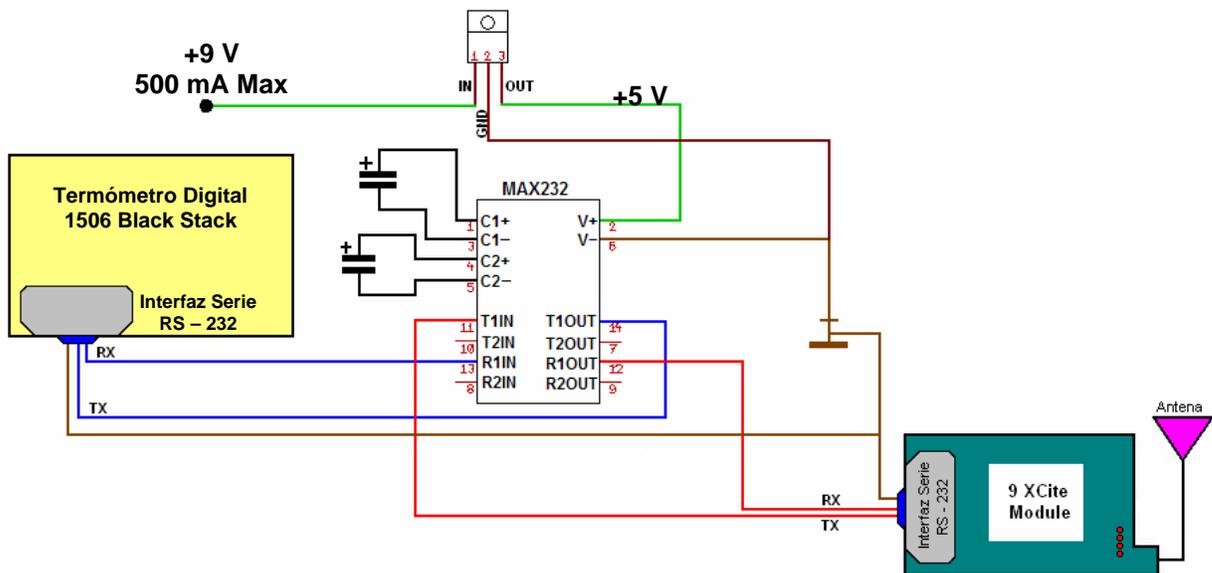


Figura 5.2.2.1.1 Diagrama de las conexiones eléctricas para el módulo periférico conectado al termómetro digital 1560 Black Stack.

5.2.2.2 Termómetro Digital 1502A Tweener

El termómetro Digital 1502A Tweener (hoja de datos técnica se presenta en el anexo B.2), es como su nombre lo indica un termómetro digital que tiene una entrada para RTD, con una resolución de temperatura para la lectura de datos de 0.0001, y con la opción de leer los valores de la temperatura en las escalas de °C, °F, °K o directamente en valores de resistencia en Ohmios.

De igual forma que para el 1560 Black Stack, el termómetro digital 1502A Tweener, tiene dentro de sus parámetros configurables la opción de seleccionar entre dos normas (ITS – 90, IPTS – 68) a la hora de realizar la calibración. Dicha opción puede ser seleccionada desde el software desarrollado en Delphi, mismo desde el cual se tiene la opción de enviar el valor de los coeficientes necesarios para las mediciones en cada una de las normas.

En lo que concierne a la comunicación, el 1502A Tweener, cuenta con una tarjeta para la transmisión con interfaz RS – 232, y tiene definido su protocolo de comunicación de la siguiente manera:

Tabla 5.2.2.1 Parámetros para la comunicación del Termómetro Digital 1502 Tweener.

Paridad	Ninguna
Bits de Datos	8 bits
Bit de Parada	1
Bits por segundo (Baud Rate)	9600 bps

De igual manera que como ocurrió con el 1560 Black Stack, debido a existir similitud en los protocolos de comunicación, no fue necesario incorporar ningún elemento para la conexión entre la tarjeta de comunicación (9 XCite) que realiza el enlace inalámbrico con el módulo central y el equipo; únicamente se diseñó la interfaz de puerto serie para dicha tarjeta y su sistema de alimentación. En la Figura 5.2.2.2.1 se muestra el diagrama de conexiones eléctricas para este caso.

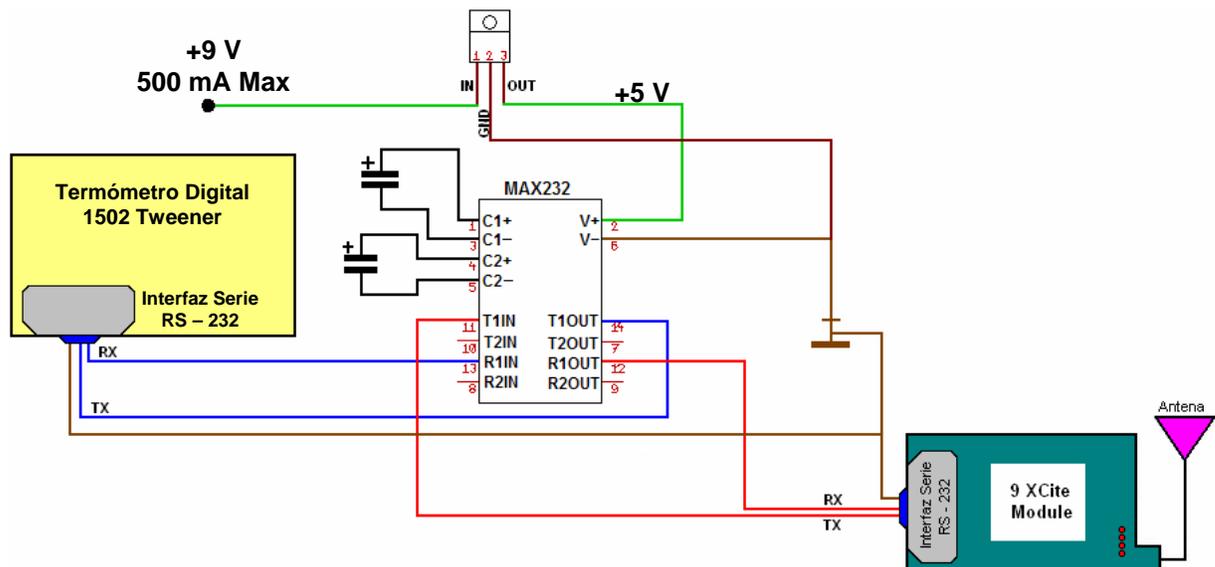


Figura 5.2.2.2.1 Diagrama de las conexiones eléctricas para el módulo periférico conectado al termómetro digital 1502A Tweener.

5.2.2.3 Indicador de Temperatura TTI – 2

Éste equipo de medición es utilizado en la calibración de RTDs y en el control de las condiciones de temperatura en diferentes pruebas realizadas tanto para calibraciones, como para otros análisis químicos realizados en el laboratorio.

Es conocido también como un “puente”, esto porque permite realizar comparaciones entre dos mediciones que se están llevando a la misma vez. Dentro de las opciones presentes en este indicador de temperatura, se encuentran las opciones de realizar lecturas desde dos canales diferentes, con mediciones de temperaturas en las escalas de °C, °F, °K, o valores de resistencia (Ω). En el anexo B.5, se adjunta la hoja técnica de datos del TTI – 2.

Otro de los parámetros configurables con que cuenta el equipo, es la selección del protocolo de comunicación a utilizar. Con el fin de evitar problemas en la comunicación y estandarizar todas las comunicaciones se decidió configurar el protocolo de la siguiente manera:

Tabla 5.2.2.3.1 Parámetros para la comunicación del Indicador de temperatura TTI – 2.

Paridad	Ninguna
Bits de Datos	8 bits
Bit de Parada	1
Bits por segundo (Baud Rate)	9600 bps

De ésta forma sucede igual que en los dos casos anteriores en donde el hardware que se necesita implementar es la interfaz de comunicación serie para la tarjeta de comunicación 9 XCite, así como el circuito para el suministro de corriente de todo el módulo.

En la siguiente figura se ilustra el diagrama de conexiones eléctricas del hardware desarrollado para la comunicación entre el TTI – 2 y el módulo central.

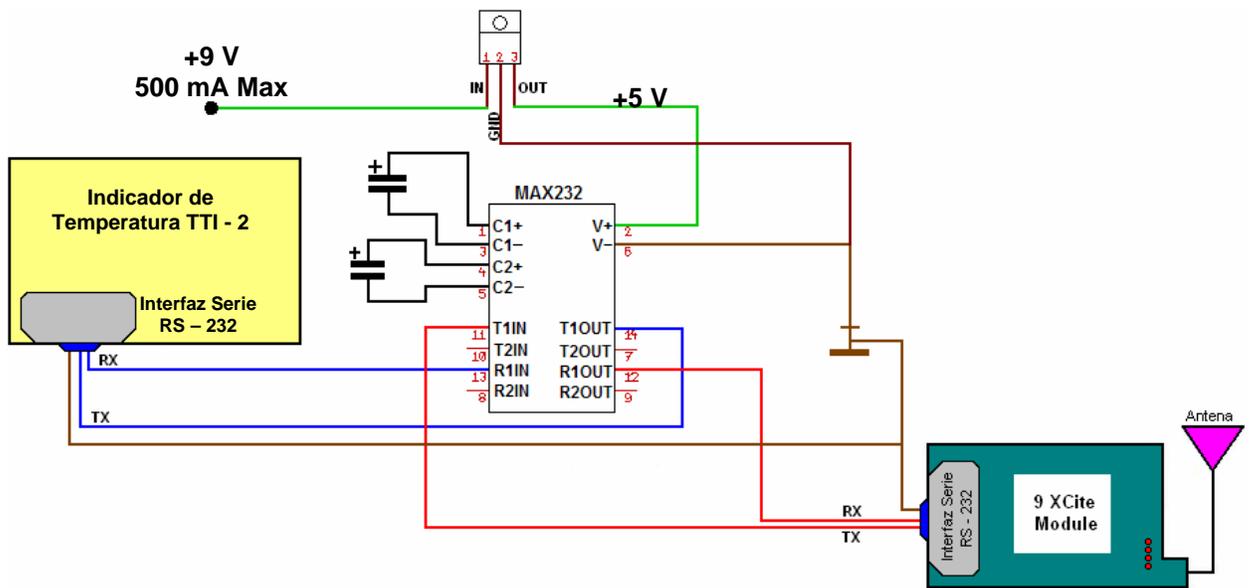


Figura 5.2.2.3.1 Diagrama de las conexiones eléctricas para el módulo periférico conectado al indicador de temperatura TTI – 2.

5.2.2.4 Baño para calibración 6020

El baño para calibración 6020, de la marca Hart Scientific, es un baño de aceite de temperatura constante, diseñado principalmente para la aplicación de calibración de temperatura. Sin embargo su alta estabilidad en control de temperatura, y la circulación homogénea del aceite contenido, permiten que éste sea utilizado en otros procesos industriales. En el anexo B.4 se muestra la hoja de datos del 6020.

En el laboratorio, debido a la rapidez en estabilizar los valores de temperatura deseados, éste baño se utiliza para realizar calibraciones que requieren condiciones extremas, con variaciones en los valores de temperatura que van desde los $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ hasta los $200\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Cuenta con una interfaz de puerto serie RS232 para la comunicación con equipos exteriores. Las especificaciones del protocolo que tiene configurado el equipo para la comunicación se resumen en la siguiente tabla:

Tabla 5.2.2.4.1 Parámetros para la comunicación del baño de calibración 6020.

Paridad	Ninguna
Bits de Datos	8 bits
Bit de Parada	1
Bits por segundo (Baud Rate)	9600 bps

Por lo tanto el hardware desarrollado sigue los mismos criterios de diseño que para los equipos anteriores, en la siguiente figura se presenta en el diagrama de conexiones eléctricas para este caso.

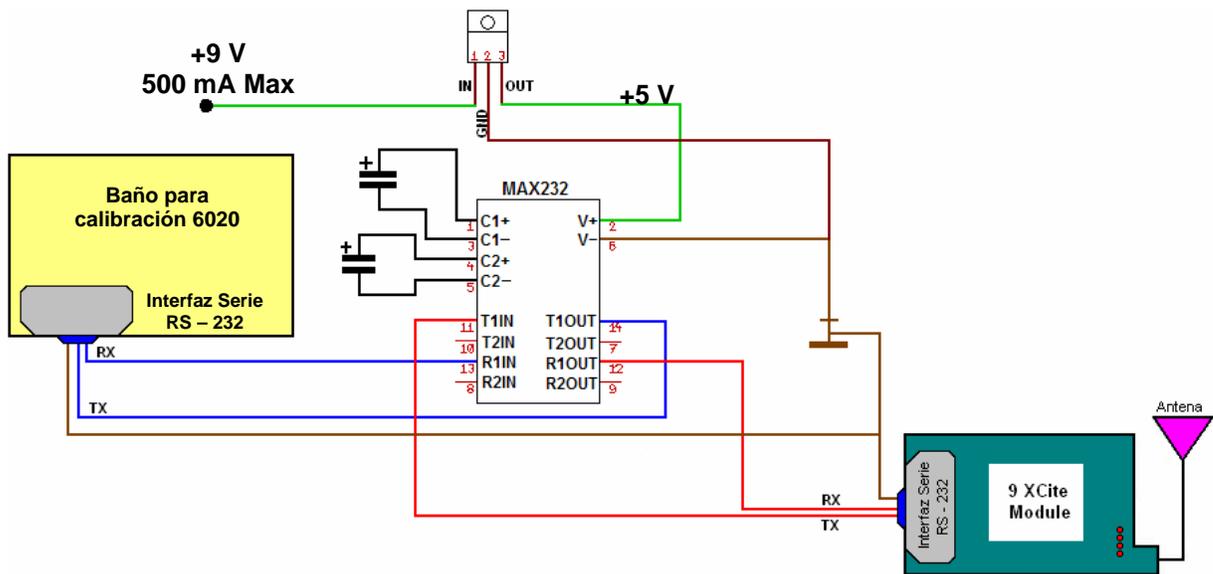


Figura 5.2.2.4.1 Diagrama de las conexiones eléctricas para el módulo periférico conectado al baño de calibración 6020.

5.2.2.5 Baño para Calibración, AYRIES Fluidized, modelo 875

El AYRIES Fluidized, es un baño utilizado en el laboratorio para la calibración de termómetros a altas temperaturas, que utiliza como medio de propagación la arena fluidizada, misma es utilizada en procesos que deben de ser llevados a temperaturas elevadas en valores de hasta 700 °C. Las características técnicas de éste equipo se detallan en el anexo B.3.

Durante el desarrollo del proyecto, éste fue uno de los equipos que más problemas presentó, debido a que el protocolo de comunicación (hoja de datos técnica presentada en el anexo B.3) del AYRIES 875 tiene diferencias con el que se estableció para la conexión de todos los equipos, y retomando las características mencionadas de las tarjetas de comunicación 9XCite, que no permiten la programación de las propiedades de comunicación (paridad, bits de datos, bit de parada y bits por segundo) mediante línea de comandos, impidiendo de esta forma que se puedan variar éstas durante el funcionamiento normal del sistema.

Otro problema que tiene éste equipo es con la manera de realizar la adquisición de datos y envío de palabras de control al equipo; las cuales presentan caracteres y tramas de datos peculiares, con una codificación especial. Como primera solución se determinó colocar un microcontrolador en medio del equipo y la tarjeta de comunicación, que se encargará de realizar la traducción de los datos al protocolo deseado, sin embargo luego del estudio de varias pruebas de comunicación realizadas se decidió implementar la solución a nivel de software, implementado un decodificador de los datos adquiridos, directamente desde la aplicación desarrollada en Delphi, ya que era la manera más sencilla y eficaz de poner en funcionamiento la comunicación; por lo tanto el hardware para éste módulo periférico tiene las mismas conexiones eléctricas de los casos anteriores (Figura 5.2.2.5.1).

Tabla 5.2.2.5.1 Parámetros para la comunicación del baño de calibración AYRIES Fluidized 875.

Paridad	Par
Bits de Datos	7 bits
Bit de Parada	1
Bits por segundo (Baud Rate)	9600 bps

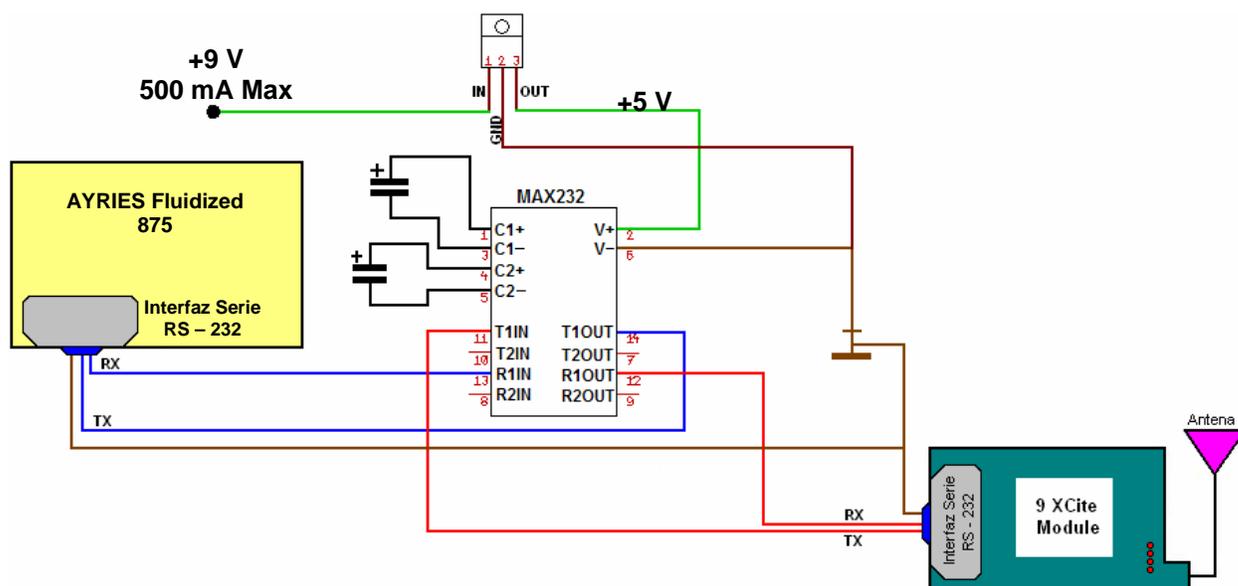


Figura 5.2.2.5.1 Diagrama de las conexiones eléctricas para el módulo periférico conectado al AYRIES Fluidized 875.

5.2.2.6 Datalogger SK – L200TH

El Datalogger SK – L200TH, es un medidor de condiciones atmosféricas, éste sin duda es uno de los equipos más importantes en el laboratorio, ya que es el que lleva el registro de las condiciones de humedad y temperatura, las cuales son variables indispensables en los procesos de calibración y por lo tanto su monitoreo debe de ser lo más controlado posible (se encuentra en operación las 24 horas del día).

Para la comunicación con equipos externos, el Datalogger SK – L200TH, cuenta con una interfaz de comunicación mediante conector RJ45, sin embargo dentro de sus componentes se tiene el cable que transforma éste conector a un conector de puerto serie RS232. No obstante existe el problema que el equipo no provee al puerto de comunicación de los voltajes necesarios para su funcionamiento, sino más bien éstos deben de suministrarse desde el exterior; en la figura siguiente se muestra más claramente esta característica.

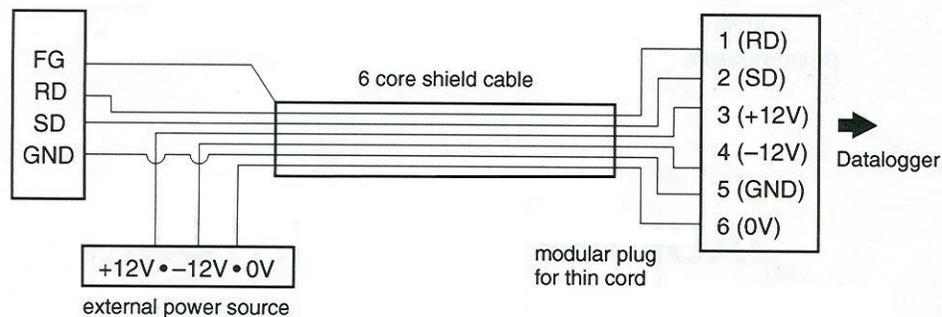


Figura 5.2.2.6.1 Diagrama de conexión eléctrica del puerto de comunicación del Datalogger SK – L200TH (Tomado del SK – L200 Series Datalogger Instruction Manual, Sato Keiryoki MFG).

Como se describe en la figura anterior es necesario de alguna fuente externa que provenga los valores de +12V y -12V. Si se estuviera llevando a cabo una conexión directa con el puerto serie de una computadora no existiría ningún problema, ya que éste tiene dentro de sus características el manejo de voltajes de +12 V y -12V, que permiten que pueda funcionar sin problemas el puerto serie del Datalogger.

En el caso de la solución que se ha venido manejando con todos los equipos se tiene que el puerto serie que comunica el módulo con el equipo únicamente provee las señales para transmisión y recepción, por lo que no se puede suplir el voltaje que requiere el puerto de comunicación del Datalogger para efectuar la transferencia de datos. No obstante en la sección de la descripción técnica de los

componentes adquiridos se mencionó que fue comprado un kit de desarrollo, con dos módulos para comunicación que poseen una interfaz ya elaborada para la conexión. Como se discutió en ésta sección ya uno de los módulos fue utilizado, por lo tanto queda otro disponible, éste módulo si puede suplir los valores de voltaje requeridos para el funcionamiento de puerto de comunicación del Datalogger, por lo tanto con el afán de simplificar el hardware a implementar por razones de presupuesto y eficacia en el diseño, se tomó éste módulo de comunicación para llevar a cabo la conexión de la estación periférica y el SK – L200TH. En la siguiente figura se presenta la conexión eléctrica implementada para este caso.

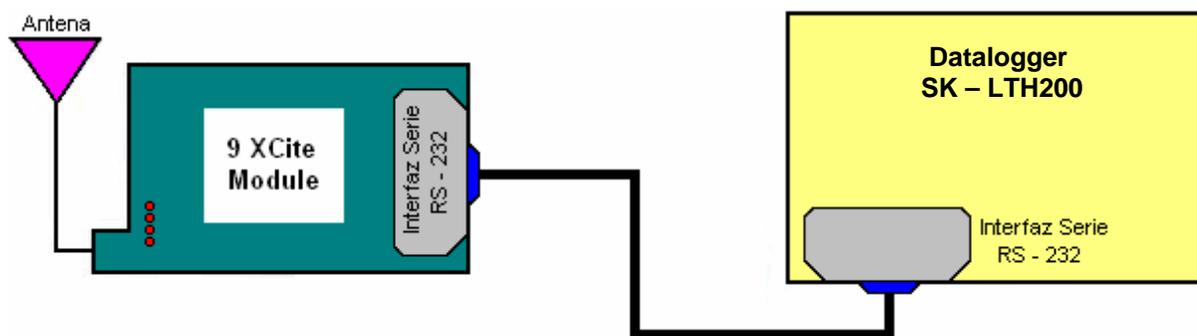


Figura 5.2.2.6.2 Diagrama conexiones eléctricas módulo periférico conectado al Datalogger

En lo que concierne al protocolo de comunicación para el envío de datos que tiene configurado éste equipo, no existe ninguna variante con respecto al protocolo plantado para el sistema.

Tabla 5.2.2.6.1 Parámetros para la comunicación del Datalogger SK – LTH200.

Paridad	Ninguna
Bits de Datos	8 bits
Bit de Parada	1
Bits por segundo (Baud Rate)	9600 bps

5.2.2.7 Viscometer Bath

El Viscometer Bath, o baño líquido de viscosidad, es un baño para calibración utilizado en procesos en que los elementos introducidos en éste necesitan estar visibles, como por ejemplo en la calibración de termómetros, crecimiento del cristal, pruebas de densidad y medidas de proporción de reacción.

Éste equipo ha presentado varios problemas en la estabilidad, ya que su resolución y precisión no es tan fina como se requiere, por lo tanto se tiene conectado al mismo un controlador que cuenta con una precisión mayor y gobierna de ésta manera el control de las resistencia de calentamiento del baño. Por lo tanto se debe de entender que la estación central de trabajo no se comunica con el Viscometer Bath, ya que éste en realidad no realiza ningún proceso de control de las pruebas que se realizan en el mismo (el control del baño como se mencionó es llevado a cabo por el controlador de temperatura 2100), sino más bien cualquier instrucción para el control de la prueba o simplemente para la realización de la lectura de datos, se lleva a cabo mediante la comunicación entre el módulo central y el controlador de temperatura 2100, de Hart Scientific (hoja de datos técnicas en el anexo B.6).

