



**IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA
LA MONITORIZACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS EN UN GALPÓN
AVÍCOLA.**

**Rosa Jacqueline Sánchez Mesa
Oscar Mauricio Rueda Trisancho**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2010**



Universidad
Industrial de
Santander

IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA LA MONITORIZACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS EN UN GALPÓN AVÍCOLA.

**Rosa Jacqueline Sánchez Mesa
Oscar Mauricio Rueda Tristancho**

Trabajo de grado presentado para optar por el título de:
Ingeniero Electrónico

Directora:
Ana Beatriz Ramírez, PhD (c)

Codirector:
Luis Alejandro Osorio Amaya, MIE (c)

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICOMECAICAS
ESCUELA DE INGENIERÍAS ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA Y DE
TELECOMUNICACIONES
INGENIERÍA ELECTRÓNICA
BUCARAMANGA
2010**



Universidad
Industrial de
Santander

DEDICATORIA

A Dios por su amor, protección y compañía a lo largo de mi vida.

A mi familia por ser mi apoyo incondicional.

A Julio Cesar Gélvez, por estar a mi lado en los buenos y malos momentos.

*A mis compañeros, profesores y amigos por mostrarme el camino para
culminar mis metas.*

Jacke



Universidad
Industrial de
Santander

DEDICATORIA

A Dios por estar siempre a mi lado.

A mi familia por ser mi motivación para ser mejor persona cada día.

A mis amigos por su incondicional apoyo para ayudarme a cumplir mis metas

Mil Gracias.

O Rueda



Universidad
Industrial de
Santander

AGRADECIMIENTOS

A Dios.

A la Universidad Industrial de Santander UIS.

A la Escuela de Ingenierías Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones (E3T).

Al Grupo de Investigación de Conectividad y Procesamiento de Señal (CPS).

A DISTRAVES.

A nuestra directora Ana Beatriz Ramírez Silva.

A nuestro codirector Luis Alejandro Osorio Amaya.

A todas las personas que hicieron posible que culmináramos esta etapa de la vida.

Los autores



TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	18
1. GENERALIDADES Y ESTADO DEL ARTE	20
1.1 Variables Físicas	20
1.2 Estado del arte	21
2. DISEÑO HARDWARE	23
2.1 Descripción hardware en la primera fase	23
2.1.1 Características físicas.....	23
2.1.2 Etapas que conforman el prototipo	25
2.1.3 Recolección de Datos y Visualización	27
2.1.4 Resultados Finales	30
2.2 Prueba realizadas con el prototipo de la primera fase.....	30
2.2.1 Primera prueba	31
2.2.2 Segunda prueba.....	32
2.3 Especificaciones Prototipo Primera Fase	34
2.4 Fuentes de error y cosas a mejorar.	35
2.5 Descripción Hardware Nueva Versión	37
2.5.1 Prototipo inicial	37
2.5.2 Prototipo Final.....	38
2.6 Diseño e implementación de las tarjetas de circuitos impresos (PCB).....	45
2.7 Estándar de diseño	46
2.8 Consideraciones de montaje y forma de uso.....	47
2.9 Características Técnicas	50
2.10 Adquisición de datos	51
2.10.1 Sistema Operativo y lenguaje de programación.....	51
2.11 Nodo para la medición de gases NH ₃ y CO	54
2.11.1 Diseño del nodo	55
2.11.2 Puntos de Prueba	58
2.11.3 Condiciones de montaje y forma de uso	58
2.11.4 Especificaciones Nodo Gases.....	59
3. SOFTWARE.....	60
3.1 REDSI	60
3.2 Comunicación entre la red de sensores inalámbricos y la herramienta REDSI	60
3.2.1 Programa Puerto:.....	61
4. PRUEBAS.....	65
4.1 Comunicación con los nodos	66
4.2 Ajustes de Diseño.....	67
4.3 Graficas:.....	68
4.3.1 Temperatura	69
4.3.2 Humedad.....	71
4.4 Análisis de la prueba	73
4.5 Verificación de la Red	74
4.6 Graficas:.....	75
4.6.1 Temperatura	76
4.6.2 Humedad.....	78