Éste controlador cuenta con una entrada para la conexión de la RTD, la cual sensa el valor la temperatura del Viscometer Bath, y mediante una salida conectada a la resistencia de calentamiento del baño controla la temperatura del mismo.

Para la comunicación entre el controlador y el módulo periférico, se utilizó la interfaz de puerto serie RS232 con que cuenta el mismo, las características del protocolo de comunicación se presentan a continuación:

Tabla 5.2.2.7.1 Parámetros para la comunicación del controlador 2100.

Paridad	Ninguna
Bits de Datos	8 bits
Bit de Parada	1
Bits por segundo (Baud Rate)	2400 bps

De la Figura 5.2.2.7.1, se puede ver que la velocidad de transmisión que tiene programado el controlador 2100 es de 2400 bits por segundo, comparando éste valor con el establecido dentro del protocolo de comunicación para el sistema, se evidencia una diferencia, ya que para el protocolo establecido como válido en el sistema se determinó un Baud Rate (velocidad de transmisión) de 9600 bps.

Como a las tarjetas de comunicación con las que se están trabajando no se le pueden hacer cambios en lo que se refiere a los parámetros de comunicación, es necesario incluir en el diseño un microcontrolador que realice la interfaz para poder comunicar la tarjeta 9XCite con el controlador 2100.

A continuación se explicará el detalle de la solución planteada para realizar la interfaz que se menciona.

La Figura 5.2.2.7.1 es el esquema del circuito diseñado para la comunicación entre el sistema inalámbrico de control y muestreo, y el controlador (Controller 2100) conectado al Viscometer Bath. Para el módulo periférico que corresponde en éste caso, se puede observar una diferencia con respecto al hardware implementado en las otras soluciones; y es el uso de un microcontrolador (PIC16F877A) que sirve de “puente” en la comunicación de datos desde el equipo (controlador), a la tarjeta de comunicación (la cual se encarga de realizar la conexión al sistema) y viceversa.

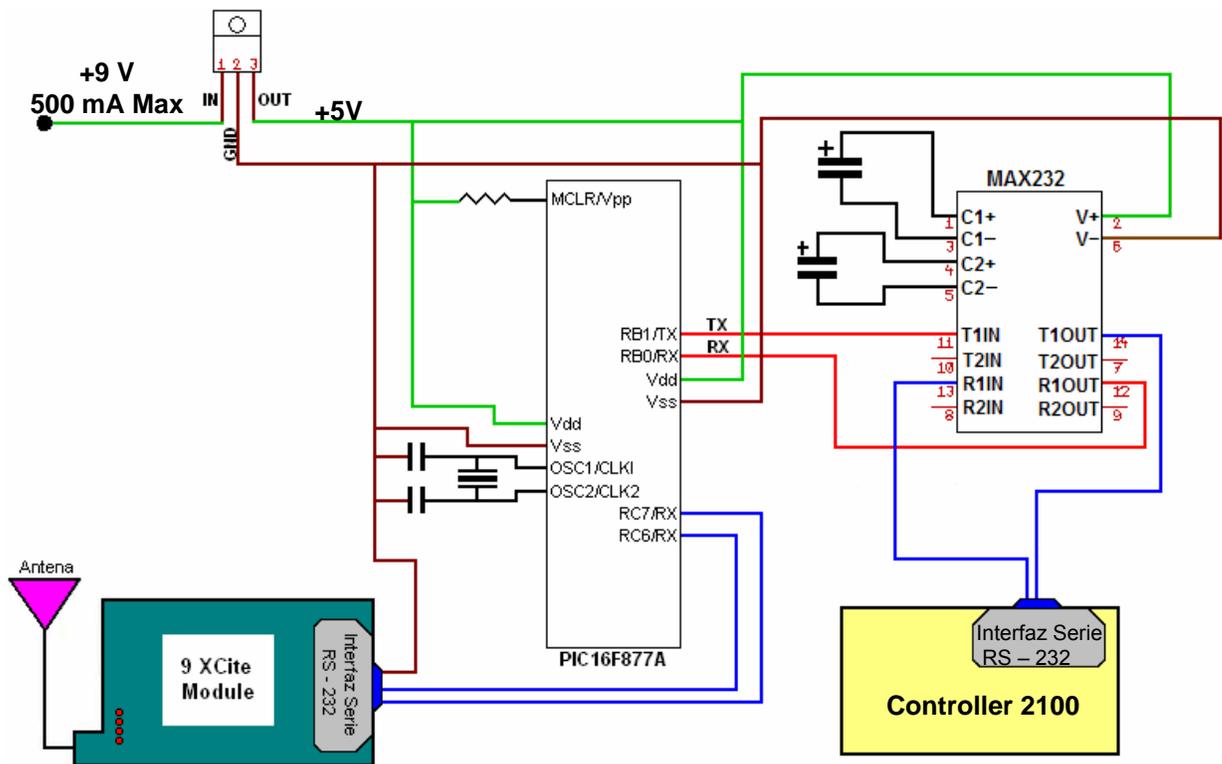


Figura 5.2.2.7.1 Diagrama de las conexiones eléctricas implementada para el módulo periférico conectado al Controlador de temperatura 2100.

Para solucionar éste problema se utiliza un microcontrolador, dicho dispositivo debe de contar con por lo menos dos interfaces de puerto serie, es por esta razón que en la sección de componentes seleccionados se justificó el uso del PIC16F877A, ya que él mismo cuenta con una USART y mediante programación se puede implementar otra.

De ésta manera se utilizó la USART (pin C6 y pin C7) que tiene el PIC16F877A, para comunicarse con la tarjeta de comunicación (manteniendo la configuración por defecto: 8 bits de datos, 1 bit de parada, sin paridad y 9600 bps), y para la comunicación con el Controller 2100 se implementó mediante software una interfaz de puerto serie (pin B0 y pin B1) de manera tal que se seleccionó la configuración de 8 bits de datos, 1 bit de parada, sin paridad y 2400 bps. Realizando

por lo tanto un “puente” para los datos, desde un puerto hacia el otro y permitiendo así la comunicación entre la tarjeta y el controlador.

5.3 Características de los enlaces inalámbricos

Las tarjetas de comunicación 9XCite OEM RF cuentan con tres capas de direccionamiento de datos (dirección, mascarado de red y canal), dichas características pueden ser utilizadas para la seguridad y confiabilidad en la transferencia de datos.

La capa de dirección y máscara de red se encuentran relacionadas, y son comúnmente implementadas en enlaces en donde se manejan redes de comunicación bastante complejas con muchos elementos presentes. En cambio la capa de canal, es utilizada para redes pequeñas, en donde existen hasta 25 equipos que deben de comunicarse.

Debido a las especificaciones del proyecto, en el cual se cuenta con 7 equipos y se espera una expansión, que sin embargo no contempla contar con muchos elementos conectados al sistema, es que se decidió utilizar la capa de direccionamiento de datos por canal. Esto permite que cada uno de los equipos transmita y reciba las señales en el momento que les sea solicitado por el servidor (computadora de la estación central de trabajo), dando a cada uno de éstos un canal específico de comunicación.

Para que las tarjetas de comunicación puedan realizar enlaces válidos, deben de estar en el mismo canal de frecuencia, de forma que el uso de diferentes canales impide a los módulos en el sistema escuchar las transmisiones de otros; ésta característica brinda la seguridad de que no existirá interferencia en las comunicaciones. Los canales pueden ser seleccionados para manejarse por modo de Hopping Channel (en donde existen 7 canales disponibles) o por el modo de Single Frequency Channel (en donde se cuenta con 25 centros de frecuencia permitidos).

Como se tiene previsto un posible crecimiento del sistema, se decidió trabajar en el modo Single Frequency Channel; para contar con una mayor cantidad de canales. En éste modo los canales de frecuencia tienen un espacio de 300 KHz entre cada uno, y los valores de los canales de frecuencia oscila entre los 910.5 MHz y los

917.7 MHz. En la siguiente tabla se resumen los valores en hexadecimal de los canales presentes con su respectivo valor de frecuencia.

Tabla 5.3.1 Valores en hexadecimal de los canales disponibles para las tarjetas 9XCite, y su respectivo valor de frecuencia en MHz.

CANAL	Frecuencia (MHz)
0x00	910.5
0x01	910.8
0x02	911.1
0x03	911.4
0x04	911.7
0x05	912.0
0x06	912.3
0x07	912.6
0x08	912.9
0x09	913.2
0x0A	913.5
0x0B	913.8
0x0C	914.1
0x0D	914.4
0x0E	914.7
0x0F	915.0
0x10	915.3
0x11	915.6
0x12	915.9
0x13	916.2
0x14	916.5
0x15	916.8
0x16	917.1
0x17	917.4
0x18	917.7

Con el objetivo de ampliar el ancho de banda de cada uno de los canales a realizar no se utilizaron los que se necesitan enumerándolos de forma consecutiva, sino que se dio un espacio de 3 canales para cada uno de los equipos.

Tabla 5.3.2 Descripción del canal asignado a cada uno de los equipos de medición del laboratorio, con su respectivo valor de frecuencia.

Equipo	Canal	Frecuencia (MHz)
Termómetro Digital Black Stack	0	910.5
Termómetro Digital 1502 Tweener	3	911.4
Indicador de Temperatura TTI 2	6	912.3
Temperature Controller 2100	9	913.2
Baño para calibración AYRIES Fluidized	0C	914.1
Datalogger SK – L200TH	0F	915.0
Baño para Calibración 6020	12	915.9

Analizando los valores de frecuencia presentes para cada uno de los canales se puede determinar que el espacio de frecuencia entre cada uno de los canales de los equipos es de 900 KHz, lo cual da un ancho mayor en la banda respectiva de comunicación de cada uno de los equipos, asegurando aún más que no exista la posibilidad de interferencia o error en las comunicaciones.

La programación de cada uno de los módulos, se realiza mediante el kit de desarrollo 9XCite OEM RF Module, el cual cuenta con una interfaz de puerto serie que permite enviar las palabras de control a las tarjetas para realizar la programación de éstas.

La programación se puede realizar de dos maneras, ya sea mediante el software X – CTU que trae el kit de desarrollo, o desde la línea de comandos (con cualquier software que se comunique con el puerto serie). La diferencia radica en que desde el software X – CTU la programación es interactiva, esto quiere decir que no hace falta escribir el código si no que se van escogiendo los parámetros y

cambiando según las opciones que se presentan en un menú, en cambio desde la línea de comandos es necesario enviar el código con los parámetros deseados, respetando la trama o forma de enviar datos para validar la programación. Además desde la línea de comandos no se pueden programar todos los parámetros con que cuentan las tarjetas, ya que algunos están reservados para realizar cambios únicamente con el software X – CTU.

Las tarjetas cuentan con dos tipos de parámetros, presentes a continuación:

- AT Commands: En éste grupo encontramos los parámetros relacionados con las capas de direccionamiento de datos, de modo que se pueden programar las direcciones, máscaras de red o canales. Los AT Commands, pueden ser variados desde el software X – CTU o la línea de comandos.

- Non – AT Settable Parameters: Dicha categoría es la que reúne la mayor cantidad de parámetros. En éste grupo se tienen las opciones de configuración de las características del protocolo para la comunicación, en donde se pueden inicializar la cantidad de bits de datos, bits de parada, paridad y velocidad en la comunicación. La limitación que existe con los Non – AT Settable Parameters, es que éstos, solo pueden ser accedidos y modificados desde el software X – CTU lo que impide la versatilidad en el manejo de varios protocolos de comunicación a la vez en diferentes puntos de enlace en una red.

Conociendo éstas características básicas de las tarjetas se puede describir el algoritmo diseñado para la comunicación de los equipos.

Como se mencionó anteriormente se le asignó un canal específico a cada uno de los módulos periféricos; de esta manera el módulo central debe de realizar el cambio de frecuencia según sea el módulo periférico con que se desea comunicar. Como la programación del canal se puede realizar desde línea de comando, los comandos necesarios para modificar el canal en el módulo central se envían a éste desde la aplicación desarrollada en Delphi, cada vez que lo requiera alguna solicitud de envío o recepción de datos a la estación central de trabajo.

La forma como se realiza la selección de cual canal se debe de programar al módulo central se detallará a continuación en la etapa de la solución a nivel de software específicamente en el análisis del desarrollo de la aplicación elaborada en Delphi.

5.4 Descripción del Software

El aporte del desarrollo de software en la implementación del sistema de control y monitoreo elaborado fue bastante significativo.

Como el sistema va a estar siendo ejecutado y operado por los encargados de las pruebas en el laboratorio, fue necesario crear una interfaz gráfica bastante versátil y de fácil manejo que permita estar observando el comportamiento de las pruebas y en algunos casos configurar éstas.

Además del aporte anterior desde el punto de vista de software se tiene que tomar en cuenta el programa que se diseñó para el microcontrolador que realiza la interfaz entre el sistema y el Temperature Controller 2100, explicada en la sección 5.2.2.7.

Con lo que respecta a la programación de las tarjetas de comunicación, como se mencionó en el apartado anterior, para los módulos periféricos se realiza desde el software X – CTU, como es solamente configuración de protocolo de comunicación y canal de frecuencia y se hace de forma interactiva (cambiando las opciones desde un menú en el software X – CTU) no es necesario una explicación más detallada.

La programación del módulo central de comunicación presenta una variable extra además de la configuración del protocolo de comunicación, y es el salto de canal de frecuencia cada vez que va a realizar alguna adquisición de datos o configuración desde uno de los dispositivos remotos.

La programación de este canal de frecuencia se va a explicar dentro del desarrollo de la interfaz gráfica elaborada en Delphi, ya que es desde ésta que se hace dicha configuración.

Por lo tanto se dividirá esta sección en dos partes, explicando el software para la comunicación, monitoreo y control de los equipos desde el servidor del sistema (aplicación en Delphi) y el programa de interfaz entre el módulo periférico y Temperature Controller 2100.

5.4.1 Diagrama de flujo general para interfaz con el usuario

Lo primero que se debe de destacar, es que se estableció como medio de comunicación de la computadora presente en la estación central de trabajo y el módulo central que comunica ésta con todos los módulos periféricos, el puerto serie RS232, con tres hilos, por lo tanto no hay control de flujo de hardware.

Además se determinó que la velocidad de la transmisión del puerto serie en la comunicación entre la PC y el módulo central, sería de 9600 bps, usando un bit de parada, sin bits de paridad y ocho bits de datos; de esta forma se cumple con el protocolo establecido para la comunicación entre los módulos periféricos y el módulo central.

Es útil mencionar que se definió un pseudo control de flujo por software, con un código para identificar con cual de los módulos periféricos (equipo) es que se va a iniciar la comunicación.

Por otra parte, debido a la gran diferencia en los códigos o tramas para establecer o validar comunicaciones entre los equipos y la estación central de trabajo, no fue posible definir un pseudo control para el inicio y fin de comunicaciones, sino que en cada caso se estudió el comportamiento de los equipos y a partir de éste se definió la forma en como se iban a abrir y cerrar las comunicaciones.

Lo que si se estableció como una generalidad, es que todos los datos que llegan entre el código de apertura de comunicación y el de cierre será interpretado por la unidad de control como códigos de función para ejecutar una acción específica. Si los datos recibidos entre el código de apertura y el código de cierre no corresponde a algún valor o operación válida por los equipos o la aplicación desarrollada, se envía un código de error, que para los equipos está definido por su protocolo de comunicación y a partir de éste se determina en la PC el error presente y se notifica en la interfaz de usuario. Cualquier código que se reciba antes de que se envíe el código correspondiente a la identificación de algunos de los equipos será ignorado por parte de la unidad de control.

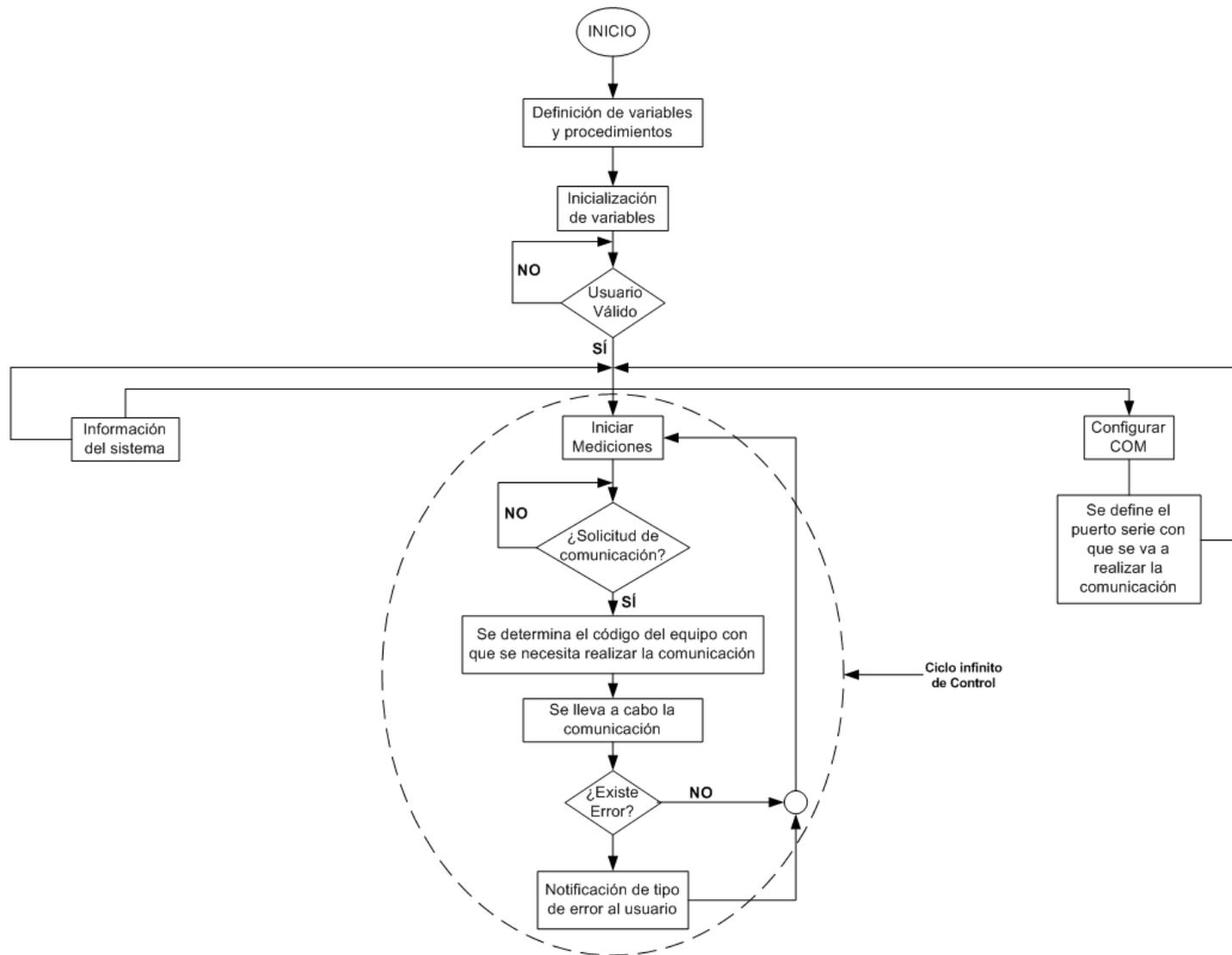


Figura 5.4.1.1 Diagrama de flujo general del programa desarrollado para la interfaz del sistema con el usuario

La figura anterior presenta el diagrama de flujo utilizado para implementar la comunicación mediante el servidor (PC) de la estación central de trabajo y el módulo central de comunicación, que permite la comunicación con todo el sistema (equipos conectados dentro de la red de comunicación inalámbrica), además de interfazar el sistema para el control y monitoreo por parte de un operador.

Antes de explicar el diagrama de flujo mostrado en la página anterior se debe de recalcar que la aplicación desarrollada que responde a dicho diagrama, fue creada bajo la plataforma de programación orientada a objetos de Delphi versión 7.0, de la compañía Borland.

El programa elaborado tiene como nombre Software Data Acquisition V 1.0, y dentro de sus funciones principales se encuentran la adquisición y despliegue de las variables sensadas en cada uno de los equipos, además para aquellos equipos que cuentan con la opción de configuración de sus parámetros y normas de medición, dicha opción fue incorporada en la aplicación desarrollada.

En la **Figura 5.4.1.1**, se explica mediante el diagrama de flujo el funcionamiento normal del programa mencionado. Como se puede apreciar se inicia dentro del flujo con la definición de procedimientos, variables y constantes globales, que se utilizan en las diferentes secciones del programa. Posterior a éste paso se sigue con la inicialización de las variables y constantes definidas.

En éste rubro se realiza también la configuración del puerto serie, para las respectivas comunicaciones que se van a establecer con el módulo central.

Luego de toda esta sección de definición y configuración de variables, se procede a ingresar a la página principal o de inicio del programa, en donde se da la validación del usuario, esto con el objetivo de validar el uso del sistema solamente a quienes se encuentren autorizados, para evitar cambios en las configuraciones de los equipos que pueden dañar o perjudicar las pruebas.

Si el usuario ingresado no es válido, el programa se quedará esperando hasta que ésta condición se cumpla. En caso contrario, o sea que el usuario ingresado si

se encuentre registrado, se procede a desplegar el menú de opciones; éste menú presenta tres opciones.

La primera de éstas es la sección de información del sistema, en la cual se presentan los créditos o datos del encargado del proyecto.

También se puede acceder a la configuración del puerto de comunicaciones (puerto serie), esto básicamente para definir el puerto al que se conectó el módulo central, ya que muchas computadoras cuentan con más de un puerto serie, de forma que es importante que se preste atención al detalle de donde se procede a realizar la conexión del módulo central.

Por último dentro de éstas opciones se presenta la más importante, y básicamente es donde se realizan todas las operaciones del sistema; es la ventana de mediciones. Ésta opción contempla lo que se denomina como ciclo infinito de control, en donde el inicio de éste se encuentra condicionado por una solicitud de comunicación realizada ya sea para la toma de datos, o configuración de equipos.

Con el fin de detallar más en éste ciclo se presenta un diagrama de flujo para el ciclo infinito de control (Figura 5.4.1.2). El ciclo se ejecuta cada vez que el programa es interrumpido por un temporizador, que cuenta con un tiempo preestablecido de 60 segundos, esto para permitir que una vez que se ha iniciado un proceso de medición se lleve a cabo la recolección de datos cada minuto, debido a las especificaciones dadas para el sistema por parte de los encargados del laboratorio. En los casos de configuración de equipo el temporizador no es activado, solamente se lleva a cabo la comunicación y el sistema se mantiene esperando alguna otra instrucción.

Describiendo el diagrama de flujo para el ciclo infinito de control mostrado en la Figura 5.4.1.2, se parte de la condición de solicitud de comunicación; una vez que se ha presentado se identifica con cual equipo es que se va a llevar a cabo la comunicación, para esto se realiza la comparación del código de comunicación; una vez definido y almacenado (en la variable ConfigCanal) éste, se procede a abrir el

puerto serie. Primeramente antes de realizar cualquier comunicación se lleva a cabo la configuración del módulo central con el canal respectivamente almacenado en la variable mencionada anteriormente.

Una vez programado en la tarjeta de comunicación con que cuenta el módulo central el canal de comunicación respectivo que debe de utilizarse para llevar a cabo la comunicación, se inicia la transmisión y recepción de datos, para cada uno de los equipos la información que se maneja es diferente, debido a que los comandos para la comunicación no son iguales en ninguno de los casos.

El sistema se mantiene en el estado de espera de datos, hasta que se presentan los caracteres respectivos de fin de transmisión para la comunicación que se esta realizando o se ha agotado el tiempo de espera de comunicación. De presentarse la primera condición se realiza una verificación general del dato obtenido, de manera que si se encuentra algún error en el tipo del dato, éste se notifica, de otra manera (o sea el dato es correcto) se realiza el despliegue del mismo. En caso de que se agote el tiempo de espera de transmisión, el sistema presenta un estado de error y vuelve a esperar que se inicie nuevamente el ciclo.

Para los estados de error, es prudente señalar que estos han sido codificados, de manera que se ha dado un número de identificación a cada uno, para que el operador del sistema pueda darse cuenta de cual es el error y corregirlo.

En la tabla se resumen los códigos de error con su respectiva descripción.

Tabla 5.4.1.1 Descripción de los códigos de error para el sistema

Código de Error	Descripción
Err10	Error de comunicación con el Black Stack
Err11	Error de comunicación con el 1502A Thermometer
Err12	Error de comunicación con el TTI – 2
Err13	Error de comunicación con el Controller Temperatura 2100
Err14	Error de comunicación con el AYRIES Calibration Bath
Err15	Error de comunicación con el Datalogger SK – L200TH
Err16	Error de comunicación con el Baño para calibración 6020
Err 0	Error de comunicación con el módulo central

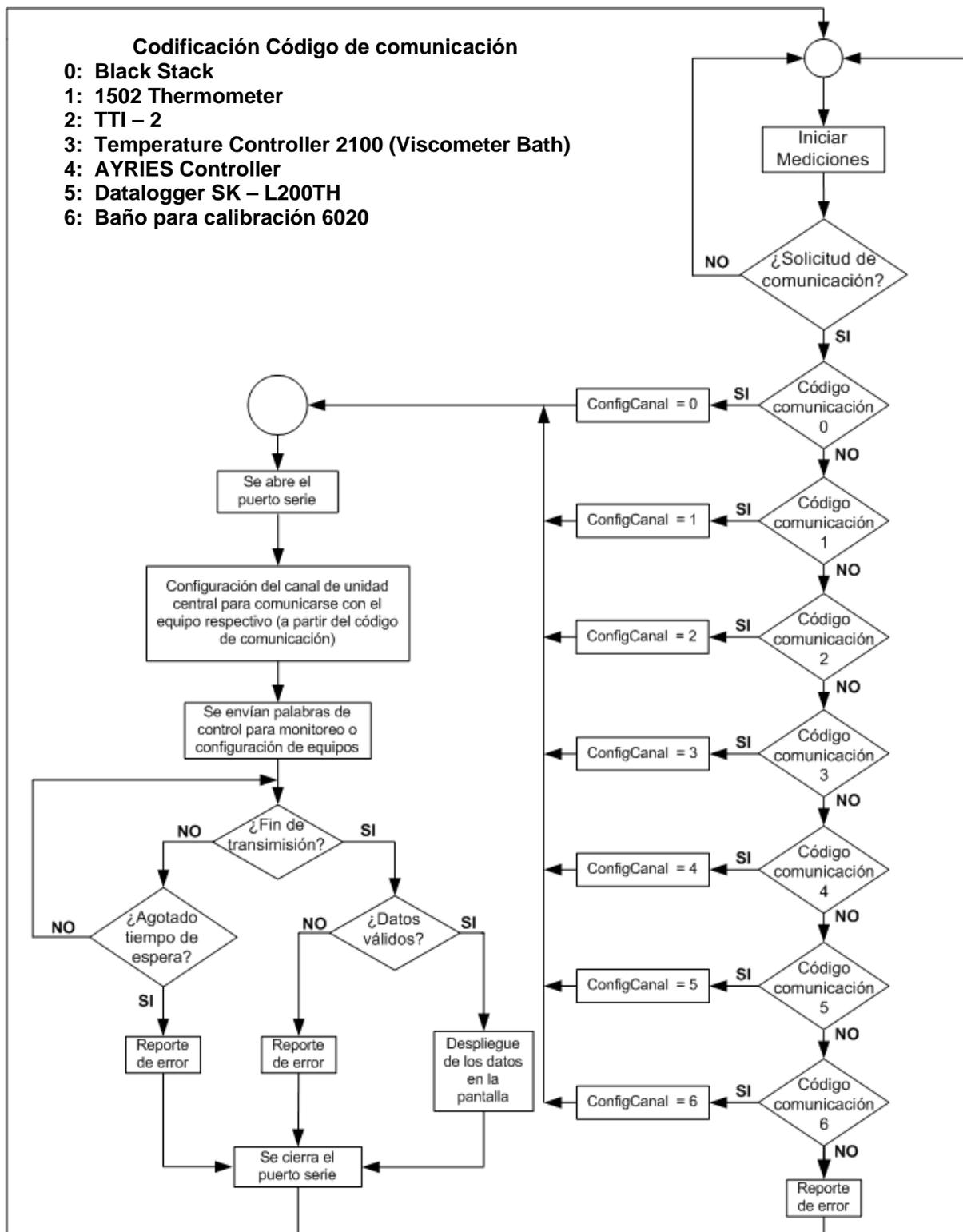


Figura 5.4.1.2 Diagrama de flujo del ciclo infinito de control

5.4.2 Diagrama de flujo general para interfaz entre el módulo periférico y el Temperature Controller 2100.

Como se explicó en la sección 5.2.2.7, para poder lograr la incorporación del Viscometer Bath al sistema de comunicación diseñado, fue necesario interfazar el controlador que gobierna el funcionamiento de éste. Sin embargo a la hora de realizar la comunicación se encontró el problema de que la velocidad de comunicación que tiene definida el Temperature Controller 2100 es de 2400 bps, y la definida para el protocolo de comunicación definido del sistema es de 9600 bps, se tuvo que diseñar alguna manera de hacer la comunicación. Pero existe el inconveniente de que la velocidad de comunicación de las tarjetas 9 XCite, pueden ser únicamente configurables desde el software X – CTU, lo que impide realizar cambios en sus parámetros de protocolo de comunicación durante el funcionamiento normal del sistema.

Por esta razón fue necesario incorporar para el módulo periférico en este caso, entre la tarjeta de comunicación y el Temperature Controller 2100 un microcontrolador (PIC 16F877A). El PIC 16F877A es propiedad de la compañía Microchip, y fue programado en el software C ANSI estándar, el cual cuenta con certificaciones que dan capacidades amplias para el desarrollo de aplicaciones, y entre éstas comunicaciones entre dispositivos.

La Figura 5.4.2.1 es el diagrama de flujo general para el programa desarrollado para la interfaz de comunicación entre el Temperature Controller 2100 y el sistema de control y monitoreo desarrollado para las pruebas en el laboratorio.

En la primera etapa se definen las variables y constantes del programa y seguidamente se procede a inicializar éstas.

Debido a que se cuentan con dos interfases de puerto serie, ya que al microcontrolador están conectados la tarjeta de comunicación 9 XCite y el puerto serie del controlador de temperatura mencionado, es que se realizó una lógica con el manejo de interrupciones del microcontrolador.

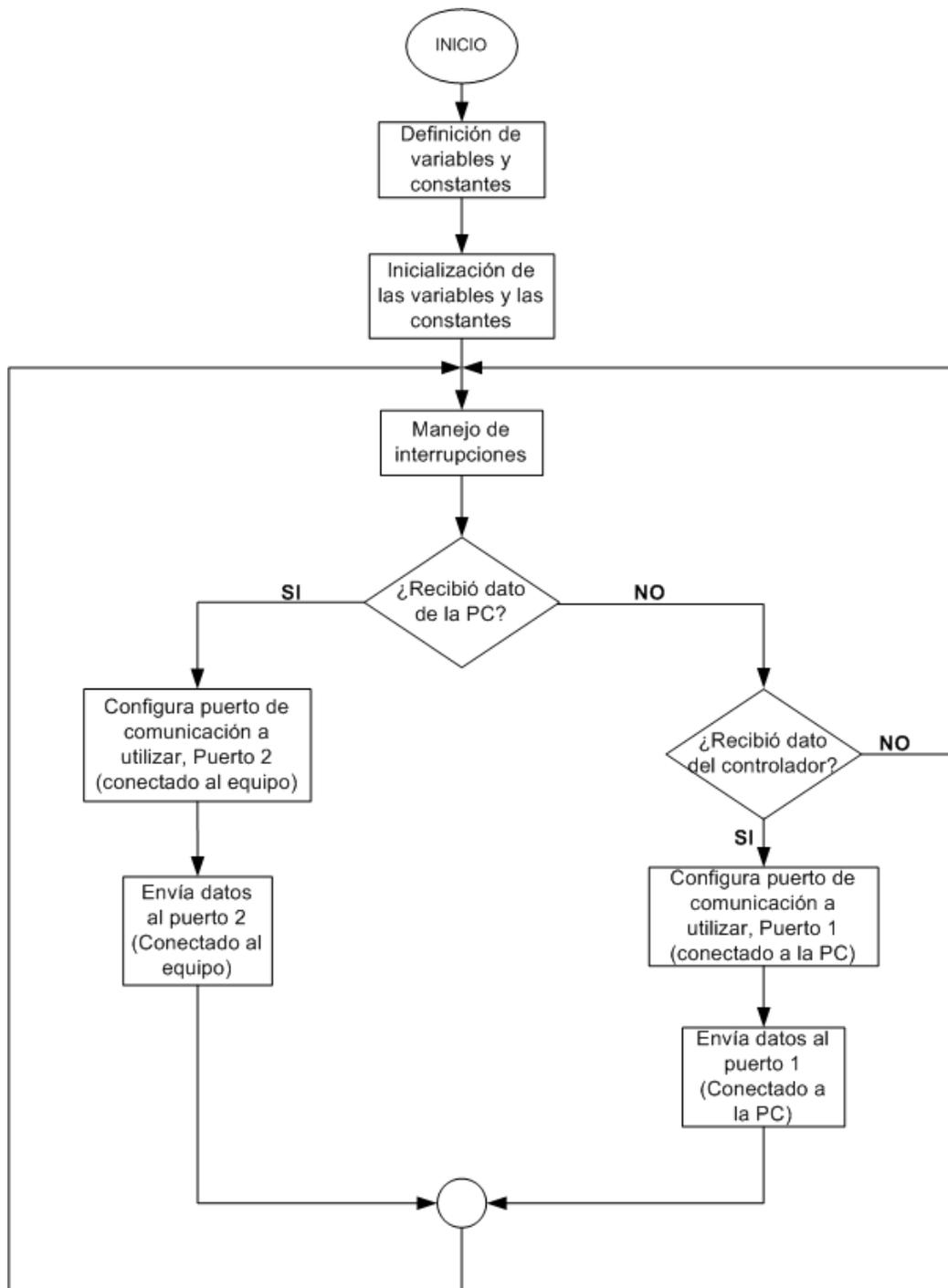


Figura 5.4.2.1 Diagrama de flujo para la interfaz de comunicación entre el Temperature Controller 2100 y el sistema de control y monitoreo diseñado

Se conectó a la interfaz de puerto serie con que cuenta el PIC 16F877A (pin C6 y pin C7), la tarjeta de comunicación 9 XCite de forma que para este caso se

configuró el puerto serie con 8 bits de datos, sin paridad, 1 bit de parada y 9600 bps; además se activó la interrupción de puerto serie que trae incluida el microcontrolador, lo que permite el manejo de éste puerto interrumpiendo el programa cada vez que se presenta un dato en el puerto serie del microcontrolador, para adquirirlo y almacenarlo en una variable. Cada vez que es intervenido el flujo normal del programa debido a ésta interrupción, se activa la bandera que indica que se ha recibido un dato desde la PC.

Para el caso del Temperature Controller 2100, se implementó una interfaz de puerto serie mediante software, programando ésta en los pines B0 y B1 del PIC, y configurando la misma con 8 bits de datos, sin paridad, 1 bit de parada y 2400 bps. Para poder realizar un control del arribo de información a éste puerto se activó un servicio de interrupción externa, que interrumpe el programa cada vez que se presenten datos en el puerto conectado al controlador, para almacenar el dato adquirido en una variable previamente definida. Cada vez, que es intervenido el programa debido a ésta interrupción, se activa la bandera que indica que se ha recibido un dato desde el controlador 2100.

El manejo de interrupciones mencionado anteriormente es parte del flujo de control infinito que presenta el programa, el cual se ejecuta siempre que se encuentre encendido éste módulo periférico.

Dentro de este flujo de control infinito, se procede a chequear si se ha presentado un dato en el puerto 1 (conectado a la PC), mediante la verificación de la bandera mencionada unos párrafos atrás; de ser cierto se procede a configurar el puerto 2 (conectado al controlador), y se realiza el envío de los datos; en caso contrario se procede a consultar el estado de la bandera de dato adquirido desde el puerto 2 (¿se recibió dato del controlador?); procediendo de forma similar que en el caso anterior, si la bandera esta activa se configura el puerto1 y se da la transferencia de datos; si no esta activa se vuelve al inicio del flujo del programa.

Capítulo 6: Análisis de Resultados

Debido a las características del proyecto, la etapa de análisis se realizará haciendo uso de imágenes del sistema en funcionamiento, así como de tablas obtenidas en pruebas durante la puesta en marcha del mismo

Además para cada una de las pruebas realizadas se presentarán los resultados obtenidos y se discutirán los mismos en cada caso en esta misma sección.

Para iniciar con esta etapa, se debe de indicar que para probar el correcto funcionamiento del sistema se procedió a realizar pruebas simultáneas en los equipos. En la Figura 6.1 se muestra el circuito impreso conectado a cada uno de los equipos, estos son los módulos periféricos del sistema, que permiten la comunicación de los equipos del laboratorio con el sistema.

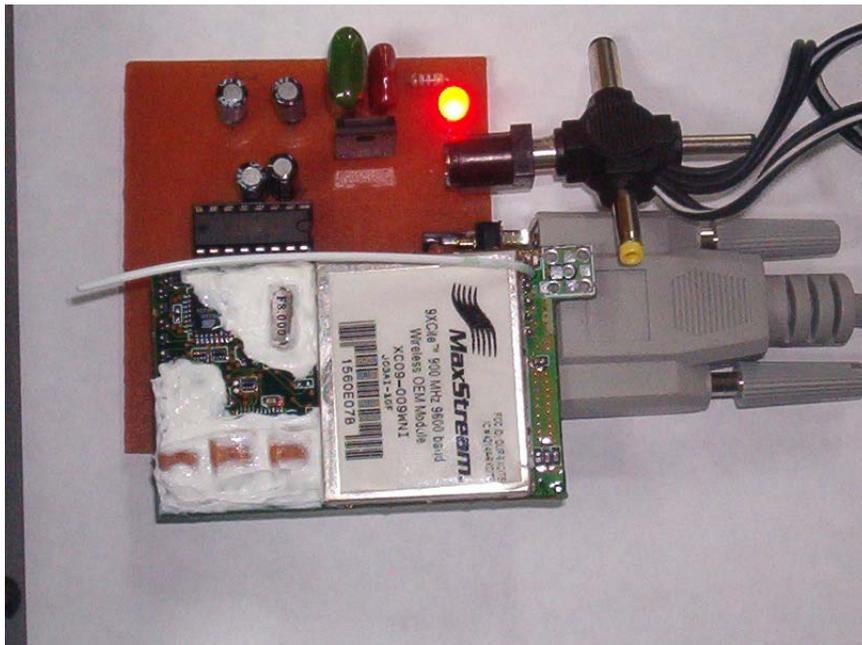


Figura 6.1 Circuito impreso implementado para cada uno de los módulos periféricos.

Para el caso de la estación central de trabajo, se tomó uno de los módulos que fueron adquiridos para el desarrollo del proyecto, en la siguiente figura se ilustra éste.



Figura 6.2 Módulo de comunicación utilizado para la estación central de trabajo

Como parte del mantenimiento preventivo del sistema, y para proteger los circuitos diseñados, se colocaron éstos dentro de unas cajas plásticas especiales para circuitos. Lo anterior permite la manipulación del sistema de una manera ágil y confiable, adicionando además una variable de estética al proyecto bastante significativa.

En la Figura 6.3 se presenta uno de los módulos periféricos ya concluido, en su forma de producto final. Para el caso de ésta figura el módulo se encuentra conectado al baño de calibración 6020.

En todos los casos se tiene una presentación similar de los módulos, sin embargo por motivos de expansión en el documento y por considerarse innecesario no se presentan las fotografías de todos los módulos periféricos conectados a cada uno de sus equipos.

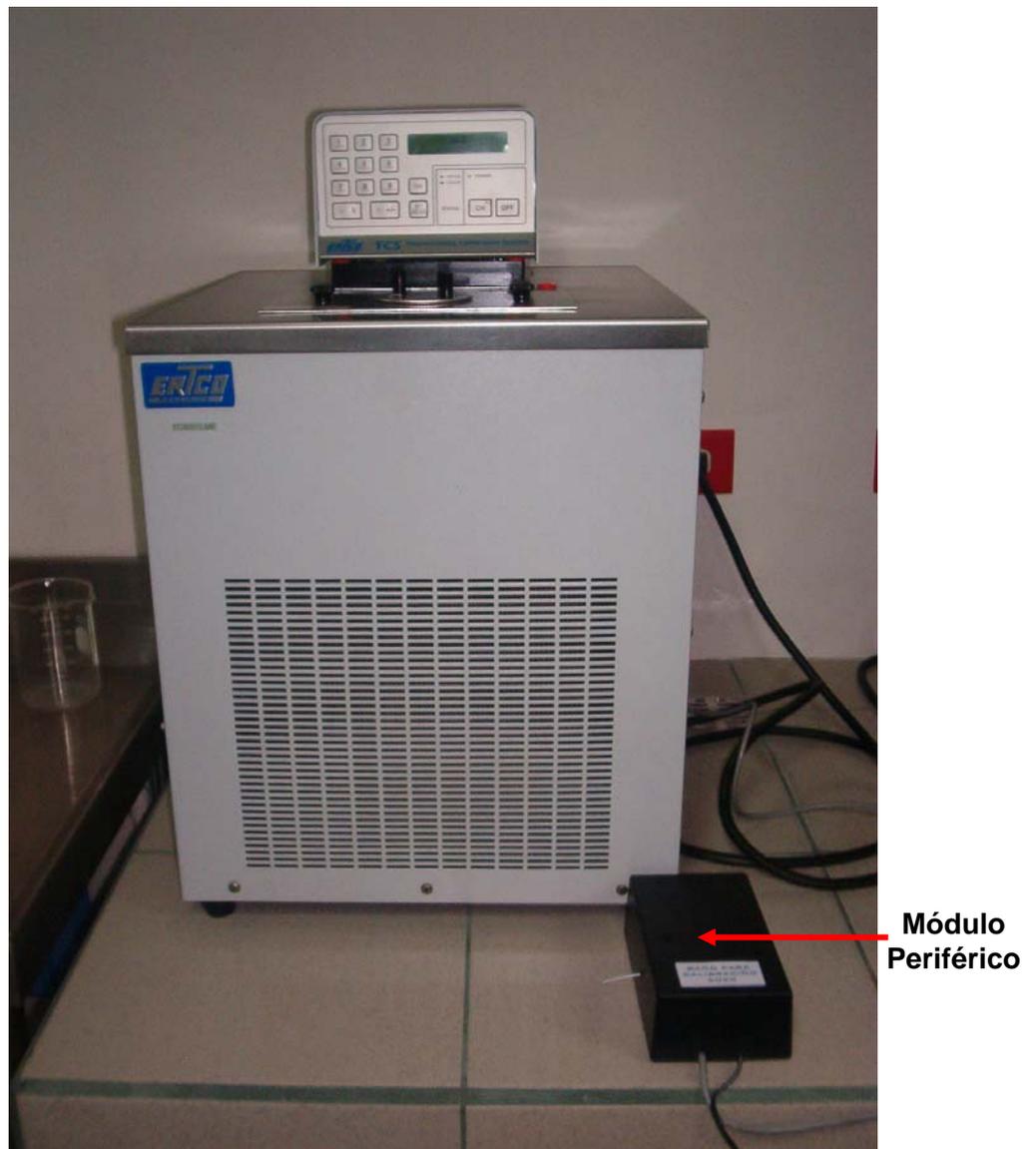


Figura 6.3 Fotografía del módulo periférico creado (producto final) conectado al baño de calibración 6020

Para realizar el montaje del sistema, primero se diseñaron y probaron los circuitos en protoboard (tarjetas para el montaje de circuitos), de manera que luego de finalizar con la programación y configuración de las tarjetas de comunicación de cada uno de los módulos, se realizaron pruebas en donde se comprobó el correcto funcionamiento de todo el sistema. Verificado lo anterior fue que se procedió a elaborar el diseño de las tarjetas impresas con el programa Target 3001! V11; el cual

es un programa que permite la simulación de circuitos y elaboración de diagramas para tarjetas impresas.

Finalizados los diagramas y revisados los mismos, se procedió a subcontratar la elaboración de éstos. Una vez que se tuvieron los circuitos impresos listos, se realizó nuevamente el montaje del sistema y se revisaron cada uno de los enlaces de comunicación por separado y luego de manera simultanea, poniendo a carga máxima el sistema (los 7 equipos en comunicación con la estación central de trabajo).

Como se ha apuntado en reiteradas ocasiones en el presente documento, fue desarrollada una aplicación que permite la interfaz del sistema de comunicación con el operador del mismo, para que le permita configurar y monitorear los equipos.

En dicha aplicación, con el objetivo de lograr una mejor visualización de los datos se procedió a dividir la pantalla de mediciones en dos páginas, en la primera se presentan cuatro equipos, el Black Stack 1560, el Thermometer 1502A, el indicador de temperatura TTI – 2 y el controlador de temperatura (Temperature Controller 2100), como se muestra en la Figura 6.4. Por otra parte en la página 2 se resumen tres equipos, el controlador de baño AYRIES CONTROLLER, el controlador de condiciones atmosféricas (temperatura y humedad relativa) Datalogger SK – L200TH y por último el baño para calibración 6020; el diseño de ésta página se puede observar en la Figura 6.5.

Como se puede observar en las figuras de las dos páginas siguientes, el programa provee de una serie de opciones al usuario del sistema. Por ejemplo en la Figura 6.4 existen las opciones para la configuración de cada uno de los equipos, además se tienen botones que despliegan las tablas con los valores que se están adquiriendo, así como opciones que permiten el despliegue de gráficos, los cuales se construyen en tiempo real.



Figura 6.4 Imagen de la página 1 de la pantalla de mediciones en la aplicación desarrollada

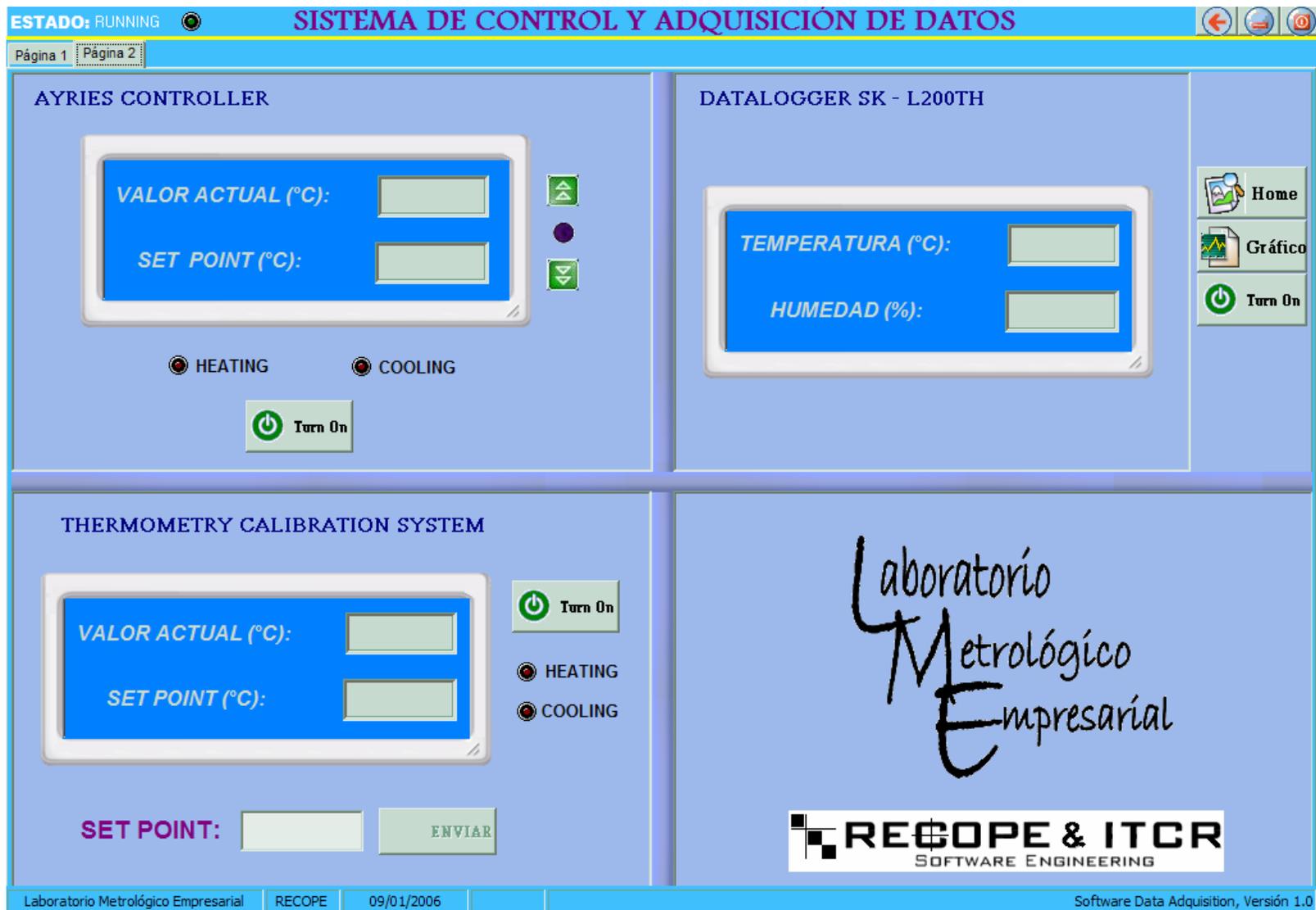


Figura 6.5 Imagen de la página 2 de la pantalla de mediciones en la aplicación desarrollada

En el caso de los equipos conjuntados en la página 2, el despliegue se realiza mediante paneles de medición que muestran el dato que se están sensando en ese momento, además de igual manera que en los otros equipos existe la opción de configuración de las pruebas.