Universidad
Industrial de
Santander

4.6.3	Nivel de Intensidad Luminosa	80
4.7	Análisis de Resultados:.....	81
4.8	Estimación de la duración de la carga de las baterías.....	82
4.9	Medición de la concentración de gases NH ₃ y CO	83
4.9.1	Prueba realizada en un galpón avícola.....	83
4.9.2	Prueba realizada en un ambiente encerrado.....	85
5.	OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES.....	87
5.1	Sistema Hardware Diseñado.....	87
5.2	Programas Software implementados	88
5.3	Recomendaciones para el desarrollo de futuros proyectos e investigaciones en el área de redes de sensores inalámbricos.	89
6.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90



LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Rango de las variables físicas en un galpón avícola para cría y levante de pollo de engorde.	20
Tabla 2. Características de los módulos de radio transmisión <i>TELOSB</i> y <i>XBEE</i> .	29
Tabla 3. Datos obtenidos al variar el voltaje de alimentación del <i>TELOSB</i> .	32
Tabla 4. Características principales de los equipos de medición utilizados en la prueba.	32
Tabla 5. Rango de cada una de las variables físicas de la fase I.	34
Tabla 6. Especificaciones del prototipo realizado en el proyecto fase I.	34
Tabla 7. Contraste entre voltaje teórico y el voltaje real de alimentación.	37
Tabla 8. Ecuación característica de cada sensor.	42
Tabla 9. Funciones matemáticas que modelan el comportamiento eléctrico de la señal de salida de la etapa de acondicionamiento de señal tanto con valores teóricos y comerciales de resistencias.	43
Tabla 10. Ecuación matemática que modela el comportamiento de la etapa de acondicionamiento de señal calculada con valores de resistivos teóricos y comerciales.	44
Tabla 11. Funciones matemáticas que modelan el comportamiento del voltaje de salida del diferenciador vs las medidas de las variables físicas.	44
Tabla 12. Valores de tensión en los diferentes <i>TEST POINT</i> en cada uno de los módulos.	46
Tabla 13. Forma adecuada de direccionar las señales al módulo <i>ADC</i> .	47
Tabla 14. Especificaciones del prototipo realizado en la segunda fase.	50
Tabla 15. Funciones matemáticas que modelan el comportamiento del voltaje de salida vs variables físicas.	58
Tabla 16. Valores de tensión en los diferentes puntos de prueba en el nodo gases.	58
Tabla 17. Forma de seleccionar un rango para el nodo gases.	59
Tabla 18. Forma adecuada de direccionar las señales al módulo <i>ADC</i> .	59
Tabla 19. Especificaciones del prototipo del nodo gases.	59
Tabla 20. Resumen de las pruebas realizadas para probar el funcionamiento de los nodos y del programa "Puerto".	66
Tabla 21. Datos de temperatura obtenidas en la prueba.	69
Tabla 22. Datos de humedad obtenidos en la prueba.	71
Tabla 23. Medida promedio de los errores teniendo en cuenta cada instrumento.	73
Tabla 24. Datos de temperatura obtenidos en la prueba en grados centígrados.	76
Tabla 25. Datos de humedad obtenidos en la prueba.	78
Tabla 26. Datos de luz obtenidos de la prueba.	80
Tabla 27. Medida promedio de los errores teniendo en cuenta cada instrumento.	81
Tabla 28. Medidas del consumo de corriente del nodo.	82
Tabla 30. Datos obtenidos en la prueba.	84
Tabla 31. Datos obtenidos en la prueba.	85