Para la verificación del correcto funcionamiento del sistema, se adquirieron imágenes, del programa desarrollado en condiciones de monitoreo, para los cuales se conectaron a los equipos los diferentes instrumentos de medición necesarios (RTDs, termómetros, sensores de temperatura y humedad), en cada caso se mencionará la conexión realizada para la prueba.

Las pruebas fueron divididas en dos secciones, en donde en la primera parte se tomaron datos con los equipos que pertenecen a la página 1 de la pantalla de mediciones, para esto se conectaron en los cuatro en su entrada una RTD que permitiera sensar el valor de temperatura en el laboratorio y en el caso del TTI – 2, la resistencia medida en la RTD conectada. El laboratorio se encontraba mediante su sistema de aire acondicionado en una temperatura estable de 20 °C.

La recolección de datos se llevó a cabo por un período de más de dos horas, en forma simultánea, esto quiere decir que se encontraban todos los equipos conectados a la vez.

En la figura que se presenta en la página siguiente se tiene nuevamente una muestra de la página 1 de la pantalla de mediciones, pero en este caso el sistema se encuentra en operación.

Para obtener un análisis independiente de cada uno de los equipos se realiza una ampliación de cada una de las tomas de datos en los equipos. En la Figura 6.7, se presenta el caso del Black Stack 1560, como se observa la adquisición de datos se realiza cada minuto (se explicó en la sección de solución de software que este era el tiempo determinado por los encargados del laboratorio para hacer tomas de datos). El gráfico que se adquirió de esta prueba se ilustra en la Figura 6.8.

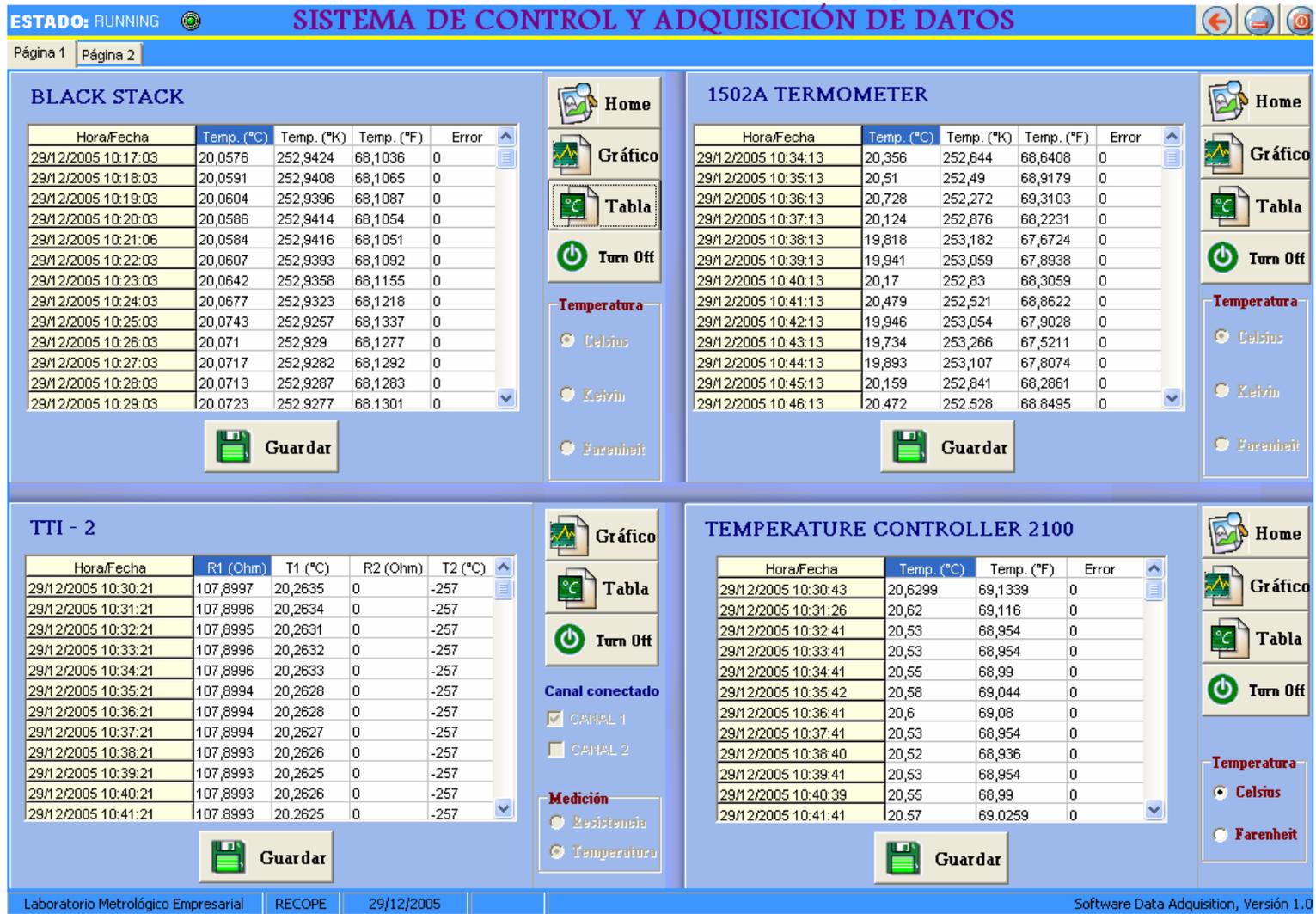


Figura 6.6 Imagen de la página 1 de la pantalla de mediciones en pleno funcionamiento

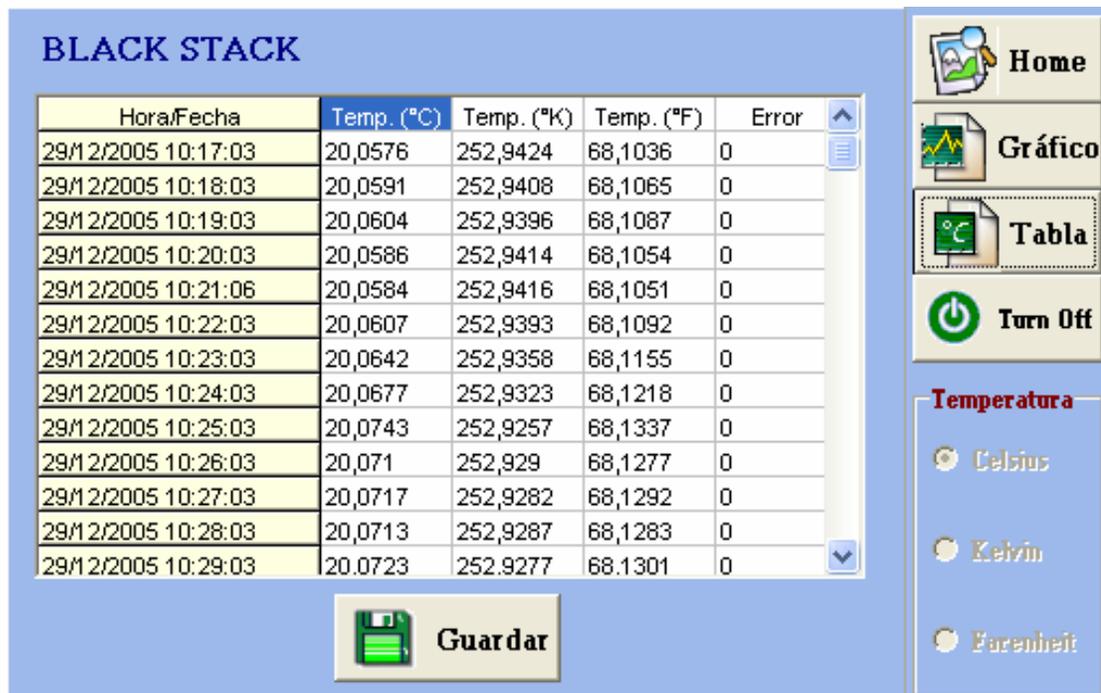


Figura 6.7 Imagen de la operación del Black Stack en el programa desarrollado

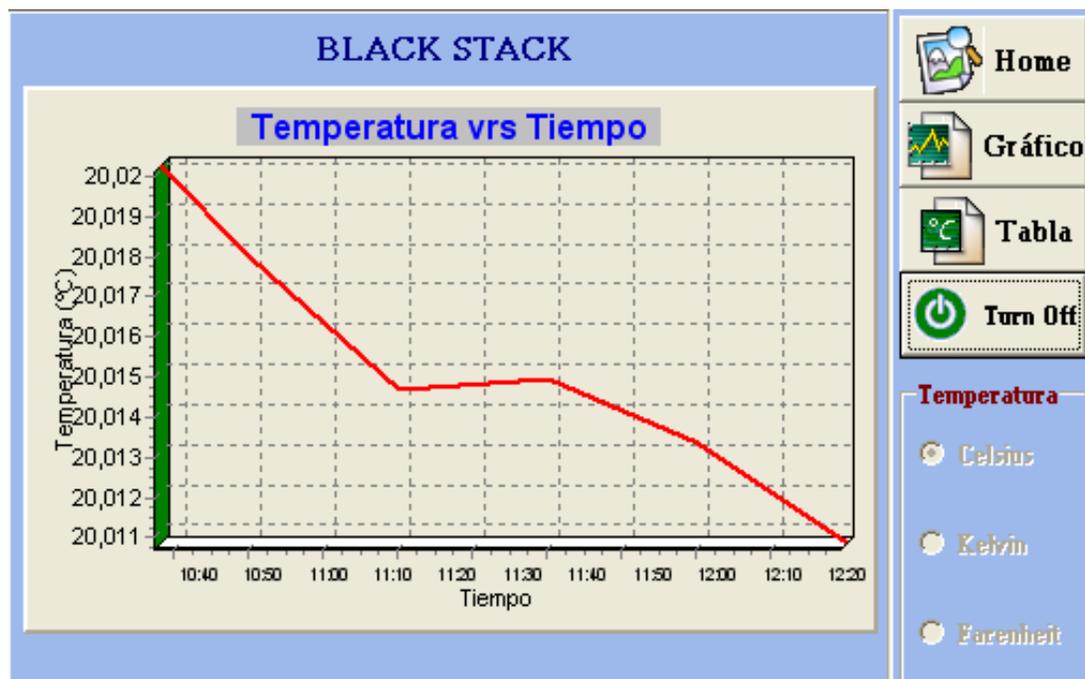


Figura 6.8 Gráfico trazado por el programa desarrollado a partir de los datos adquiridos en la operación del Black Stack

Del gráfico desplegado en la figura anterior se corrobora que durante la prueba no existió incoherencia en los datos adquiridos, la variación en los datos es menor al 0.01 °C, la cual es producto normal de la precisión del sensor utilizado.

En el apéndice A.4.1, se puede revisar la tabla que se adquirió mediante el programa (almacenado en formato de EXCEL por el sistema) con todos los datos recopilados en el tiempo en que duró la prueba.

De igual forma que para el Black Stack, se presenta a continuación una ampliación de la tabla creada con el programa para los datos tomados desde el 1502A Thermometer.

Hora/Fecha	Temp. (°C)	Temp. (°K)	Temp. (°F)	Error
29/12/2005 10:34:13	20,356	252,644	68,6408	0
29/12/2005 10:35:13	20,51	252,49	68,9179	0
29/12/2005 10:36:13	20,728	252,272	69,3103	0
29/12/2005 10:37:13	20,124	252,876	68,2231	0
29/12/2005 10:38:13	19,818	253,182	67,6724	0
29/12/2005 10:39:13	19,941	253,059	67,8938	0
29/12/2005 10:40:13	20,17	252,83	68,3059	0
29/12/2005 10:41:13	20,479	252,521	68,8622	0
29/12/2005 10:42:13	19,946	253,054	67,9028	0
29/12/2005 10:43:13	19,734	253,266	67,5211	0
29/12/2005 10:44:13	19,893	253,107	67,8074	0
29/12/2005 10:45:13	20,159	252,841	68,2861	0
29/12/2005 10:46:13	20,472	252,528	68,8495	0

Figura 6.9 Imagen de la operación del 1502A Thermometer en el programa desarrollado

La tabla resume la fecha y el tiempo en que se adquirieron los datos, presentando también la temperatura en las tres escalas que existen y tiene una columna en donde se notifica del estado de error, que es cero mientras los datos sean adquiridos de forma correcta (de existir algún error se pone un 1 en las casillas

de error). La Figura 6.10 muestra el gráfico que se construyó con los datos tomados durante esta prueba.

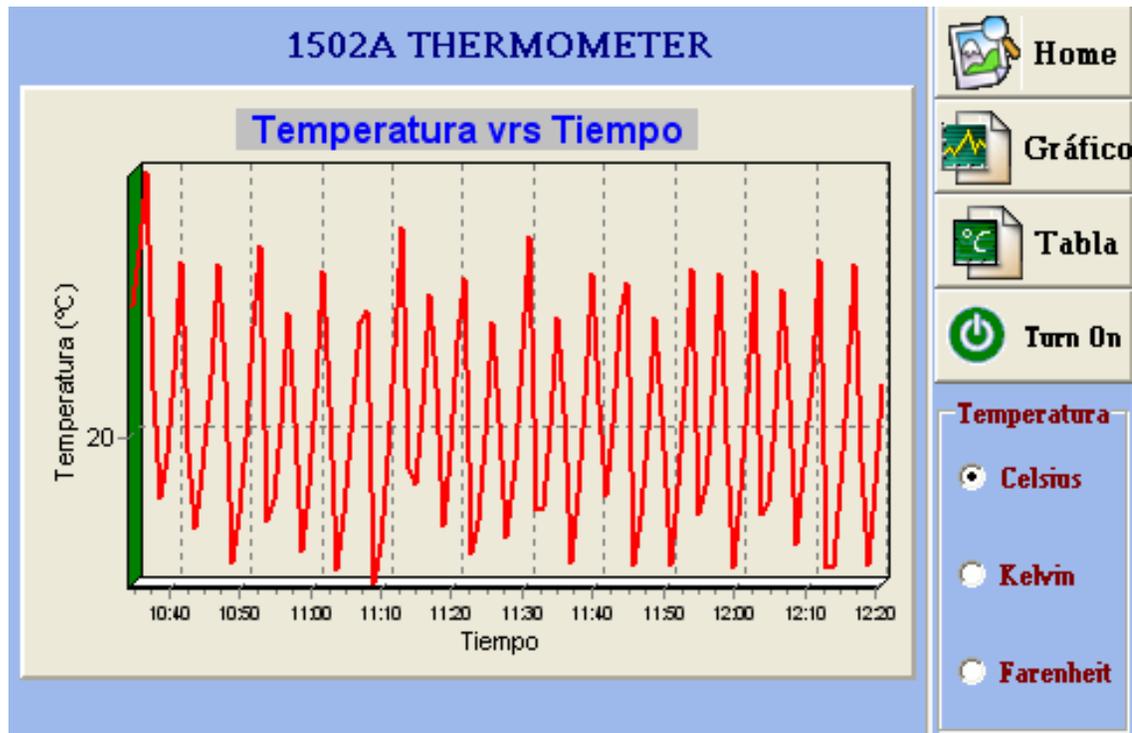


Figura 6.10 Gráfico trazado por el programa desarrollado a partir de los datos adquiridos en la operación del 1502A Termometer

Las variaciones presentes entre las mediciones tienen las mismas causas que para el equipo analizado anteriormente (precisión en el sensor utilizado).

En el apéndice A.4.2, se adjunta la tabla con todos los resultados obtenidos a partir de ésta prueba.

Siguiendo con el análisis, otro de los equipos que fue sometido a la prueba descrita fue el indicador de temperatura TTI – 2, desde el cual se leyó el valor de la temperatura sensada, así como el valor de la resistencia de la RTD que fue utilizada como sensor.

Como se visualiza en la Figura 6.11, para el indicador de temperatura se pueden adquirir datos desde dos canales, sin embargo durante la prueba debido a la falta de sensores solo se conectó el canal 1, es por esta razón que el dato de temperatura del canal 2 se da un valor de $-257\text{ }^{\circ}\text{C}$ (que representa un valor sin sentido, y es únicamente utilizado para notificar que no existe ningún sensor conectado al canal); en el caso de la resistencia se presenta un valor de $0\ \Omega$ (de igual forma es un valor que advierte al operador del sistema que no existe nada conectado en el canal).

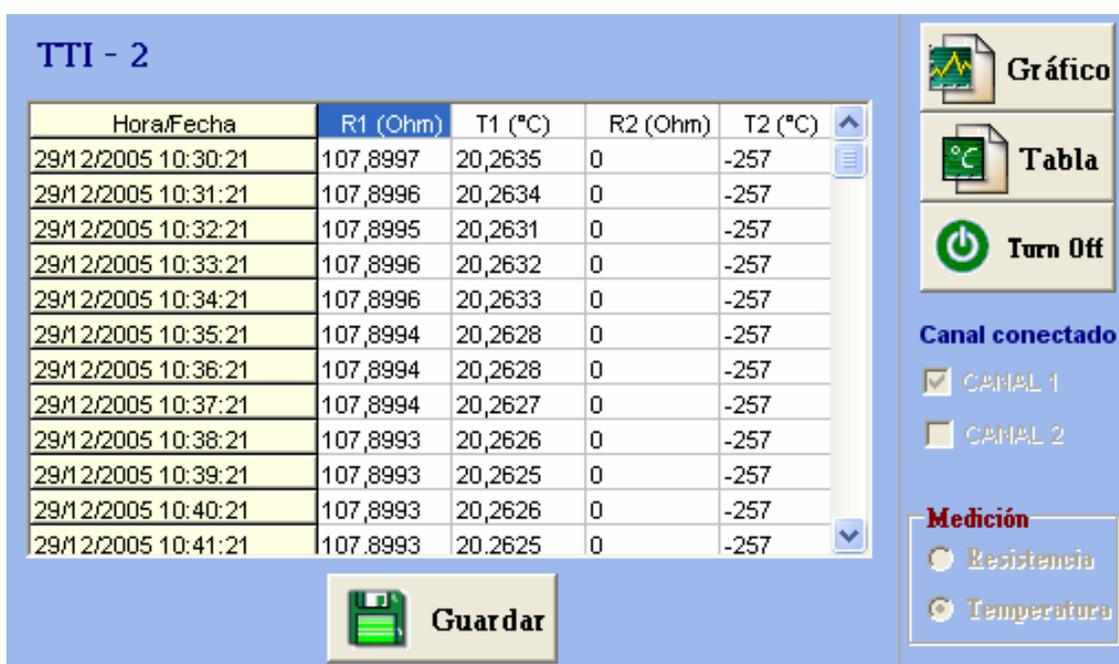


Figura 6.11 Imagen de la operación del TTI – 2 en el programa desarrollado

La RTD conectada al TTI – 2 tiene un valor de resistencia según su fabricante de $100\ \Omega$, como se puede ver claramente existe una diferencia significativa, pero ésta no se debe al sistema (éste valor era el que se leía también en el equipo), la incoherencia es producto de los coeficientes utilizados y programados en el equipo para parametrizar la norma utilizada en esta medición.

En el caso del TTI – 2 también es posible obtener el gráfico que se construye en tiempo real durante la ejecución de la prueba. En la siguiente figura se muestra el que se logró diseñar con base en las mediciones obtenidas.

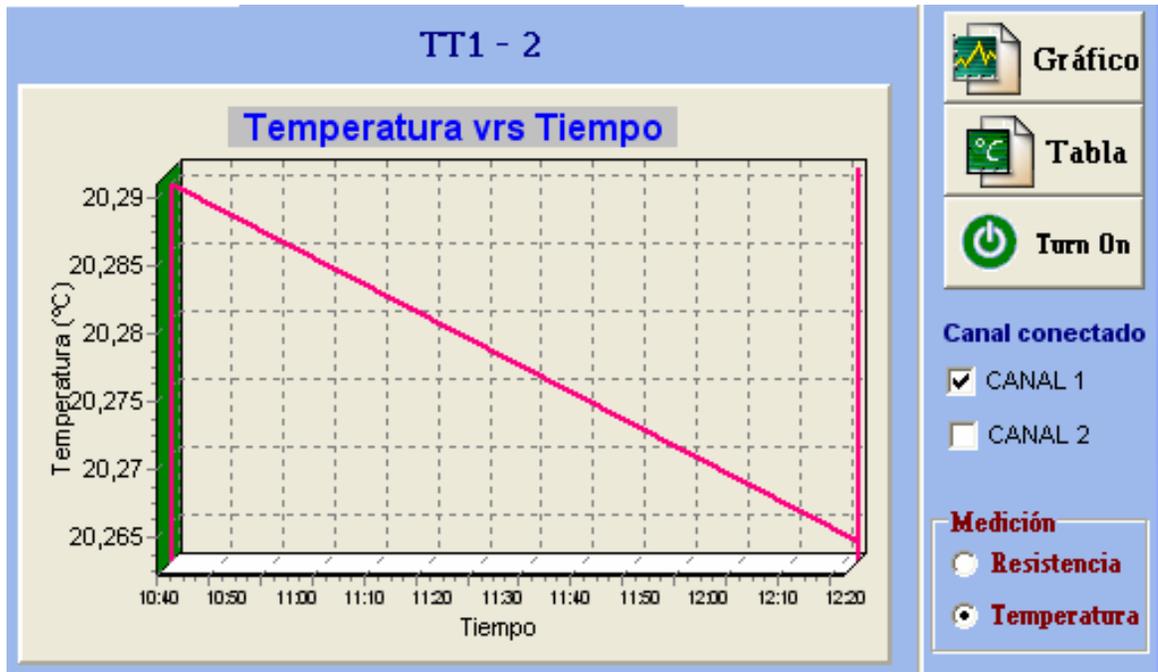


Figura 6.12 Gráfico trazado por el programa desarrollado a partir de los datos adquiridos en la operación del TTI – 2

El gráfico solamente presenta los valores de temperatura, esto se debe a que cuando se encendió la prueba se escogió en la casilla de medición la opción de temperatura, de forma que se establece en el programa que se desea visualizar los resultados de la temperatura medida.

La sección de apéndices (apéndice A.4.3) muestra todos los valores de temperatura y resistencia medidos mientras la prueba se encontraba encendida.

Para finalizar con el análisis de los resultados adquiridos con los equipos de la página 1 de la pantalla de mediciones, se tienen a continuación los valores medidos desde el controlador de temperatura (Temperature Controller 2100). En este caso la tabla solamente resume los valores de temperatura en grados Celsius y en la escala de grados Fahrenheit.

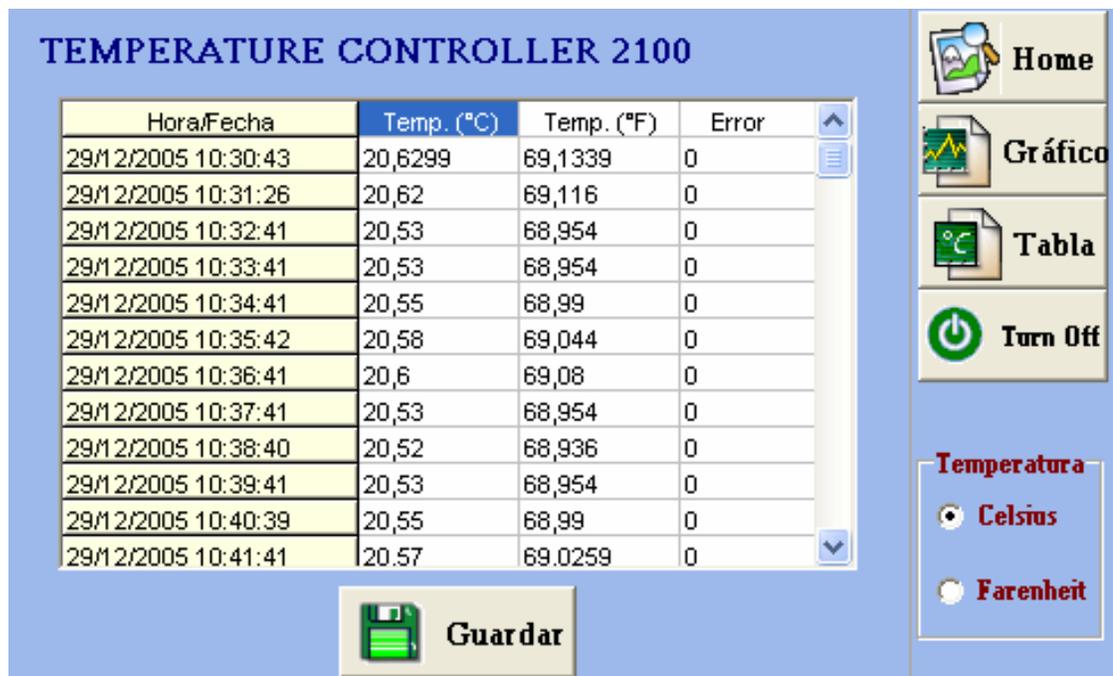


Figura 6.13 Imagen de la operación del Temperature Controller 2100 en el programa desarrollado

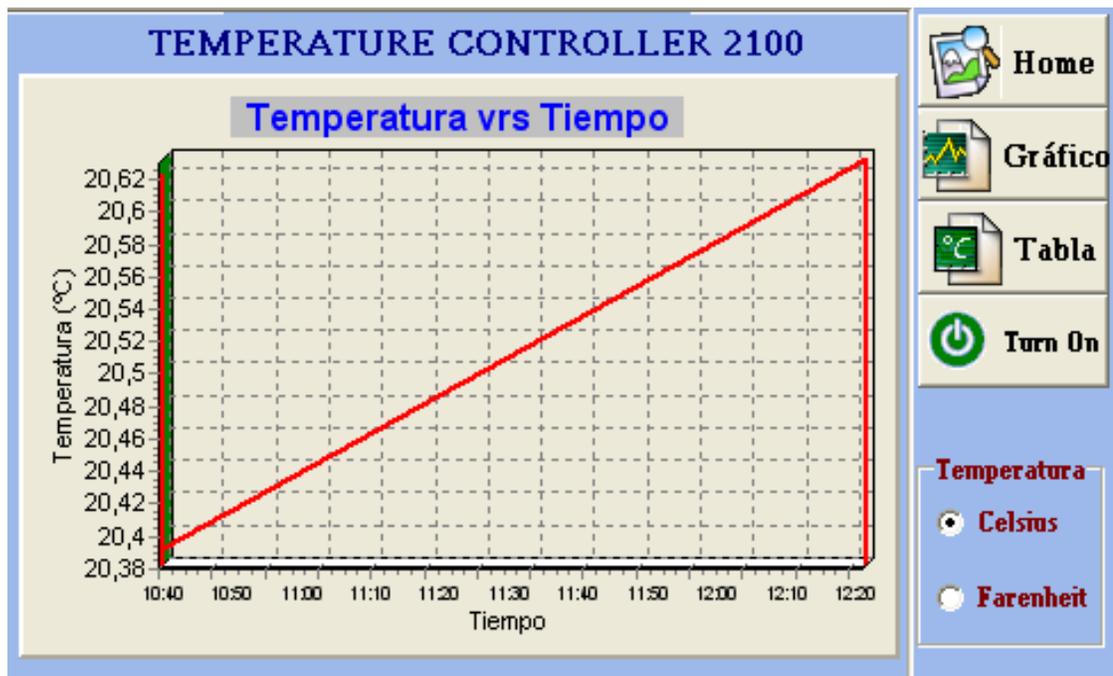


Figura 6.14 Gráfico trazado por el programa desarrollado a partir de los datos adquiridos en la operación del Temperature Controller 2100

Para los equipos de la página 2, la prueba realizada no fue la misma, a excepción del Datalogger SK – L200TH, desde el cual se midió el valor de la

temperatura y humedad presentes en el laboratorio, durante aproximadamente 15 horas. Se debe de recalcar que la adquisición de datos para este equipo se hace cada 15 minutos (por directrices de los encargados del laboratorio), es por esta razón que se decidió hacer una prueba de mayor duración.

En el caso del AYRIES CONTROLLER, se debe de recordar que este equipo es un controlador para baño (AYRIES Fluidized), de manera que la prueba consistió en configurar un setpoint (para este caso fue de 21.14 °C) y como se puede observar en la Figura 6.15, el panel presenta éste setpoint así como la temperatura adquirida en el momento de la medición (20.45 °C), encontrándose en una fase de calentamiento, como bien se pueden observar en los leds indicadores de proceso presentes en el módulo de medición del AYRIES CONTROLLER.

Con el Thermometry Calibration System (Baño para calibración 6020) se procedió de forma similar que para el caso mencionado anteriormente, estableciendo un setpoint de 30 °C. En el momento en que se captó la imagen de la prueba la temperatura sensada fue de 28.777 °C, de forma que el baño se encuentra en un proceso de calentamiento (señalado por los leds indicadores de proceso para el Thermometry Calibration System).

Por motivo de razones de extensión en el documento es que no se presentan el resultado completó de las pruebas, sin embargo en la sección de apéndices (A.4) se adjuntaron datos que evidencian el correcto funcionamiento del sistema durante las pruebas realizadas al mismo.

Para finalizar el análisis, es importante mencionar que cuando se tiene una carga máxima en el funcionamiento del sistema, la operación del mismo hace que el rendimiento del procesador de la computadora desde donde se está ejecutando el programa baje; sin embargo es bastante justificable, ya que en este instante se da una comunicación casi ininterrumpida con el puerto serie en donde se encuentra conectado el módulo central.



Figura 6.15 Imagen de la página 2 de la pantalla de mediciones en pleno funcionamiento

Capítulo 7: Conclusiones y Recomendaciones

7.1 Conclusiones

- Se logró implementar un sistema de comunicación inalámbrico capaz de monitorear, controlar y configurar las pruebas realizadas en los procedimientos de calibración de equipo del Laboratorio de Metrología Empresarial de RECOPE (Plantel El Alto).
- Para cada uno de los equipos del laboratorio, se diseñó un circuito que permite la interfaz de éstos con el sistema, de acuerdo a las necesidades y especificaciones de cada uno de los equipos.
- Todos los circuitos diseñados, menos el del módulo central y el módulo periférico del Datalogger; fueron implementados en tarjeta impresa.
- Los módulos periféricos, que se encargan de conectar a cada uno los equipos con el sistema, funcionaron correctamente, tanto para pruebas individuales como para pruebas con una carga de trabajo máxima (los 7 equipos conectados a la vez).
- El uso de canales de comunicación, permitió realizar adquisiciones de datos y configuraciones de pruebas en condiciones en donde había más de un equipo trabajando a la vez; sin presentarse errores debido a interferencias en las comunicaciones.
- Los objetivos específicos de software a nivel de la unidad central se cumplieron satisfactoriamente, diseñando e implementando rutinas para la adquisición de datos, manejo de errores del sistema, control de los equipos, configuración de los mismos y comunicación con una PC a través de un puerto serie RS232.
- Se presentaron problemas de incompatibilidad en la velocidad de comunicación del Temperature Controller 2100 y el protocolo de comunicación diseñado.

- Para solucionar el problema presente con la velocidad de transmisión del Temperatura Controller 2100 y el protocolo de comunicación diseñado, se utilizó un microcontrolador que interfaza las señales provenientes del equipo hacia el sistema de comunicación y viceversa.
- Cuando se tiene un caso de carga máxima en el funcionamiento del sistema (los 7 equipos con que cuenta el laboratorio en operación), el rendimiento de la PC, que está ejecutando la aplicación de control y monitoreo, disminuye, debido a la alta tasa en la transferencia de datos que se están realizando mediante puerto serie con el módulo central (esta a su vez nos comunica con todos los equipos del sistema).
- Para identificar el canal de frecuencia que debía establecerse en el módulo central, según el equipo con se fuera a realizar la comunicación, se definió un pseudo control de flujo por software, con un código que identifica cada uno de los equipos; a partir de éste se toman las decisiones en la aplicación desarrollada para el control del sistema.
- Debido a la gran diferencia en los códigos o tramas para establecer o validar comunicaciones en los equipos, no fue posible definir un pseudo control para el inicio y fin de comunicaciones, sino que en cada caso se estudió el comportamiento de los equipos y a partir de éste se definió la forma en como se iban a abrir y cerrar las comunicaciones.

7.2 Recomendaciones

- Es recomendable a la hora de adquirir equipos para el laboratorio, verificar bien si los manuales entregados con los equipos, contienen una documentación sobre protocolos de comunicación, que determine las características básicas del mismo; de no ser así se recomienda comprar dicha información a los fabricantes.
- Por motivos de seguridad y continuidad de las pruebas es que se recomienda, conectar el módulo central y los módulos periféricos que se encuentren en operación, a la línea de alimentación eléctrica del laboratorio conectada a la UPS.
- Para las adquisiciones de condiciones atmosféricas (temperatura y humedad) mediante el Datalogger SK – L200TH, que se efectúan las 24 horas del día, es recomendable descargar diariamente los datos adquiridos por el sistema al computador, con el fin de respaldar la información obtenida y evitar un posible desbordamiento de memoria, en caso de que se acumule una gran cantidad de datos.
- Se recomienda tratar de unificar lo máximo posible la compra de equipos a una misma casa comercial, ya que esto facilita la búsqueda de información y permite la estandarización en muchos procesos (por ejemplo en comunicaciones).
- Es recomendable que la computadora asignada como servidor del sistema, se utilice exclusivamente para el control y monitoreo del sistema, ya que cuando se trabaja a carga máxima (los 7 equipos en operación) el procesador se utiliza casi de forma exclusiva en tareas comunicación del sistema inalámbrico diseñado.
- Cuando se pretenda incluir algún otro equipo al sistema, es necesario revisar la tabla con los canales de comunicación utilizados, para evitar que se asignen canales ya ocupados; y se produzcan errores.
- Si se presenten errores en el sistema, se recomienda acudir a la tabla de errores presente en el manual de usuario entregado a RECOPE, para poder buscar las causas y así determinar posibles soluciones.

Bibliografía

- Stremmer, Ferrel. Introducción a los sistemas de comunicación. 3ª Edición. México: Pearson Education, 1993.
- Nicholas, J. V. Traceable Temperatures. 1ª Edición. Inglaterra: Wiley, 1994.
- Hart Scientific, Inc. 1560 Black Stack User's Guide. Estados Unidos, 1995.
- Hart Scientific, Inc. Thermometer User Manual. Estados Unidos, 1996.
- Hart Scientific, Inc. Calibration Baths User Manual. Estados Unidos, 1995.
- Sartorius AG. Electronic Analytical and Precision Balances Operating Instructions. Alemania, Junio 2002.
- Isothermal Technology Limited. TTI 2 Handbook. Inglaterra.
- Isothermal Technology Limited. AYRIES Bath Handbook. Inglaterra.

Metrología y sus características

<http://www.dictuc.cl/metrologia/quees.html>

<http://www.indecopi.gob.pe/nuestrosservicios/metrologiaycalibracion/anexo.asp>

Calibración

<http://www.indecopi.gob.pe/nuestrosservicios/metrologiaycalibracion/anexo.asp>

Microcontroladores

<http://www.microchip.com>

Módulos transmisores y receptores (transceivers)

<http://www.maxstream.net>

Apéndices

A.1 Glosario, abreviaturas y simbología

A.1.1 Abreviaturas

- ISO: International Standard Organizations.
- ITS: International Temperature Scale.
- RF: Radio Frecuencia.
- FM: Frecuencia Modulada.
- USART: Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter.

A.1.2 Definiciones importantes

- **Metrología:** Es la ciencia de las medidas; en su generalidad, trata del estudio y aplicación de todos los medios propios para la medida de magnitudes, tales como: longitudes, ángulos, masas, tiempos, velocidades, potencias, temperaturas, intensidades de corriente, entre otras. Por lo tanto se puede decir que la metrología entra en todos los dominios de la ciencia.
- **Calibración:** Es la comparación de un instrumento o sistema de medición de exactitud no verificada con un instrumento o sistema de exactitud conocida para detectar cualquier desviación del comportamiento requerido.
- **Transceiver (Transceptor):** Dispositivo que realiza, dentro de un mismo módulo funciones tanto de transmisión como de recepción, utilizando componentes de circuito comunes para ambas funciones. Dado que determinados elementos se utilizan tanto para la transmisión como para la recepción, la comunicación que provee un transceiver solo puede ser half duplex.
- **Half Duplex:** Sistema mediante el cual se puede transmitir datos en dos direcciones, pero esto no puede realizarse al mismo tiempo.

A.2 Información sobre la empresa

A.2.1 Descripción de la empresa

La Refinadora Costarricense de Petróleo S.A (RECOPE), es una empresa estatal dedicada al mercado de hidrocarburos derivados del petróleo, fuentes alternas y cementos asfálticos.

El objetivo de RECOPE, es satisfacer las necesidades con las que cuenta nuestro país en el mercado mencionado anteriormente, con productos y servicios de calidad, con seguridad industrial y un gran sentido de responsabilidad en materia ambiental, impulsando de esta manera el desarrollo sostenible de nuestro país.

En la actualidad RECOPE cuenta 5 con planteles de operaciones. La refinería en Moín, Limón; la terminal de distribución en El Alto de Ochoмого, Cartago; la terminal de distribución en La Garita, Alajuela, la terminal de distribución en Barranca, Puntarenas, la terminal de distribución en el Aeropuerto Juan Santamaría. Además de sus oficinas centrales ubicadas en San José.

A continuación se muestra un organigrama de la empresa.

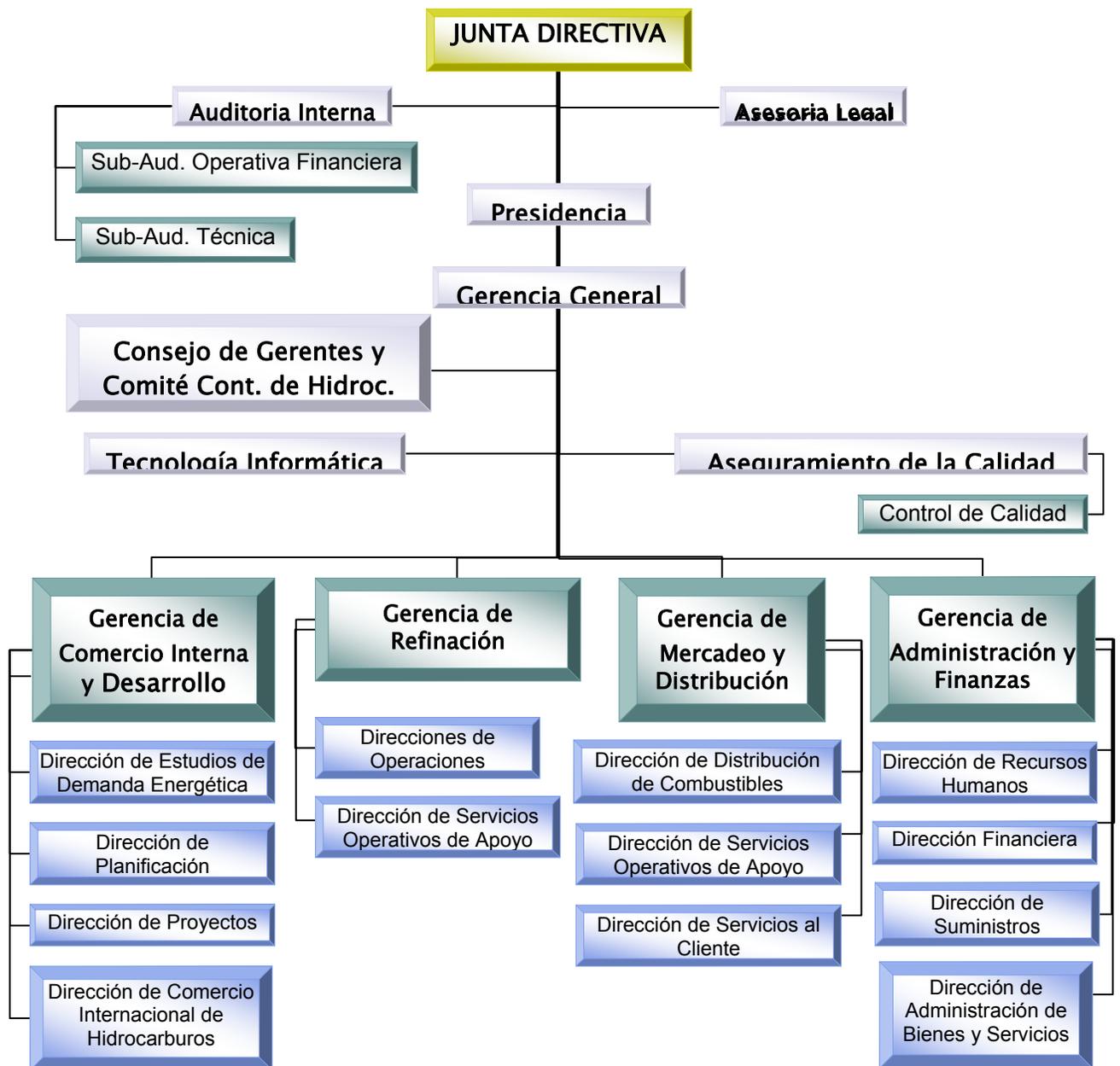


Figura A.2.1.1 Diagrama administrativo organizacional de RECOPE.

El proyecto se realiza en el departamento de aseguramiento de la calidad, específicamente en el Laboratorio de Metrología Empresarial del Plantel El Alto.

A.2.2 Descripción del departamento o sección en la que se realizará el proyecto

Con el afán de prever de seguridad sus funciones y asegurar la calidad en los productos que se están desarrollando dentro de los planteles de RECOPE, se cuenta con un departamento encargado de la parte de aseguramiento de la calidad

Dentro de las diferentes actividades que se realizan para el aseguramiento de calidad en el servicio que se brinda, RECOPE cuenta con un Laboratorio de Metrología Empresarial que brinda el servicio de la calibración de equipo que se utiliza en los procesos industriales de la empresa.

En éste laboratorio trabajan dos Ingenieros Químicos que se encargan de la elaboración, supervisión y análisis de las pruebas que se realizan a los equipos mediante los dispositivos con que cuentan en el laboratorio, para obtener los criterios que les permitan realizar la tarea de calibración de los mismos.

A.3 Cronograma de actividades

Tabla A.3.1 Cronograma de Actividades

#	Actividad	Antecesor	Duración
1	Estudio de los protocolos de comunicación que tienen cada uno de los equipos del laboratorio.		2 semana
2	Determinar las características de los componentes a utilizar en el desarrollo del proyecto.		1 semana
3	Búsqueda y selección de los componentes que se necesitan para el desarrollo del proyecto.	2	1 semana
4	Adquisición de los componentes que son necesarios para la elaboración del sistema.	3	8 semanas
5	Realizar el diseño del sistema de comunicación.	3	3 semanas
6	Diseñar e implementar las rutinas para los controladores de la unidad central y los periféricos.	4,5	3 semanas
7	Diseñar y elaborar la aplicación para la interfaz del sistema con el usuario.	5	5 semanas
8	Diseñar y probar el sistema de suministro de corriente de las diferentes partes del sistema.	5	1 semana
9	Realizar pruebas de funcionamiento para cada uno de los equipos periféricos.	6,8	2 semanas
10	Elaboración de circuitos impresos.	9	2 semanas
11	Verificar el correcto funcionamiento de la aplicación desarrollada para el monitoreo de la prueba, así como del archivo de los visualización de los resultados.	7	2 semanas
12	Instalación de todo el sistema integrado en su totalidad.	7,10,11	2 semanas
13	Elaboración de pruebas para comprobación del correcto funcionamiento del sistema y su interfaz con el usuario.	12	2 semanas
14	Realizar el informe final del proyecto y la presentación a la empresa del trabajo realizado.	13	2 semanas

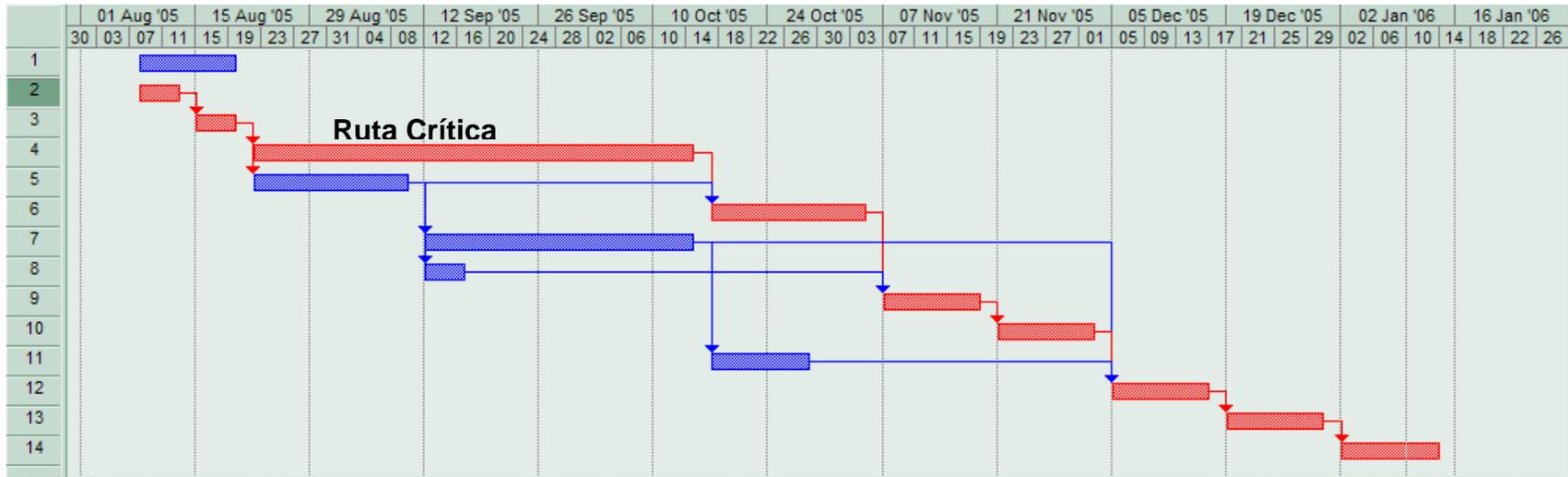


Figura A.3.1 Gráfico de Gantt (Inicio 8 de Agosto del 2005 – Fin 13 de Enero del 2006)

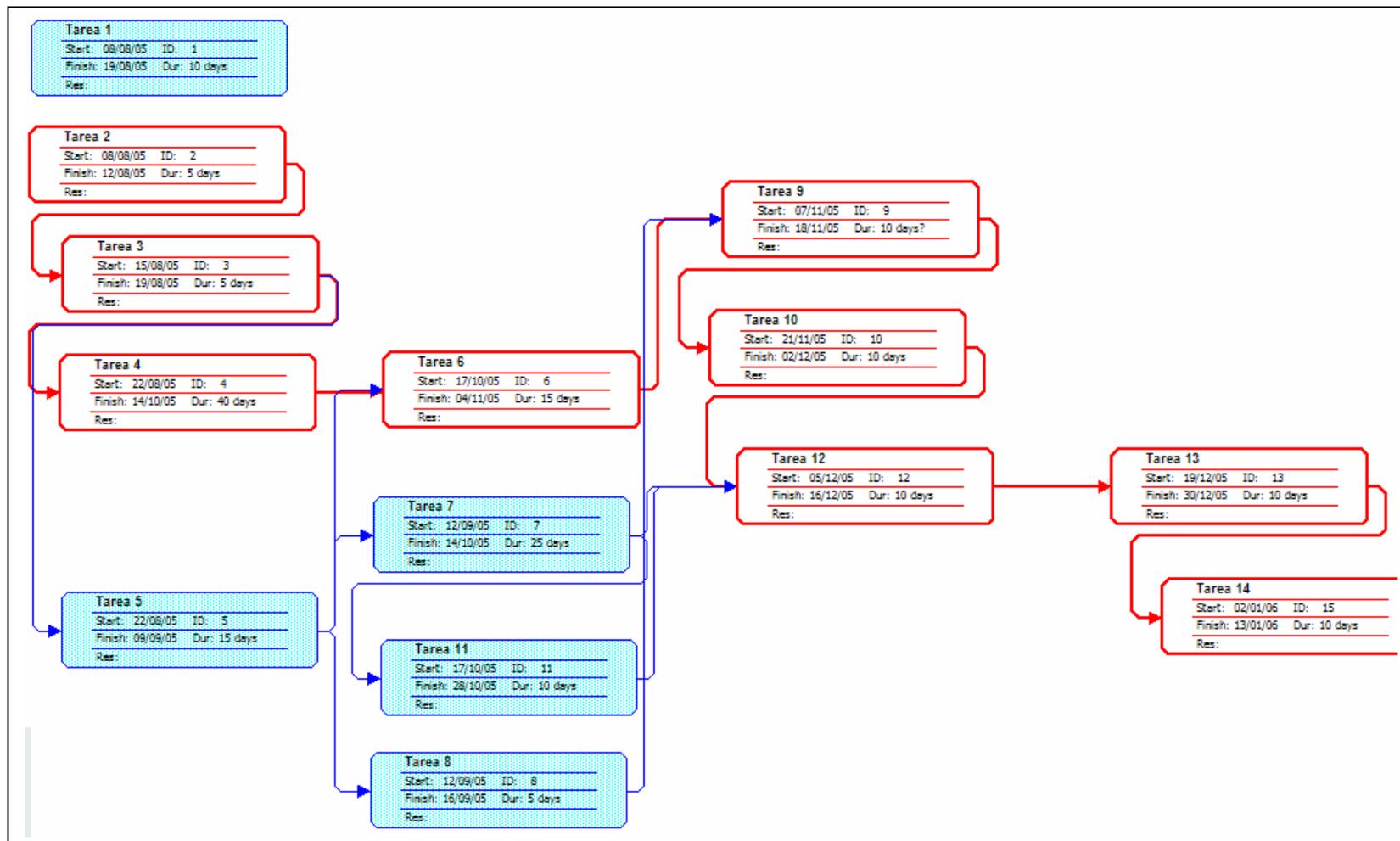


Figura A.3.2 Diagrama de Pert

A.4 Pruebas realizadas al sistema

Todas las pruebas que se muestran a continuación fueron tomadas en condiciones de operación normal del laboratorio a una temperatura controlada (mediante el sistema de aire acondicionado con que cuenta el laboratorio) de 20 °C.