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Prototipo desarrollado en Fase I.....	23
Figura 2. Tarjetas que componen el nodo desarrollado en la primera fase. [3]	24
Figura 3. Conexión de las tarjetas de la fase I.	24
Figura 4. Etapa de alimentación.	25
Figura 5. Etapa de filtrado.	26
Figura 6. Etapa de referencia.	26
Figura 7. Etapa de adecuación.....	27
Figura 8. Representación física del dispositivo <i>TELOSB/TMOTE</i>	28
Figura 9. Representación física del dispositivo <i>XBEE</i>	29
Figura 10. Conexión entre los nodos y la aplicación <i>OSCILLOSCOPE</i>	29
Figura 11. Ventana de interfaz gráfica para la visualización de las medidas de los sensores.....	30
Figura 12. Elementos de la prueba del prototipo inicial.....	31
Figura 13. Fuente alimentando al <i>TELOSB</i>	31
Figura 14. Descripción del espacio donde se realizó la prueba. Dimensiones en metros.	33
Figura 15. Prueba para definir la precisión y rango del equipo.	34
Figura 16. Interior del prototipo de la Fase I.	36
Figura 17. Prototipo inicial de la Fase II.	37
Figura 18. Prototipo desarrollado fase 2.....	38
Figura 19. Módulos que conforman el prototipo final desarrollado en la fase 2.....	38
Figura 20. Diagrama de bloques del Módulo “Tarjeta principal”.....	39
Figura 21. Diagrama de bloques del módulo Sensores.	40
Figura 22. Etapa de adecuación de señal del sensor de luz.....	40
Figura 23. Relación voltaje de salida vs Lux.....	41
Figura 24. Relación voltaje de salida vs Temperatura.	42
Figura 25. Circuito diferenciador.	43
Figura 26. Rangos de tensión de operación para cada uno de los <i>LED</i> del indicador de batería.	45
Figura 27. Diagrama de bloques del módulo Indicador de nivel de batería.....	45
Figura 28. Llave seleccionadora utilizada para direccionar la señal eléctrica a los canales del módulo <i>ADC</i>	47
Figura 29. Llave selectora del canal.....	47
Figura 30. Tarjetas que conforman un nodo.....	48
Figura 31. Guías que indican la correcta conexión de los módulos.	49
Figura 32. Conexión tarjetas de la fase final.....	49
Figura 33. Interior fase final.....	50
Figura 34. Directorio <i>APPS</i> de <i>TINYOS</i>	52
Figura 35. Aplicación <i>DSM2</i>	53
Figura 36. Aplicación <i>TOSBASE</i>	53
Figura 37. Conexión de la red de sensores.....	54
Figura 38. Sensores de gases [28].	55
Figura 39. Diagrama de bloques del nodo gases.	56
Figura 40. Etapa de alimentación	57
Figura 41. Etapa de acondicionamiento de señal.	57
Figura 42. Llaves para seleccionar el rango de medición.	58
Figura 43. Llave selectora del canal.....	59
Figura 44. Página principal <i>REDSI</i>	60



Figura 45. Recopilación de datos a través del programa “Puerto”.	61
Figura 46. Diagrama de Flujo del programa.	62
Figura 47. Trama capturada desde la consola CYGWIN.	63
Figura 48. Trama que se lee desde el programa puerto 6.	63
Figura 49. Base de datos de REDSI.	64
Figura 50. Galpón avícola.	65
Figura 51. Datos adquiridos desde la consola de la plataforma NETBEANS.	67
Figura 52. Disposición de los nodos.	67
Figura 53. Prueba Febrero 24 de 2010.	68
Figura 54. Comparación entre los Nodos 1 y 5 contra <i>DATALOGGER</i> 1 y 2.	70
Figura 55. Comparación entre los Nodos 1 y 5 contra el Higrómetro sensor interno y externo.	70
Figura 56. Comparación entre los Nodos 1 y 5 contra <i>DATALOGGER</i> 1 y 2.	72
Figura 57. Comparación entre los Nodos 1 y 5 contra el Higrómetro sensor interno y externo.	72
Figura 58. Disposición de los nodos en el galpón.	74
Figura 59. Nodos implementados utilizados en la prueba.	74
Figura 60. Comparación entre los Nodos 1 y 10 contra <i>DATALOGGER</i> 1 y 2.	77
Figura 61. Comparación entre los Nodos 1 y 10 contra el Higrómetro sensor interno y externo.	77
Figura 62. Comparación entre los Nodos 1 y 2 contra <i>DATALOGGER</i> 1 y 2.	79
Figura 63. Comparación entre los Nodos 1 y 2 contra el Higrómetro sensor interno y externo.	79
Figura 64. Comparación entre los Nodos 1 y 10 contra Luxómetro.	80
Figura 65. Medición del consumo de corriente del nodo.	82
Figura 66. Nodo construido para la medición de la concentración de gases NH_3 y CO .	83
Figura 67. Concentración de CO vs Temperatura.	84
Figura 68. Concentración de NH_3 vs Temperatura.	85
Figura 69. Concentración de CO vs Temperatura.	86
Figura 70. Concentración de NH_3 vs Temperatura.	86



Universidad
Industrial de
Santander

LISTA DE ANEXOS

ANEXO A: DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DE LA PRUEBA REALIZADA CON EL PROTOTIPO EN LA PRIMERA FASE.