A.4.1 Prueba para la adquisición de datos desde el equipo Black Stack

Tabla A.4.1 Tabla con los datos adquiridos en la prueba realizada bajo condiciones normales del laboratorio (20 °C) para el indicador digital Black Stack

HOJA DE DATOS BLACK STACK				
Hora/Fecha	Temp. (°C)	Temp. (°K)	Temp. (°F)	Error
29/12/2005 10:17	20,0576	252,9424	68,1036	0
29/12/2005 10:18	20,0591	252,9408	68,1065	0
29/12/2005 10:19	20,0604	252,9396	68,1087	0
29/12/2005 10:20	20,0586	252,9414	68,1054	0
29/12/2005 10:21	20,0584	252,9416	68,1051	0
29/12/2005 10:22	20,0607	252,9393	68,1092	0
29/12/2005 10:23	20,0642	252,9358	68,1155	0
29/12/2005 10:24	20,0677	252,9323	68,1218	0
29/12/2005 10:25	20,0743	252,9257	68,1337	0
29/12/2005 10:26	20,071	252,929	68,1277	0
29/12/2005 10:27	20,0717	252,9282	68,1292	0
29/12/2005 10:28	20,0713	252,9287	68,1283	0
29/12/2005 10:29	20,0723	252,9277	68,1301	0
29/12/2005 10:30	20,075	252,925	68,135	0
29/12/2005 10:31	20,0803	252,9197	68,1445	0
29/12/2005 10:32	20,0846	252,9154	68,1522	0
29/12/2005 10:33	20,0844	252,9156	68,1519	0
29/12/2005 10:34	20,0831	252,9169	68,1495	0
29/12/2005 10:35	20,0856	252,9144	68,154	0
29/12/2005 10:36	20,0869	252,9131	68,1564	0
29/12/2005 10:37	20,0914	252,9086	68,1645	0
29/12/2005 10:38	20,0907	252,9093	68,1632	0
29/12/2005 10:39	20,0912	252,9088	68,1641	0
29/12/2005 10:40	20,0894	252,9106	68,1609	0
29/12/2005 10:41	20,0909	252,9091	68,1636	0
29/12/2005 10:42	20,0955	252,9045	68,1719	0
29/12/2005 10:43	20,095	252,905	68,171	0
29/12/2005 10:44	20,093	252,907	68,1673	0
29/12/2005 10:45	20,0919	252,9081	68,1654	0

29/12/2005 10:46	20,0907	252,9093	68,1632	0
29/12/2005 10:47	20,096	252,904	68,1727	0
29/12/2005 10:48	20,0957	252,9043	68,1722	0
29/12/2005 10:49	20,0937	252,9063	68,1686	0
29/12/2005 10:50	20,0909	252,9091	68,1636	0
29/12/2005 10:51	20,0902	252,9098	68,1623	0
29/12/2005 10:52	20,093	252,907	68,1673	0
29/12/2005 10:53	20,094	252,906	68,1692	0
29/12/2005 10:54	20,0935	252,9065	68,1683	0
29/12/2005 10:55	20,0917	252,9083	68,165	0
29/12/2005 10:56	20,0925	252,9075	68,1664	0
29/12/2005 10:57	20,0932	252,9068	68,1677	0
29/12/2005 10:58	20,0925	252,9075	68,1664	0
29/12/2005 10:59	20,0902	252,9098	68,1623	0
29/12/2005 11:00	20,0874	252,9126	68,1573	0
29/12/2005 11:01	20,0894	252,9106	68,1609	0
29/12/2005 11:02	20,0912	252,9088	68,1641	0
29/12/2005 11:03	20,0897	252,9103	68,1614	0
29/12/2005 11:04	20,0877	252,9123	68,1578	0
29/12/2005 11:05	20,0846	252,9154	68,1522	0
29/12/2005 11:06	20,0841	252,9159	68,1513	0
29/12/2005 11:07	20,0861	252,9139	68,1549	0
29/12/2005 11:08	20,0856	252,9144	68,154	0
29/12/2005 11:09	20,0829	252,9171	68,1492	0
29/12/2005 11:10	20,0786	252,9214	68,1414	0
29/12/2005 11:11	20,0786	252,9214	68,1414	0
29/12/2005 11:12	20,0791	252,9209	68,1423	0
29/12/2005 11:13	20,0816	252,9184	68,1468	0
29/12/2005 11:14	20,0791	252,9209	68,1423	0
29/12/2005 11:15	20,0783	252,9217	68,1409	0
29/12/2005 11:16	20,0778	252,9222	68,14	0
29/12/2005 11:17	20,0801	252,9199	68,1441	0
29/12/2005 11:18	20,0793	252,9207	68,1427	0
29/12/2005 11:19	20,0771	252,9229	68,1387	0
29/12/2005 11:20	20,0758	252,9242	68,1364	0
29/12/2005 11:21	20,0771	252,9229	68,1387	0
29/12/2005 11:22	20,075	252,925	68,135	0
29/12/2005 11:23	20,0758	252,9242	68,1364	0
29/12/2005 11:24	20,0703	252,9297	68,1265	0
29/12/2005 11:25	20,0725	252,9275	68,1305	0
29/12/2005 11:26	20,0725	252,9275	68,1305	0
29/12/2005 11:27	20,0708	252,9292	68,1274	0
29/12/2005 11:28	20,068	252,932	68,1223	0
29/12/2005 11:29	20,0677	252,9323	68,1218	0
29/12/2005 11:30	20,0677	252,9323	68,1218	0
29/12/2005 11:31	20,0705	252,9295	68,1269	0

29/12/2005 11:32	20,0665	252,9335	68,1197	0
29/12/2005 11:33	20,066	252,934	68,1188	0
29/12/2005 11:34	20,0637	252,9363	68,1146	0
29/12/2005 11:35	20,0657	252,9343	68,1182	0
29/12/2005 11:36	20,0642	252,9358	68,1155	0
29/12/2005 11:37	20,0619	252,9381	68,1114	0
29/12/2005 11:38	20,0607	252,9393	68,1092	0
29/12/2005 11:39	20,0607	252,9393	68,1092	0
29/12/2005 11:40	20,0624	252,9376	68,1123	0
29/12/2005 11:41	20,0634	252,9366	68,1141	0
29/12/2005 11:42	20,0599	252,9401	68,1078	0
29/12/2005 11:43	20,0607	252,9393	68,1092	0
29/12/2005 11:44	20,0629	252,9371	68,1132	0
29/12/2005 11:45	20,0627	252,9373	68,1128	0
29/12/2005 11:46	20,0604	252,9396	68,1087	0
29/12/2005 11:47	20,0586	252,9414	68,1054	0
29/12/2005 11:48	20,0588	252,9411	68,106	0
29/12/2005 11:49	20,0608	252,9391	68,1096	0
29/12/2005 11:50	20,0599	252,9401	68,1078	0
29/12/2005 11:51	20,0574	252,9426	68,1033	0
29/12/2005 11:52	20,0556	252,9444	68,1	0
29/12/2005 11:53	20,0551	252,9449	68,0991	0
29/12/2005 11:54	20,0574	252,9426	68,1033	0
29/12/2005 11:55	20,0548	252,9451	68,0988	0
29/12/2005 11:56	20,0536	252,9464	68,0964	0
29/12/2005 11:57	20,0528	252,9472	68,095	0
29/12/2005 11:58	20,0554	252,9446	68,0997	0
29/12/2005 11:59	20,0554	252,9446	68,0997	0
29/12/2005 12:00	20,0521	252,9479	68,0937	0
29/12/2005 12:01	20,0508	252,9492	68,0914	0
29/12/2005 12:02	20,0511	252,9489	68,0919	0
29/12/2005 12:03	20,0528	252,9472	68,095	0
29/12/2005 12:04	20,0521	252,9479	68,0937	0
29/12/2005 12:05	20,0498	252,9502	68,0896	0
29/12/2005 12:06	20,0498	252,9502	68,0896	0
29/12/2005 12:07	20,0516	252,9484	68,0928	0
29/12/2005 12:08	20,0516	252,9484	68,0928	0
29/12/2005 12:09	20,0498	252,9502	68,0896	0
29/12/2005 12:10	20,0501	252,9499	68,0901	0
29/12/2005 12:11	20,0498	252,9502	68,0896	0
29/12/2005 12:12	20,0522	252,9477	68,0941	0
29/12/2005 12:13	20,0493	252,9507	68,0887	0
29/12/2005 12:14	20,0478	252,9522	68,086	0
29/12/2005 12:15	20,0465	252,9535	68,0836	0
29/12/2005 12:16	20,0455	252,9545	68,0819	0
29/12/2005 12:17	20,0478	252,9522	68,086	0

29/12/2005 12:18	20,0491	252,9509	68,0883	0
29/12/2005 12:19	20,0459	252,954	68,0828	0

A.4.2 Prueba de la adquisición de datos desde el 1502A Thermometer

Tabla A.4.2 Tabla con los datos adquiridos en la prueba realizada bajo condiciones normales del laboratorio (20 °C) para el termómetro digital 1502A Thermometer

HOJA DE DATOS 1502A TERMOMETER				
Hora/Fecha	Temp. (°C)	Temp. (°K)	Temp. (°F)	Error
29/12/2005 10:34	20,356	252,644	68,6408	0
29/12/2005 10:35	20,51	252,49	68,9179	0
29/12/2005 10:36	20,728	252,272	69,3103	0
29/12/2005 10:37	20,124	252,876	68,2231	0
29/12/2005 10:38	19,818	253,182	67,6724	0
29/12/2005 10:39	19,941	253,059	67,8938	0
29/12/2005 10:40	20,17	252,83	68,3059	0
29/12/2005 10:41	20,479	252,521	68,8622	0
29/12/2005 10:42	19,946	253,054	67,9028	0
29/12/2005 10:43	19,734	253,266	67,5211	0
29/12/2005 10:44	19,893	253,107	67,8074	0
29/12/2005 10:45	20,159	252,841	68,2861	0
29/12/2005 10:46	20,472	252,528	68,8495	0
29/12/2005 10:47	20,146	252,854	68,2628	0
29/12/2005 10:48	19,636	253,364	67,3447	0
29/12/2005 10:49	19,771	253,229	67,5878	0
29/12/2005 10:50	19,987	253,013	67,9765	0
29/12/2005 10:51	20,293	252,707	68,5274	0
29/12/2005 10:52	20,523	252,477	68,9414	0
29/12/2005 10:53	19,7509	253,249	67,5518	0
29/12/2005 10:54	19,811	253,189	67,6598	0
29/12/2005 10:55	20,026	252,974	68,0468	0
29/12/2005 10:56	20,333	252,667	68,5994	0
29/12/2005 10:57	20,031	252,969	68,0558	0
29/12/2005 10:58	19,668	253,332	67,4024	0
29/12/2005 10:59	19,849	253,151	67,7282	0
29/12/2005 11:00	20,119	252,881	68,2142	0
29/12/2005 11:01	20,452	252,548	68,8136	0
29/12/2005 11:02	20,078	252,922	68,1403	0
29/12/2005 11:03	19,616	253,384	67,3088	0

29/12/2005 11:04	19,773	253,227	67,5913	0
29/12/2005 11:05	20	253	68	0
29/12/2005 11:06	20,308	252,692	68,5543	0
29/12/2005 11:07	20,338	252,662	68,6083	0
29/12/2005 11:08	19,579	253,421	67,2422	0
29/12/2005 11:09	19,69	253,31	67,442	0
29/12/2005 11:10	19,934	253,066	67,8812	0
29/12/2005 11:11	20,235	252,765	68,423	0
29/12/2005 11:12	20,57	252,43	69,0259	0
29/12/2005 11:13	19,903	253,097	67,8254	0
29/12/2005 11:14	19,855	253,145	67,739	0
29/12/2005 11:15	20,074	252,926	68,1332	0
29/12/2005 11:16	20,385	252,615	68,693	0
29/12/2005 11:17	20,1259	252,874	68,2268	0
29/12/2005 11:18	19,743	253,257	67,5374	0
29/12/2005 11:19	19,949	253,051	67,9082	0
29/12/2005 11:20	20,256	252,744	68,4608	0
29/12/2005 11:21	20,433	252,567	68,7793	0
29/12/2005 11:22	19,665	253,335	67,397	0
29/12/2005 11:23	19,754	253,246	67,5572	0
29/12/2005 11:24	19,994	253,006	67,9891	0
29/12/2005 11:25	20,311	252,689	68,5598	0
29/12/2005 11:26	20,032	252,968	68,0576	0
29/12/2005 11:27	19,711	253,289	67,4798	0
29/12/2005 11:28	19,924	253,076	67,8631	0
29/12/2005 11:29	20,231	252,769	68,4158	0
29/12/2005 11:30	20,545	252,455	68,9809	0
29/12/2005 11:31	19,784	253,216	67,6112	0
29/12/2005 11:32	19,7919	253,208	67,6255	0
29/12/2005 11:33	20,02	252,98	68,036	0
29/12/2005 11:34	20,32	252,68	68,576	0
29/12/2005 11:35	20,055	252,945	68,099	0
29/12/2005 11:36	19,636	253,364	67,3447	0
29/12/2005 11:37	19,833	253,167	67,6994	0
29/12/2005 11:38	20,099	252,901	68,1782	0
29/12/2005 11:39	20,442	252,558	68,7956	0
29/12/2005 11:40	20,081	252,919	68,1458	0
29/12/2005 11:41	19,824	253,176	67,6832	0
29/12/2005 11:42	20,027	252,973	68,0486	0
29/12/2005 11:43	20,331	252,669	68,5957	0
29/12/2005 11:44	20,42	252,58	68,756	0
29/12/2005 11:45	19,633	253,367	67,3394	0
29/12/2005 11:46	19,766	253,234	67,5787	0
29/12/2005 11:47	20,0029	252,997	68,0054	0

29/12/2005 11:48	20,323	252,677	68,5814	0
29/12/2005 11:49	19,953	253,047	67,9154	0
29/12/2005 11:50	19,629	253,371	67,3321	0
29/12/2005 11:51	19,852	253,148	67,7336	0
29/12/2005 11:52	20,1279	252,872	68,2303	0
29/12/2005 11:53	20,456	252,544	68,8208	0
29/12/2005 11:54	19,775	253,225	67,595	0
29/12/2005 11:55	19,848	253,152	67,7264	0
29/12/2005 11:56	20,101	252,899	68,1818	0
29/12/2005 11:57	20,441	252,559	68,7938	0
29/12/2005 11:58	19,972	253,028	67,9496	0
29/12/2005 11:59	19,621	253,379	67,3178	0
29/12/2005 12:00	19,836	253,164	67,7047	0
29/12/2005 12:01	20,11	252,89	68,1979	0
29/12/2005 12:02	20,45	252,55	68,81	0
29/12/2005 12:03	19,771	253,229	67,5878	0
29/12/2005 12:04	19,807	253,193	67,6526	0
29/12/2005 12:05	20,065	252,935	68,117	0
29/12/2005 12:06	20,401	252,599	68,7218	0
29/12/2005 12:07	20,098	252,902	68,1764	0
29/12/2005 12:08	19,691	253,309	67,4438	0
29/12/2005 12:09	19,901	253,099	67,8218	0
29/12/2005 12:10	20,168	252,832	68,3024	0
29/12/2005 12:11	20,485	252,515	68,873	0
29/12/2005 12:12	19,622	253,378	67,3196	0
29/12/2005 12:13	19,621	253,379	67,3178	0
29/12/2005 12:14	19,856	253,144	67,7408	0
29/12/2005 12:15	20,133	252,867	68,2394	0
29/12/2005 12:16	20,47	252,53	68,846	0
29/12/2005 12:17	19,918	253,082	67,8524	0
29/12/2005 12:18	19,629	253,371	67,3321	0
29/12/2005 12:19	19,858	253,142	67,7444	0
29/12/2005 12:20	20,136	252,864	68,2447	0

A.4.3 Prueba de la adquisición de datos desde el indicador TTI – 2

Tabla A.4.3 Tabla con los datos adquiridos en la prueba realizada bajo condiciones normales del laboratorio (20 °C) para el indicador digital TTI – 2

HOJA DE DATOS TTI2				
Hora/Fecha	R1 (Ohm)	T1 (°C)	R2 (Ohm)	T2 (°C)
29/12/2005 10:30	107,8997	20,2635	0	-257
29/12/2005 10:31	107,8996	20,2634	0	-257
29/12/2005 10:32	107,8995	20,2631	0	-257
29/12/2005 10:33	107,8996	20,2632	0	-257
29/12/2005 10:34	107,8996	20,2633	0	-257
29/12/2005 10:35	107,8994	20,2628	0	-257
29/12/2005 10:36	107,8994	20,2628	0	-257
29/12/2005 10:37	107,8994	20,2627	0	-257
29/12/2005 10:38	107,8993	20,2626	0	-257
29/12/2005 10:39	107,8993	20,2625	0	-257
29/12/2005 10:40	107,8993	20,2626	0	-257
29/12/2005 10:41	107,8993	20,2625	0	-257
29/12/2005 10:42	107,8994	20,2627	0	-257
29/12/2005 10:43	107,8994	20,2627	0	-257
29/12/2005 10:44	107,8992	20,2622	0	-257
29/12/2005 10:45	107,8993	20,2625	0	-257
29/12/2005 10:46	107,8993	20,2625	0	-257
29/12/2005 10:47	107,8994	20,2628	0	-257
29/12/2005 10:48	107,8992	20,2624	0	-257
29/12/2005 10:49	107,8993	20,2625	0	-257
29/12/2005 10:50	107,8992	20,2623	0	-257
29/12/2005 10:51	107,8992	20,2622	0	-257
29/12/2005 10:52	107,8993	20,2625	0	-257
29/12/2005 10:53	107,8994	20,2627	0	-257
29/12/2005 10:54	107,8993	20,2625	0	-257
29/12/2005 10:55	107,8993	20,2626	0	-257
29/12/2005 10:56	107,8994	20,2628	0	-257
29/12/2005 10:57	107,8993	20,2627	0	-257
29/12/2005 10:58	107,8993	20,2627	0	-257
29/12/2005 10:59	107,8995	20,2629	0	-257
29/12/2005 11:00	107,8994	20,2629	0	-257
29/12/2005 11:01	107,8995	20,263	0	-257
29/12/2005 11:02	107,8996	20,2633	0	-257
29/12/2005 11:03	107,8995	20,2632	0	-257
29/12/2005 11:04	107,8996	20,2633	0	-257
29/12/2005 11:05	107,8997	20,2637	0	-257
29/12/2005 11:06	107,8996	20,2634	0	-257
29/12/2005 11:07	107,8998	20,2638	0	-257

29/12/2005 11:08	107,8998	20,264	0	-257
29/12/2005 11:09	107,8999	20,264	0	-257
29/12/2005 11:10	107,8999	20,264	0	-257
29/12/2005 11:11	107,9	20,2644	0	-257
29/12/2005 11:12	107,9001	20,2646	0	-257
29/12/2005 11:13	107,9002	20,2647	0	-257
29/12/2005 11:14	107,9002	20,2648	0	-257
29/12/2005 11:15	107,9004	20,2653	0	-257
29/12/2005 11:16	107,9004	20,2653	0	-257
29/12/2005 11:17	107,9005	20,2657	0	-257
29/12/2005 11:18	107,9005	20,2657	0	-257
29/12/2005 11:19	107,9007	20,2661	0	-257
29/12/2005 11:20	107,9008	20,2663	0	-257
29/12/2005 11:21	107,9008	20,2665	0	-257
29/12/2005 11:22	107,901	20,2668	0	-257
29/12/2005 11:23	107,9011	20,2671	0	-257
29/12/2005 11:24	107,9011	20,2673	0	-257
29/12/2005 11:25	107,9012	20,2675	0	-257
29/12/2005 11:26	107,9014	20,2678	0	-257
29/12/2005 11:27	107,9014	20,2678	0	-257
29/12/2005 11:28	107,9015	20,2683	0	-257
29/12/2005 11:29	107,9017	20,2687	0	-257
29/12/2005 11:30	107,9018	20,269	0	-257
29/12/2005 11:31	107,9019	20,2693	0	-257
29/12/2005 11:32	107,902	20,2696	0	-257
29/12/2005 11:33	107,9022	20,27	0	-257
29/12/2005 11:34	107,9023	20,2703	0	-257
29/12/2005 11:35	107,9025	20,2707	0	-257
29/12/2005 11:36	107,9026	20,2709	0	-257
29/12/2005 11:37	107,9027	20,2712	0	-257
29/12/2005 11:38	107,9028	20,2717	0	-257
29/12/2005 11:39	107,9029	20,2719	0	-257
29/12/2005 11:40	107,9031	20,2724	0	-257
29/12/2005 11:41	107,9033	20,2728	0	-257
29/12/2005 11:42	107,9034	20,2731	0	-257
29/12/2005 11:43	107,9036	20,2735	0	-257
29/12/2005 11:44	107,9037	20,2739	0	-257
29/12/2005 11:45	107,9039	20,2742	0	-257
29/12/2005 11:46	107,904	20,2746	0	-257
29/12/2005 11:47	107,9041	20,2749	0	-257
29/12/2005 11:48	107,9043	20,2754	0	-257
29/12/2005 11:49	107,9044	20,2758	0	-257
29/12/2005 11:50	107,9046	20,2761	0	-257
29/12/2005 11:51	107,9048	20,2767	0	-257
29/12/2005 11:52	107,905	20,2771	0	-257
29/12/2005 11:53	107,9051	20,2775	0	-257

29/12/2005 11:54	107,9053	20,278	0	-257
29/12/2005 11:55	107,9054	20,2782	0	-257
29/12/2005 11:56	107,9056	20,2787	0	-257
29/12/2005 11:57	107,9057	20,2791	0	-257
29/12/2005 11:58	107,9059	20,2795	0	-257
29/12/2005 11:59	107,9061	20,2801	0	-257
29/12/2005 12:00	107,9064	20,2807	0	-257
29/12/2005 12:01	107,9065	20,281	0	-257
29/12/2005 12:02	107,9067	20,2815	0	-257
29/12/2005 12:03	107,9068	20,2817	0	-257
29/12/2005 12:04	107,907	20,2825	0	-257
29/12/2005 12:05	107,9072	20,2829	0	-257
29/12/2005 12:06	107,9074	20,2833	0	-257
29/12/2005 12:07	107,9076	20,2838	0	-257
29/12/2005 12:08	107,9077	20,2843	0	-257
29/12/2005 12:09	107,908	20,2848	0	-257
29/12/2005 12:10	107,9081	20,2852	0	-257
29/12/2005 12:11	107,9083	20,2858	0	-257
29/12/2005 12:12	107,9085	20,2861	0	-257
29/12/2005 12:13	107,9087	20,2868	0	-257
29/12/2005 12:14	107,909	20,2873	0	-257
29/12/2005 12:15	107,9091	20,2878	0	-257
29/12/2005 12:16	107,9094	20,2885	0	-257
29/12/2005 12:17	107,9095	20,2889	0	-257
29/12/2005 12:18	107,9098	20,2893	0	-257
29/12/2005 12:19	107,91	20,2899	0	-257
29/12/2005 12:20	107,9101	20,2905	0	-257
29/12/2005 12:21	107,9103	20,291	0	-257

A.4.4 Prueba de la adquisición de datos desde el Temperature Controller 2100

Tabla A.4.4 Tabla con los datos adquiridos en la prueba realizada bajo condiciones normales del laboratorio (20 °C) para el controlador de temperatura (Temperature Controller 2100)

HOJA DE TEMPERATURE CONTROLLER 2100			
Hora/Fecha	Temp. (°C)	Temp. (°F)	Error
29/12/2005 10:30	20,6299	69,1339	0
29/12/2005 10:31	20,62	69,116	0
29/12/2005 10:32	20,53	68,954	0
29/12/2005 10:33	20,53	68,954	0
29/12/2005 10:34	20,55	68,99	0
29/12/2005 10:35	20,58	69,044	0
29/12/2005 10:36	20,6	69,08	0
29/12/2005 10:37	20,53	68,954	0
29/12/2005 10:38	20,52	68,936	0
29/12/2005 10:39	20,53	68,954	0
29/12/2005 10:40	20,55	68,99	0
29/12/2005 10:41	20,57	69,0259	0
29/12/2005 10:42	20,49	68,882	0
29/12/2005 10:43	20,49	68,882	0
29/12/2005 10:44	20,51	68,9179	0
29/12/2005 10:45	20,54	68,972	0
29/12/2005 10:46	20,58	69,044	0
29/12/2005 10:47	20,52	68,936	0
29/12/2005 10:48	20,49	68,882	0
29/12/2005 10:49	20,5	68,8999	0
29/12/2005 10:50	20,5	68,8999	0
29/12/2005 10:51	20,54	68,972	0
29/12/2005 10:52	20,53	68,954	0
29/12/2005 10:53	20,49	68,882	0
29/12/2005 10:54	20,5	68,8999	0
29/12/2005 10:55	20,51	68,9179	0
29/12/2005 10:56	20,54	68,972	0
29/12/2005 10:57	20,49	68,882	0
29/12/2005 10:58	20,48	68,864	0
29/12/2005 10:59	20,49	68,882	0
29/12/2005 11:00	20,49	68,882	0
29/12/2005 11:01	20,54	68,972	0
29/12/2005 11:02	20,4599	68,828	0
29/12/2005 11:03	20,4599	68,828	0
29/12/2005 11:04	20,4599	68,828	0
29/12/2005 11:05	20,49	68,882	0
29/12/2005 11:06	20,51	68,9179	0

29/12/2005 11:07	20,48	68,864	0
29/12/2005 11:08	20,43	68,774	0
29/12/2005 11:09	20,44	68,7919	0
29/12/2005 11:10	20,45	68,81	0
29/12/2005 11:11	20,49	68,882	0
29/12/2005 11:12	20,5	68,8999	0
29/12/2005 11:13	20,45	68,81	0
29/12/2005 11:14	20,45	68,81	0
29/12/2005 11:15	20,48	68,864	0
29/12/2005 11:16	20,5	68,8999	0
29/12/2005 11:17	20,47	68,846	0
29/12/2005 11:18	20,45	68,81	0
29/12/2005 11:19	20,4599	68,828	0
29/12/2005 11:20	20,49	68,882	0
29/12/2005 11:21	20,45	68,81	0
29/12/2005 11:22	20,42	68,756	0
29/12/2005 11:23	20,42	68,756	0
29/12/2005 11:24	20,44	68,7919	0
29/12/2005 11:25	20,48	68,864	0
29/12/2005 11:26	20,43	68,774	0
29/12/2005 11:27	20,43	68,774	0
29/12/2005 11:28	20,44	68,7919	0
29/12/2005 11:29	20,48	68,864	0
29/12/2005 11:30	20,47	68,846	0
29/12/2005 11:31	20,41	68,738	0
29/12/2005 11:32	20,42	68,756	0
29/12/2005 11:33	20,44	68,7919	0
29/12/2005 11:34	20,4599	68,828	0
29/12/2005 11:35	20,39	68,702	0
29/12/2005 11:36	20,39	68,702	0
29/12/2005 11:37	20,4	68,72	0
29/12/2005 11:38	20,43	68,774	0
29/12/2005 11:39	20,48	68,864	0
29/12/2005 11:40	20,4	68,72	0
29/12/2005 11:41	20,4	68,72	0
29/12/2005 11:42	20,42	68,756	0
29/12/2005 11:43	20,45	68,81	0
29/12/2005 11:44	20,41	68,738	0
29/12/2005 11:45	20,3799	68,6839	0
29/12/2005 11:46	20,39	68,702	0
29/12/2005 11:47	20,42	68,756	0
29/12/2005 11:48	20,45	68,81	0
29/12/2005 11:49	20,39	68,702	0
29/12/2005 11:50	20,39	68,702	0
29/12/2005 11:51	20,39	68,702	0
29/12/2005 11:52	20,42	68,756	0

29/12/2005 11:53	20,42	68,756	0
29/12/2005 11:54	20,39	68,702	0
29/12/2005 11:55	20,39	68,702	0
29/12/2005 11:56	20,42	68,756	0
29/12/2005 11:57	20,4599	68,828	0
29/12/2005 11:58	20,41	68,738	0
29/12/2005 11:59	20,39	68,702	0
29/12/2005 12:00	20,4	68,72	0
29/12/2005 12:01	20,42	68,756	0
29/12/2005 12:02	20,44	68,7919	0
29/12/2005 12:03	20,39	68,702	0
29/12/2005 12:04	20,4	68,72	0
29/12/2005 12:05	20,42	68,756	0
29/12/2005 12:06	20,4599	68,828	0
29/12/2005 12:07	20,39	68,702	0
29/12/2005 12:08	20,39	68,702	0
29/12/2005 12:09	20,4	68,72	0
29/12/2005 12:10	20,44	68,7919	0
29/12/2005 12:11	20,43	68,774	0
29/12/2005 12:12	20,3799	68,6839	0
29/12/2005 12:13	20,39	68,702	0
29/12/2005 12:14	20,4	68,72	0
29/12/2005 12:15	20,43	68,774	0
29/12/2005 12:16	20,45	68,81	0
29/12/2005 12:17	20,3799	68,6839	0
29/12/2005 12:18	20,3799	68,6839	0
29/12/2005 12:19	20,39	68,702	0
29/12/2005 12:20	20,42	68,756	0
29/12/2005 12:21	20,44	68,7919	0
29/12/2005 12:22	20,39	68,702	0

A.4.5 Prueba de la adquisición de datos desde el Datalogger SK – L200TH

Tabla A.4.5 Tabla con los datos adquiridos en la prueba realizada bajo condiciones normales del laboratorio (20 °C) para el Datalogger SK – L200TH

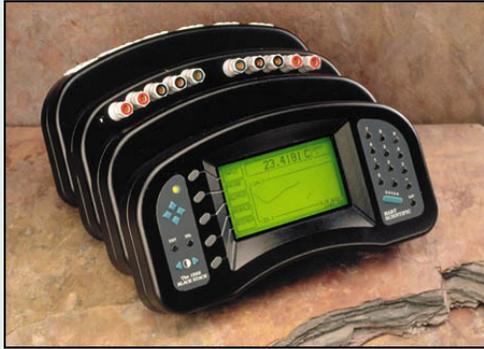
HOJA DE DATOS DATALOGGER		
Temperatura Mayor: 21,6	Fecha: 29/12/2005 15:02:35	
Temperatura Menor: 18,3	Fecha: 30/12/2005 6:47:34	
Humedad Mayor: 68	Fecha: 29/12/2005 20:32:35	
Humedad Menor: 61,9	Fecha: 30/12/2005 5:02:34	
Fecha	Temperatura(°C)	Humedad (%)
29/12/2005 14:47	21,6	66,1
29/12/2005 15:02	21,6	65,7
29/12/2005 15:17	21,4	65,6
29/12/2005 15:32	21,3	65,8
29/12/2005 15:47	21,2	67,4
29/12/2005 16:02	21,1	66,2
29/12/2005 16:17	21,1	67
29/12/2005 16:32	21	64,6
29/12/2005 16:47	21	66,3
29/12/2005 17:02	20,9	67,1
29/12/2005 17:17	20,8	64,8
29/12/2005 17:32	20,6	67
29/12/2005 17:47	20,5	67,3
29/12/2005 18:02	20,5	67,3
29/12/2005 18:17	20,5	67,2
29/12/2005 18:32	20,4	65,1
29/12/2005 18:47	20,3	66,1
29/12/2005 19:02	20,3	66,1
29/12/2005 19:17	20,3	66,1
29/12/2005 19:32	20,2	66,4
29/12/2005 19:47	20,2	65,6
29/12/2005 20:02	20,2	67,5
29/12/2005 20:17	20,2	67,7
29/12/2005 20:32	20,1	68
29/12/2005 20:47	19,9	66,8

29/12/2005 21:02	20	67,2
29/12/2005 21:17	20,1	65,3
29/12/2005 21:32	19,8	66,2
29/12/2005 21:47	19,9	64,8
29/12/2005 22:02	19,8	64,3
29/12/2005 22:17	19,8	63,9
29/12/2005 22:32	19,8	63,5
29/12/2005 22:47	19,7	63,2
29/12/2005 23:02	19,6	63
29/12/2005 23:17	19,6	62,8
29/12/2005 23:32	19,5	62,6
29/12/2005 23:47	19,4	62,4
30/12/2005 00:02	19,4	62,4
30/12/2005 00:17	19,3	62,3
30/12/2005 00:32	19,3	62,3
30/12/2005 00:47	19,2	62,2
30/12/2005 01:02	19,1	62,1
30/12/2005 01:17	19,1	62,2
30/12/2005 01:32	19	62,2
30/12/2005 01:47	19	62,3
30/12/2005 02:02	19	62,3
30/12/2005 02:17	19	62,4
30/12/2005 02:32	18,9	62,6
30/12/2005 02:47	18,9	62,8
30/12/2005 03:02	18,9	63
30/12/2005 03:17	18,9	63,2
30/12/2005 03:32	18,8	62,9
30/12/2005 03:47	18,7	62,1
30/12/2005 04:02	18,6	61,9
30/12/2005 04:17	18,6	62,1
30/12/2005 04:32	18,6	62
30/12/2005 04:47	18,4	61,9
30/12/2005 05:02	18,4	61,9
30/12/2005 05:17	18,4	62,3
30/12/2005 05:32	18,4	62,6
30/12/2005 05:47	18,4	62,9
30/12/2005 06:02	18,4	62,9
30/12/2005 06:17	18,4	62,9
30/12/2005 06:32	18,3	62,9
30/12/2005 06:47	18,3	62,6

Anexos

B.1 Datos técnicos Termómetro Digital 1560 Black Stack

THE BLACK STACK - Model 1560



The Black Stack Model 1560

Reads SPRTs, RTDs, thermistors, and thermocouples
 Any configuration you like up to eight modules
 High-accuracy reference thermometer (to $\pm 0.0013^\circ\text{C}$)
 Automates precision data acquisition

Specifications

Model 1560 Base Unit

Power: 100 to 240 VAC, 50 or 60 Hz, nominal; Attachable Modules: up to 8; Display: 4.25" x 2.25" LCD graphics, LED backlight, adjustable contrast and brightness; Automatic Input Sequencing: 1 to 96 channels; Communications: RS-232; Non-volatile Memory: channel sequence, probe coefficients; Minimum Sample Time: 2 seconds.

Extended Communication Module 3560

The Extended Communication Module adds additional communication interface capability to the system. This module includes a GPIB (IEEE-488) interface, Centronics printer interface, and analog output. The GPIB interface connects the 1560 to a GPIB bus. GPIB can be used to control any function of the 1560 and read measurement data. The printer interface allows the 1560 to send measurement data directly to a printer. The analog output sources a DC signal (± 1.25 VDC) corresponding to the value of a measurement.

Resistance Modules

Input Channels	Resistance Range	Basic Resistance Accuracy	Resistance Resolution	Temperature Range	Equivalent Temperature Accuracy [†]	Temperature Resolution	Excitation Current
SPRT Module 2560							
2	0 Ω to 400 Ω	± 20 ppm of reading (0.0005 Ω at 25 Ω , 0.002 Ω at 100 Ω)	0.0001 Ω	-260 $^\circ\text{C}$ to 962 $^\circ\text{C}$	$\pm 0.005^\circ\text{C}$ at 0 $^\circ\text{C}$ $\pm 0.007^\circ\text{C}$ at 100 $^\circ\text{C}$	0.0001 $^\circ\text{C}$	1.0 mA, 1.4 mA
High-Temp PRT Module 2561							
2	0 Ω to 25 Ω	± 50 ppm of reading (0.000135 Ω at 2.5 Ω)	0.00001 Ω	0 $^\circ\text{C}$ to 1200 $^\circ\text{C}$	$\pm 0.013^\circ\text{C}$ at 0 $^\circ\text{C}$ $\pm 0.018^\circ\text{C}$ at 100 $^\circ\text{C}$	0.001 $^\circ\text{C}$	3.0 mA, 5.0 mA
PRT Scanner 2562							
8	0 Ω to 400 Ω	± 40 ppm of reading (0.004 Ω at 100 Ω)	0.0001 Ω	-200 $^\circ\text{C}$ to 850 $^\circ\text{C}$	$\pm 0.01^\circ\text{C}$ at 0 $^\circ\text{C}$ $\pm 0.014^\circ\text{C}$ at 100 $^\circ\text{C}$	0.0001 $^\circ\text{C}$	1.0 mA, 1.4 mA
Standards Thermistor Module 2563							
2	0 Ω to 1 M Ω	± 50 ppm of reading (0.5 Ω at 10 K Ω)	0.1 Ω	-60 $^\circ\text{C}$ to 260 $^\circ\text{C}$	$\pm 0.0013^\circ\text{C}$ at 0 $^\circ\text{C}$ $\pm 0.0015^\circ\text{C}$ at 75 $^\circ\text{C}$	0.0001 $^\circ\text{C}$	2 μA , 10 μA
Thermistor Scanner 2564							
8	0 Ω to 1 M Ω	± 100 ppm of reading (1 Ω at 10 K Ω)	0.1 Ω	-60 $^\circ\text{C}$ to 260 $^\circ\text{C}$	$\pm 0.0025^\circ\text{C}$ at 0 $^\circ\text{C}$ $\pm 0.003^\circ\text{C}$ at 75 $^\circ\text{C}$	0.0001 $^\circ\text{C}$	2 μA , 10 μA
1000Ω PRT Module 2567							
2	0 Ω to 4 K Ω	± 25 ppm of reading (0.025 at 1 K Ω)	0.001 Ω	-260 $^\circ\text{C}$ to 962 $^\circ\text{C}$	$\pm 0.006^\circ\text{C}$ at 0 $^\circ\text{C}$ $\pm 0.009^\circ\text{C}$ at 100 $^\circ\text{C}$	0.0001 $^\circ\text{C}$	0.1 mA, 0.05 mA
1000Ω PRT Scanner 2568							
8	0 Ω to 4 K Ω	± 40 ppm of reading (0.04 at 1 K Ω)	0.001 Ω	-200 $^\circ\text{C}$ to 850 $^\circ\text{C}$	$\pm 0.01^\circ\text{C}$ at 0 $^\circ\text{C}$ $\pm 0.014^\circ\text{C}$ at 100 $^\circ\text{C}$	0.0001 $^\circ\text{C}$	0.1 mA, 0.05 mA

Thermocouple Modules

B.2 Datos técnicos Termómetro Digital 1502 Tweener

Thermometer Readouts for RTD, PRT, and Thermistor Sensors 1502A (1502), 1503, and 1504



Features

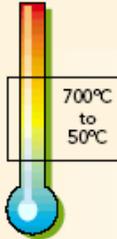
Three Tweeners to choose from
 Battery packs available
 Best price/performance package

Specifications	1502A	1503	1504
Temperature Range [†]	-200°C to 962°C (-328°F to 1764°F)	-200°C to 1200°C (-328°F to 2192°F)	Any thermistor range
Resistance Range	0Ω to 400Ω, auto-ranging	0Ω to 25Ω, auto-ranging	0Ω to 1 MΩ, auto-ranging
Probe	Nominal R_{TPW} : 25Ω to 100Ω RTD, PRT, or SPRT	Nominal R_{TPW} : 0.25Ω, 2.5Ω, 3Ω, and 5Ω PRT	Thermistors
Characterizations	ITS-90 subranges 4, 6, 7, 8, 9, 10, and 11 IPTS-68: R_0 , α , δ , a_4 , and c_4 Callendar-Van Dusen: R_0 , α , δ , and β	ITS-90 subranges 6, 7, and 8 HTPRT 7th-order polynomial reference function with optional 2nd-order deviation function Callendar-Van Dusen: R_0 , α , and δ	Steinhart-Hart thermistor polynomial Callendar-Van Dusen: R_0 , α , δ , and β
Resistance Accuracy (ppm of reading)	0Ω to 20Ω: 0.0005Ω 20Ω to 400Ω: 25 ppm	0Ω to 2.5Ω: 0.0002Ω 2.5Ω to 25Ω: 80 ppm	0Ω to 5 KΩ: 0.5Ω 5 KΩ to 200 KΩ: 100 ppm 200 KΩ to 1 MΩ: 300 ppm
Temperature Accuracy [†] , typical (meter only)	±0.004°C at -100°C ±0.006°C at 0°C ±0.009°C at 100°C ±0.012°C at 200°C ±0.018°C at 400°C ±0.024°C at 600°C	2.5Ω–5Ω nominal R_{TPW} -200°C to 100°C: ±0.02°C 100°C to 400°C: ±0.05°C 400°C to 800°C: ±0.1°C 800°C to 1000°C: ±0.125°C 1000°C to 1200°C: ±0.15°C 0.25Ω nominal R_{TPW} 0°C to 500°C: ±0.25°C 500°C to 1200°C: ±0.3°C	±0.002°C at 0°C ±0.002°C at 25°C ±0.004°C at 50°C ±0.010°C at 75°C ±0.020°C at 100°C (Using 10 KΩ thermistor sensor, $\alpha=0.04$. Does not include probe uncertainty or characterization errors.)
Operating Temperature Range	16°C to 30°C	13°C to 33°C	13°C to 33°C
Resistance Resolution	0Ω to 20Ω: 0.0001Ω 20Ω to 400Ω: 0.001Ω	0Ω to 10Ω: 0.00001Ω 10Ω to 25Ω: 0.0001Ω	0Ω to 10 KΩ: 0.01Ω 10 KΩ to 100 KΩ: 0.1Ω 100 KΩ to 1 MΩ: 1Ω
Temperature Resolution	0.001°C	0.01°C	0.0001°C
Excitation Current	0.5 and 1 mA, user selectable, 2 Hz	3 and 5 mA, user selectable	2 and 10 μA, automatically selected
Measurement Period	1 second		
Digital Filter	Exponential, 0 to 60 seconds time constant (user selectable)		
Probe Connection	4-wire with shield, 5-pin DIN connector		
Communications	RS-232 serial standard IEEE-488 (GPIB) optional		
Display	8-digit, 7-segment, yellow-green LED; 0.5-inch-high characters		
Power	115 VAC (±10%), 50/60 Hz, 10 A, nominal 230 VAC (±10%), 50/60 Hz, 10 A, nominal, specify		
Size	5.6" W x 7.1" D x 2.4" H (143 x 181 x 61 mm)		
Weight	2.2 lb. (1.0 kg)		
Probes from Hart	5612, 5613, 5614, 5627, 5626, 5628, 5622		5640-44, 5610-65

[†]Temperature ranges and accuracy may be limited by the sensor you use.

B.3 Datos técnicos Baño de calibración, AYRIES Fluidized

875 Fluidized Calibration Bath



The IsoTech fluidised calibration bath out performs dangerous salt baths in all respects: wider temperature range, less hazardous and better uncertainties. The Isothermal Technology Limited patented fluidized bath is the result of 20 years research and development into flow patterns, powder technology and filtration. Recent developments have enabled the baths facilities to be extended even further, it is now eminently suitable for Liquid in glass thermometer calibration. To achieve this the filter and exhaust system were re-designed to cope with the increased level of powder needed for Liquid in glass thermometer calibration.

The result is a calibration system to national standards. The performance is only matched by heat pipe technology. The profiles are so small that the bath has been used by National Laboratories for fixed points of Indium through Aluminium, with great success. In comparison mode 2 sigma uncertainties of $\pm 0.020^{\circ}\text{C}$ at 300°C and $\pm 0.035^{\circ}\text{C}$ at 660°C can be obtained.

This is the only product capable of covering a very wide temperature range without a change of thermal media. Like most fluidized bed baths, the 875 bath consists of a container of aluminium oxide powder with a porous baseplate. Sufficient air is passed through the baseplate to motivate the powder into a fluid like state so that it will flow, display buoyancy effects and have good heat transfer characteristics.

A disadvantage of many fluidized-bed baths is that good temperature stability and uniformity cannot be achieved in the fluidized medium itself. They are obtained by using large metal blocks or by inhibiting the fluidising action in the powder around the workpiece - either locally, or by completely collapsing the bed at the required temperature, this is not the case with the 875. A full evaluation report is available upon request.

*Wide temperature range, High Accuracy,
Absolute ± 0.0005 to $\pm 0.004^{\circ}\text{C}$ using Freeze Point Cells.
Comparison Calibration
 ± 0.020 to $\pm 0.035^{\circ}\text{C}$ at 660°C ,
No powder loss into the Laboratory*

Model No.	875
Temperature Range	50°C to 700°C
Accuracy	Absolute ± 0.0005 to ± 0.004 using freeze point cells $\pm 0.020^{\circ}\text{C}$ to $\pm 0.035^{\circ}\text{C}$ at 660°C using comparison calibration
Working Volume	67mm diameter } using 875/02 475mm deep }
Heaters	3 x 1 kW
Power	3kw, 208-240VAC, 50/60Hz
Warm Up Time	From 50°C to 700°C, 240 minutes
Supply Air Pressure	Less than 1 BAR 100 litres/minute max
Communications	Supplied as standard with serial interface, PC adaptor cable and Cal Notepad, see page 46
Safety	Safety melting fuse. Blocked filter out-out Low flow indication. Elapsed time indication. Over pressure diaphragm
Installation	Via single phase supply
Dimensions	Height (overall) 1570mm Height (To top of body) 880mm Depth 640mm Width 580mm
Weight	Fluidising Medium 22kgs Overall Approx. 85kgs
How to Order	
Model 875	Fluidized Calibration Bath



B.4 Datos técnicos Baño de calibración 6020

Introduction

The Hart Scientific 6020 series hot baths are constant temperature baths intended mainly for the application of temperature calibration. However, their high stability and the availability of factory modifications, such as a circulation pump, make these baths suitable for other uses as well.

Details specific to each bath model are in the appendices.



6020 Series of Calibration Baths

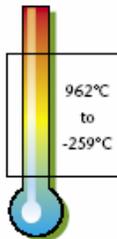
Specifications and Environmental Conditions

Specifications

	6020	6021	6022	6024
Range	20°C to 300°C†	20°C to 200°C†	20°C to 300°C†	20°C to 300°C†
Stability	±0.001°C at 40°C (water) ±0.003°C at 100°C (oil) ±0.005°C at 300°C (oil)			
Uniformity	±0.002°C at 40°C (water) ±0.004°C at 100°C (oil) ±0.012°C at 300°C (oil)			
Temperature Setting	Digital display with push-button data entry			
Set-point Resolution	0.01°C; high-resolution mode, 0.00018°C			
Display Temperature Resolution	0.01°C			
Digital Setting Accuracy	±1°C			
Digital Setting Repeatability	±0.02°C			
Heaters	350 and 1050 watts	250 and 1250 watts	350 and 1050 watts	
Access Opening	5" x 10" (127 x 254 mm)	7.25" x 12" (184 x 305 mm)	5" x 10" (127 x 254 mm)	7.25" x 12.75" (184 x 324 mm)
Depth	12" (305 mm)	18.25" (464 mm)	18.25" (464 mm)	13.25" (337 mm)
Wetted Parts	304 Stainless Steel			
Power	115 VAC (±10%), 50/60 Hz, 10 A or 230 VAC (±10%), 50/60 Hz, 5 A, specify, 1075 W			
Current	15 A @ 115 VAC (±10%) 8 A @ 230 VAC (±10%)	16 A @ 115 VAC (±10%) 8 A @ 230 VAC (±10%)	11 A @ 115 VAC (±10%) 6 A @ 230 VAC (±10%)	15 A @ 115 VAC (±10%) 8 A @ 230 VAC (±10%)
Chiller Option	N/A	Caron Model 7050	N/A	N/A
Volume	7.2 gallons (27 liters)	11.2 gallons (42 liters)		
Weight	70 lb. (32 kg)	80 lb. (36 kg)	80 lb. (36 kg)	80 lb. (36 kg)
Size	25.5" H x 16" W x 20" D (648 x 406 x 508 mm)	32" H x 16" W x 20" D (813 x 406 x 508 mm)	32" H x 16" W x 20" D (813 x 406 x 508 mm)	27.5" H x 19" W x 23" D (699 x 483 x 587 mm)
Automation Package	Interface-it software and RS-232 computer interface are available for setting bath temperature via remote computer. For IEEE-488, add the 2001-IEEE to the automation package.			

†External cooling required for operation below 40°C. Cooling coils are built into the bath walls. Tubing ports are accessible at the back of the bath for circulating chilled fluid or shop air to boost cooling.

B.5 Datos técnicos Indicador de Temperatura TTI2



True Temperature Indicator

Model TTI-2

If you need the very finest bridge at the Millikelvin accuracy level then the Isotech TTI-2 will delight you. Here are just some of the reasons why TTI-2 is the preferred instrument in many laboratories including Isotech's Secondary Laboratory.

1. The display shows the true unfiltered single measurement value, not an artificially filtered value which appears stable only due to filtering and averaging of values.
2. There are no preset type controls such as variable resistors in the design, it is completely solid state. Calibration adjustments are software controlled.
3. There are no mechanical relays, so the TTI-2 has increased life and reliability.
4. Simultaneous display of two channels — essential for high quality comparison calibration.
5. In statistics mode, the TTI-2 resolves and averages up to 50 readings of 2 channels simultaneously and present the mean values (Temperature, Resistance or Ratio) to $\pm 0.00001^\circ\text{C}$ resolution as well as giving the standard deviation of the mean value.
6. The TTI-2 uses a single power source which reduces noise effects considerably.
7. Password protection — prevents unauthorized tampering with the Bridge.
8. The Bridge automatically stops and awaits instruction once the standard thermometer has been either over-temperated, or has passed its recalibration date.

With an uncertainty of better than 1mK (0.001°C), this temperature indicator is the best of its kind.

Based on its use, one German D.K.D. approved laboratory has obtained a calibration schedule with a total uncertainty of 0.5mK at the triple point of water.

The TTI-2 can be programmed with up to 10 thermometer characteristics and in Isotech's UKAS Laboratory, the TTI-2 is now the main measurement device.

If you would like to know more about the TTI-2 we have a video, a comprehensive handbook, and a P.T.B. evaluation.

SECONDARY LAB

SPECIFICATIONS

Model	TTI-2
Measuring Current	0.5mA
Self Heating Test	1/√2 x measuring current
Measuring Range	-200°C to +850°C with 100Ω Probes -259°C to 962°C with 25.5Ω Probes
Resolution Temperature	0.01mK (Statistics Mode)
Uncertainty Temperature	Typically 1mK. (depending on temperature)
External Resistor Input	1
1 or 2 Sensors	4 wire connected
Measuring time	0.72 seconds
Data Output Serial Interface	RS232 for easy data storage
2 Analog Outputs	0 to 5 volts/10 bit
Ambient Range	0°C to 35°C
Temperature Coefficient	0.1ppm of total range/°C
Power	25W, 85-260VAC, 50/60Hz
Interference Voltage Suppression	180dB
Dimensions	160mm x 360mm x 375mm (HxWxD)
Weight	18.74 lbs (8.5kg)

HOW TO ORDER

TTI-2 True Temperature Indicator

Features

- Accuracy up to $\pm 0.001^\circ\text{C}$
- Resolution up to 0.00001°C on average and standard deviation display
- 10 Thermometer Characteristics can be programmed into the TTI-2
- Proven Operation at International Level Indicates °C, °F, K or Ratio
- 2 Thermometer Channels plus 1 external Reference Resistor Channel as standard
- Range -259°C to $+962^\circ\text{C}$
- Simple to Use SPRT/PRT Instrument



B.6 Datos técnicos Temperatura Controller 2100



Benchtop Controllers Models 2100 and 2200

Most stable temperature controllers available

Resolution as high as 0.00018°C

RS-232 interface included for automating applications

Specifications

Temperature Range	2100: -100°C to 670°C 2200: -100°C to 800°C
Control Stability	2100: ±0.0005°C to ±0.002°C 2200: ±0.005°C to ±0.02°C (depends on system design)
Display Accuracy (with probes shown below)	±1.0°C without system calibration
Auxiliary and Heater Output	2100: 100–125 nominal VAC or 230 nominal VAC (internally switchable), 50/60 Hz, 10 A max. 2200: 100–230 VAC, 50/60 Hz, 10 A max.
Heater Output	Solid-state relay
Dimensions	2100: 2.83" H x 6.75" W x 9.86" D (72 x 172 x 250 mm) 2200: 2.85" H x 4.5" W x 7" D (72 x 114 x 178 mm)
Probes	2620: RTD, 11" x 0.187" (280 x 4.8 mm), -100 to 550°C 2622: RTD, 9" x 0.187" (229 x 4.8 mm), -100 to 550°C 2624: RTD, 14" x 0.187" (356 x 4.8 mm), -100 to 550°C 2611: Thermistor, 9" x 0.218" (229 x 5.5 mm), -10°C to 110°C (2100 controller only) 5635: Type K thermocouple, 12" x 0.187" (305 x 4.7 mm), 1200°C for cutout

B.7 Datos técnicos Datalogger SK – L200TH

DATALOGGERS SK-L200 SERIES	
	<p>No. 8016-00 DATALOGGER SK-L200TH No. 8015-00 DATALOGGER SK-L200T Memory capacity is 8,100 lines of data per ch. Built-in and external sensors can be selectable. By using the datalogger with special analysis software for Windows, acquired data can be evaluated quickly. Measuring range : SK-L200TH</p> <ul style="list-style-type: none">◆ Built-in sensor : Ch.1 : -10to60°C(14to140°F) Ch.2 : 20to99.9%◆ Ext. sensor : Ch.1 : -10to60°C (14to140°F) Ch.2 : 20to99.9%
SK-L200T	SK-L200TH
¥24,800 to	SATO KEIRYOKI MFG. CO., LTD. 03-3254-8112

B.8 Datos técnicos 9XCite OEM RF Module

9XCite™ OEM RF Module

900 MHz - Low Power - Low Cost OEM RF Modules by MaxStream, Inc.

Long Range Performance

Indoor/urban Range:	up to 300' (90 m)
Outdoor line-of-sight Range:	up to 1000 ft. (300 m) w/ 2.1 dB dipole antenna
Receiver Sensitivity:	-108 dBm (@9600 bps)
Throughput Data Rate:	9,600 or 38,400 bps



**RS-232/485 & USB
Interface packages available**

Low Power

Transmit Current:	55 mA
Receive Current:	35 mA
Power-down Current:	20 μ A

Easy-to-Use

No configuration or tweaking is necessary for out-of-box RF operation. Simply feed data into one module, then the data is sent out the other end of the wireless link.

If more advanced functionality is needed, the modules support an extensive set of commands.

"Instant Gratification..."

The radios worked perfectly together right out of the box."

- Fred Eady

Circuit Cellar "Radio Roundup"

In describing the out-of-box experience

he gathered from the MaxStream Development Kit.

Key Features

\$ Price-to-Performance Value.
Due to innovations stamped in its design, the 9XCite Module yields 2-8x the range of competing modules. This allows OEMs and integrators to cover more ground with fewer devices. Additionally, 9XCite Modules are easy-to-use and therefore greatly reduce the cost of data system development.

RxS Receiver Sensitivity.
MaxStream modules 'hear' what others cannot; therefore supplying greater range and reliability in wireless links. For every 6 dBm gained in TX power or RX sensitivity, OEMs and integrators can double the range of a wireless link. 9XCite Modules outperform higher costing modules due in large part to range gained through superior RX sensitivity.

μ A Low Power Consumption.
For power-sensitive applications; Pin, Serial Port and Cyclic Sleep Modes are available. Power-down currents reach below 20 μ A.

FC FCC (U.S.A) & IC (Canada) Approved.
Systems that contain XCite Modules inherit MaxStream's certifications. Contact MaxStream for a complete list of government agency approvals.

Sample Applications

Sensor data capture
in embedded systems



Barcode scanning
& point-of-sale Systems



Home automation &
building control



SCADA (Supervisory control
& data acquisition)



Fleet management
& asset tracking



Call today!

- Free RF Consultation
- Volume Discounts
- Development Kit Pricing



MaxStream®

(866) 765-9885 toll-free in U.S. & Canada

(801) 765-9885 worldwide

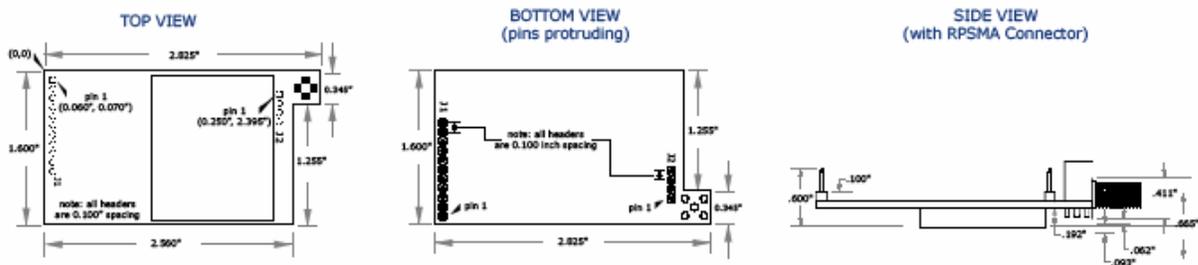
www.maxstream.net

9XCite™ 900 MHz OEM RF Modules

Specifications		9XCite (900 MHz)	
Performance	Indoor/Urban Range (w/ 2.1 dB dipole antenna)	up to 300 ft. (90 m)	
	Outdoor RF line-of-sight Range (w/ 2.1 dB dipole antenna)	up to 1000 ft. (300 m)	
	Transmit Power Output	4 mW (6 dBm)	
	Interface Data Rate (software selectable)	1200 - 57600 bps	
	Throughput Data Rate	9,600 bps	38,400 bps
	RF Data Rate	10,000 bps	41,666 bps
	Receiver Sensitivity	-108 dBm	-104 dBm
Power Requirements	Supply Voltage	2.85 - 5.50 VDC	
	Transmit Current	55 mA	
	Receive Current	35 mA	
	Power Down Current	< 20 µA	
General	Dimensions	1.600" x 2.825" x 0.350" (4.06 cm x 7.18 cm x 0.89 cm)	
	Weight	0.8 oz. (24 g)	
	Operating Temperature	0 - 70 C° (commercial)	
	Antenna Options	RPSMA or Wire Antenna	
Networking and Security	Operating Frequency	ISM 902 - 928 MHz	
	Supported Network Topologies	Peer-to-Peer (no master/slave dependencies), Point-to-Point, Point-to-Multipoint, Multidrop	
	Number of Channels (software selectable)	7 frequency hopping channels (Hopping Mode) & 25 single frequency channels (Single Channel Mode)	
	Network Filtration Layers	VID, Channel, Destination Address	
Certifications (partial list)	FCC Part 15.247	OUR-9XCITE	
	Industry Canada (IC)	4214A-9XCITE	

Specifications are subject to change without notice.

Mechanical Drawings



For the best in wireless data solutions and support, contact MaxStream, Inc.

phone: (866) 765-9885 (toll-free in U.S. & Canada)
(801) 765-9885 (worldwide)

B.9 Datos técnicos microcontrolador PIC16F877A



PIC16F87XA

28/40/44-Pin Enhanced Flash Microcontrollers

Devices Included in this Data Sheet:

- PIC16F873A
- PIC16F874A
- PIC16F876A
- PIC16F877A

High-Performance RISC CPU:

- Only 35 single-word instructions to learn
- All single-cycle instructions except for program branches, which are two-cycle
- Operating speed: DC – 20 MHz clock input
DC – 200 ns instruction cycle
- Up to 8K x 14 words of Flash Program Memory,
Up to 368 x 8 bytes of Data Memory (RAM),
Up to 256 x 8 bytes of EEPROM Data Memory
- Pinout compatible to other 28-pin or 40/44-pin
PIC16CXXX and PIC16FXXX microcontrollers

Peripheral Features:

- Timer0: 8-bit timer/counter with 8-bit prescaler
- Timer1: 16-bit timer/counter with prescaler,
can be incremented during Sleep via external
crystal/clock
- Timer2: 8-bit timer/counter with 8-bit period
register, prescaler and postscaler
- Two Capture, Compare, PWM modules
 - Capture is 16-bit, max. resolution is 12.5 ns
 - Compare is 16-bit, max. resolution is 200 ns
 - PWM max. resolution is 10-bit
- Synchronous Serial Port (SSP) with SPI™
(Master mode) and I²C™ (Master/Slave)
- Universal Synchronous Asynchronous Receiver
Transmitter (USART/SCI) with 9-bit address
detection
- Parallel Slave Port (PSP) – 8 bits wide with
external RD, WR and CS controls (40/44-pin only)
- Brown-out detection circuitry for
Brown-out Reset (BOR)

Analog Features:

- 10-bit, up to 8-channel Analog-to-Digital
Converter (A/D)
- Brown-out Reset (BOR)
- Analog Comparator module with:
 - Two analog comparators
 - Programmable on-chip voltage reference
(VREF) module
 - Programmable input multiplexing from device
inputs and internal voltage reference
 - Comparator outputs are externally accessible

Special Microcontroller Features:

- 100,000 erase/write cycle Enhanced Flash
program memory typical
- 1,000,000 erase/write cycle Data EEPROM
memory typical
- Data EEPROM Retention > 40 years
- Self-reprogrammable under software control
- In-Circuit Serial Programming™ (ICSP™)
via two pins
- Single-supply 5V In-Circuit Serial Programming
- Watchdog Timer (WDT) with its own on-chip RC
oscillator for reliable operation
- Programmable code protection
- Power saving Sleep mode
- Selectable oscillator options
- In-Circuit Debug (ICD) via two pins

CMOS Technology:

- Low-power, high-speed Flash/EEPROM
technology
- Fully static design
- Wide operating voltage range (2.0V to 5.5V)
- Commercial and Industrial temperature ranges
- Low-power consumption

Device	Program Memory		Data SRAM (Bytes)	EEPROM (Bytes)	I/O	10-bit A/D (ch)	CCP (PWM)	MSSP		USART	Timers 8/16-bit	Comparators
	Bytes	# Single Word Instructions						SPI	Master I ² C			
PIC16F873A	7.2K	4096	192	128	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F874A	7.2K	4096	192	128	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F876A	14.3K	8192	368	256	22	5	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2
PIC16F877A	14.3K	8192	368	256	33	8	2	Yes	Yes	Yes	2/1	2

B.10 Datos técnicos del regulador de voltaje LM7805



www.fairchildsemi.com

MC78MXX/LM78MXX

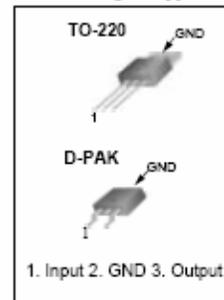
3-Terminal 0.5A Positive Voltage Regulator

Features

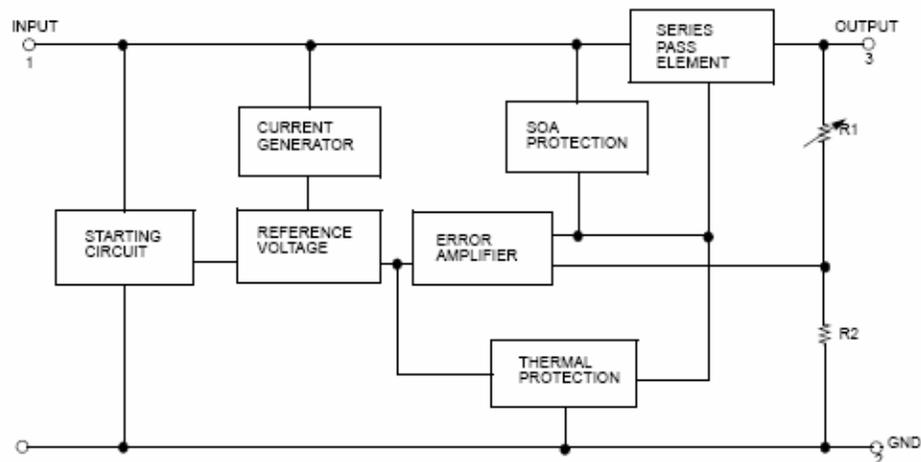
- Output Current up to 0.5A
- Output Voltages of 5, 6, 8, 12, 15, 18, 24V
- Thermal Overload Protection
- Short Circuit Protection
- Output Transistor Safe Operating Area (SOA) Protection

Description

The MC78MXX/LM78MXX series of three-terminal positive regulators are available in the TO-220/D-PAK package with several fixed output voltages making it useful in a wide range of applications.



Internal Block Diagram



Rev. 1.0.5

Absolute Maximum Ratings

Parameter	Symbol	Value	Unit
Input Voltage (for $V_O = 5V$ to $18V$) (for $V_O = 24V$)	V_I	35	V
	V_I	40	V
Thermal Resistance Junction-Case (Note1) TO-220 ($T_c = +25^\circ\text{C}$)	$R_{\theta JC}$	2.5	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Thermal Resistance Junction-Air (Note1, 2) TO-220 ($T_a = +25^\circ\text{C}$) D-PAK ($T_a = +25^\circ\text{C}$)	$R_{\theta JA}$	88	$^\circ\text{C}/\text{W}$
		92	$^\circ\text{C}/\text{W}$
Operating Junction Temperature Range	T_{OPR}	0 ~ +150	$^\circ\text{C}$
Storage Temperature Range	T_{STG}	-65 ~ +150	$^\circ\text{C}$

Note:

- Thermal resistance test board
Size: 76.2mm * 114.3mm * 1.6mm(1S0P)
JEDEC standard: JESD51-3, JESD51-7
- Assume no ambient airflow

Electrical Characteristics (MC78M05/LM78M05)

(Refer to the test circuits, $0 \leq T_J \leq +125^\circ\text{C}$, $I_O = 350\text{mA}$, $V_I = 10\text{V}$, unless otherwise specified, $C_I = 0.33\mu\text{F}$, $C_O = 0.1\mu\text{F}$)

Parameter	Symbol	Conditions	Min.	Typ.	Max.	Unit
Output Voltage	V_O	$T_J = +25^\circ\text{C}$	4.8	5	5.2	V
		$I_O = 5\text{mA}$ to 350mA $V_I = 7\text{V}$ to 20V	4.75	5	5.25	
Line Regulation (Note3)	ΔV_O	$I_O = 200\text{mA}$ $T_J = +25^\circ\text{C}$			100	mV
		$V_I = 7\text{V}$ to 25V $V_I = 8\text{V}$ to 25V	-	-	50	
Load Regulation (Note3)	ΔV_O	$I_O = 5\text{mA}$ to 0.5A , $T_J = +25^\circ\text{C}$	-	-	100	mV
		$I_O = 5\text{mA}$ to 200mA , $T_J = +25^\circ\text{C}$	-	-	50	
Quiescent Current	I_Q	$T_J = +25^\circ\text{C}$	-	4.0	6.0	mA
Quiescent Current Change	ΔI_Q	$I_O = 5\text{mA}$ to 350mA	-	-	0.5	mA
		$I_O = 200\text{mA}$ $V_I = 8\text{V}$ to 25V	-	-	0.8	
Output Voltage Drift	$\Delta V/\Delta T$	$I_O = 5\text{mA}$ $T_J = 0$ to $+125^\circ\text{C}$	-	-0.5	-	$\text{mV}/^\circ\text{C}$
Output Noise Voltage	V_N	$f = 10\text{Hz}$ to 100kHz	-	40	-	$\mu\text{V}/V_O$
Ripple Rejection	RR	$f = 120\text{Hz}$, $I_O = 300\text{mA}$ $V_I = 8\text{V}$ to 18V , $T_J = +25^\circ\text{C}$	-	80	-	dB
Dropout Voltage	V_D	$T_J = +25^\circ\text{C}$, $I_O = 500\text{mA}$	-	2	-	V
Short Circuit Current	ISC	$T_J = +25^\circ\text{C}$, $V_I = 35\text{V}$	-	300	-	mA
Peak Current	IPK	$T_J = +25^\circ\text{C}$	-	700	-	mA

Note:

- Load and line regulation are specified at constant junction temperature. Change in V_O due to heating effects must be taken into account separately. Pulse testing with low duty is used.

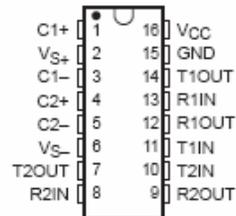
B.11 Datos técnicos del MAX232 Driver/Receiver

MAX232, MAX232I DUAL EIA-232 DRIVER/RECEIVER

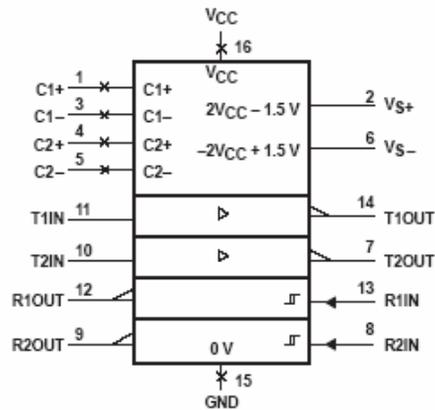
SLLS047G - FEBRUARY 1989 - REVISED AUGUST 1988

- Operates With Single 5-V Power Supply
- LinBiCMOS™ Process Technology
- Two Drivers and Two Receivers
- ± 30 -V Input Levels
- Low Supply Current . . . 8 mA Typical
- Meets or Exceeds TIA/EIA-232-F and ITU Recommendation V.28
- Designed to be Interchangeable With Maxim MAX232
- Applications
 - TIA/EIA-232-F
 - Battery-Powered Systems
 - Terminals
 - Modems
 - Computers
- ESD Protection Exceeds 2000 V Per MIL-STD-883, Method 3015
- Package Options Include Plastic Small-Outline (D, DW) Packages and Standard Plastic (N) DIPs

D, DW, OR N PACKAGE
(TOP VIEW)



logic symbol†



† This symbol is in accordance with ANSI/IEEE Std 91-1984 and IEC Publication 617-12.

description

The MAX232 device is a dual driver/receiver that includes a capacitive voltage generator to supply EIA-232 voltage levels from a single 5-V supply. Each receiver converts EIA-232 inputs to 5-V TTL/CMOS levels. These receivers have a typical threshold of 1.3 V and a typical hysteresis of 0.5 V, and can accept ± 30 -V inputs. Each driver converts TTL/CMOS input levels into EIA-232 levels. The driver, receiver, and voltage-generator functions are available as cells in the Texas Instruments LinASIC™ library.

The MAX232 is characterized for operation from 0°C to 70°C. The MAX232I is characterized for operation from -40°C to 85°C.

AVAILABLE OPTIONS

T _A	PACKAGED DEVICES		
	SMALL OUTLINE (D)	SMALL OUTLINE (DW)	PLASTIC DIP (N)
0°C to 70°C	MAX232D†	MAX232DW†	MAX232N
-40°C to 85°C	MAX232ID†	MAX232IDW†	MAX232IN

† This device is available taped and reeled by adding an R to the part number (i.e., MAX232DR).



Please be aware that an important notice concerning availability, standard warranty, and use in critical applications of Texas Instruments semiconductor products and disclaimers thereto appears at the end of this data sheet.

LinASIC and LinBiCMOS are trademarks of Texas Instruments Incorporated.

PRODUCTION DATA: Information is current as of publication date. Products conform to specifications per the terms of Texas Instruments standard warranty. Production processing does not necessarily include testing of all parameters.

TEXAS INSTRUMENTS
POST OFFICE BOX 655305 • DALLAS, TEXAS 75265

Copyright © 1988, Texas Instruments Incorporated

MAX232, MAX232I
DUAL EIA-232 DRIVER/RECEIVER

9LL3047G – FEBRUARY 1989 – REVISED AUGUST 1998

absolute maximum ratings over operating free-air temperature range (unless otherwise noted)†

Input supply voltage range, V_{CC} (see Note 1)	–0.3 V to 6 V
Positive output supply voltage range, V_{S+}	$V_{CC} - 0.3$ V to 15 V
Negative output supply voltage range, V_{S-}	–0.3 V to –15 V
Input voltage range, V_I : Driver	–0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Receiver	± 30 V
Output voltage range, V_O : T1OUT, T2OUT	$V_{S-} - 0.3$ V to $V_{S+} + 0.3$ V
R1OUT, R2OUT	–0.3 V to $V_{CC} + 0.3$ V
Short-circuit duration: T1OUT, T2OUT	Unlimited
Package thermal impedance, θ_{JA} (see Note 2): D package	113°C/W
DW package	105°C/W
N package	78°C/W
Storage temperature range, T_{stg}	–65°C to 150°C
Lead temperature 1,6 mm (1/16 inch) from case for 10 seconds	260°C

† Stresses beyond those listed under “absolute maximum ratings” may cause permanent damage to the device. These are stress ratings only, and functional operation of the device at these or any other conditions beyond those indicated under “recommended operating conditions” is not implied. Exposure to absolute-maximum-rated conditions for extended periods may affect device reliability.

NOTE 1: All voltage values are with respect to network ground terminal.

2. The package thermal impedance is calculated in accordance with JESD 51, except for through-hole packages, which use a trace length of zero.

recommended operating conditions

	MIN	NOM	MAX	UNIT
Supply voltage, V_{CC}	4.5	5	5.5	V
High-level input voltage, V_{IH} (T1IN, T2IN)	2			V
Low-level input voltage, V_{IL} (T1IN, T2IN)			0.8	V
Receiver input voltage, R1IN, R2IN			± 30	V
Operating free-air temperature, T_A	MAX232	0	70	°C
	MAX232I	–40	85	