ANEXO B: PLANOS DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS.

ANEXO C: DISEÑOS DE PCBS.

ANEXO D: VALORES DE TENSIÓN EN LOS TP.

ANEXO E: PRUEBAS.



Universidad
Industrial de
Santander

RESUMEN

TITULO:

IMPLEMENTACIÓN DE LA RED DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA LA MONITORIZACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS EN UN GALPÓN AVÍCOLA*

AUTOR:

**ROSA JACQUELINE SÁNCHEZ MESA
OSCAR MAURICIO RUEDA TRISTANCHO****

PALABRAS CLAVES: Redes de sensores inalámbricos, variables físicas, proceso avícola, REIMAGAV.

DESCRIPCIÓN: El fortalecimiento del sector avícola en Colombia en los últimos años ha creado la necesidad de contar con herramientas de campo que permitan mejorar los procesos de producción en esta industria y que ayuden concretamente a reducir los índices de mortalidad en las aves. En este trabajo se plantea el desarrollo de una herramienta que le permite al agricultor observar y analizar la evolución de algunas variables físicas presentes en un galpón avícola artesanal, dedicado a la cría y levante de pollos de engorde, con el fin de facilitar la formulación de estrategias en tiempo real por parte de los avicultores para nivelar los valores de dichas variables según las recomendaciones de los manuales de raza y para que se puedan obtener mejores resultados productivos.

El sistema propuesto es una red inalámbrica de sensores orientada a la monitorización de variables físicas presentes en un galpón avícola artesanal colombiano, que permite medir la temperatura la humedad relativa, la intensidad luminosa, la concentración de amoníaco (NH_3) y la concentración de monóxido de carbono (CO) presente en el interior de dichos recintos.

El sistema se integra a un aplicativo para la captura, monitorización y análisis de datos, desarrollado por el grupo Conectividad y Procesamiento de Señales (CPS) de la Universidad Industrial de Santander (UIS).

* Trabajo de Grado

**Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas, Escuela de Ingeniería Eléctrica, Electrónica y de Telecomunicaciones. Directora: Ana Beatriz Ramírez, Codirector: Luis Alejandro Osorio



Universidad
Industrial de
Santander

SUMMARY

TITLE:

IMPLEMENTATION OF WIRELESS SENSOR NETWORK FOR MONITORING OF PHYSICAL VARIABLES IN POULTRY SHEDS*

AUTHORS:

ROSA JACQUELINE SÁNCHEZ MESA

OSCAR MAURICIO RUEDA TRISTANCHO**

KEY WORDS: Wireless sensor networks, physical variables, process poultry, REIMAGAV

DESCRIPTION: Because of the need to improve production processes and reduce mortality of birds that generate significant economic losses in the poultry sector, in recent years new technology have been introduced in this area. This work propose to develop a tool with which the farmer has the opportunity to see, access and control the production processes so that it can efficiently solve problems that commonly arise in this type of sector.

The system proposed in this work consists of a wireless environmental monitoring specialist poultry sheds that allows sensing variables that directly affect the growth and mortality of birds within the shed, such as temperature, relative humidity, light intensity, the concentration of ammonia (NH₃) and the concentration of carbon monoxide (CO). The system is integrated into a Web Application for Capturing, Monitoring and Data Analysis (REDSI) developed jointly to the group Connectivity and Signal Processing (CPS).

The information captured in each node is sent to a hub node and from there to a database on a server, where the application REDSI allows the display of the data facilitating thus analysis of trends.

* Degree Work

** Faculty of physics-Mechanical Engineering, School of Electrical, Electronic and Telecommunications Engineering. . Director: Ana Beatriz Ramírez, Co-director: Luis Alejandro Osorio



Universidad
Industrial de
Santander

INTRODUCCIÓN

El fortalecimiento del sector avícola explica el creciente interés de la academia en realizar estudios del sector, es importante resaltar que en el departamento de Santander pese a que la avicultura es muy explotada, la tecnificación de los galpones para pollos de engorde es muy baja, ya que tan solo 20 granjas de 508 tienen un ambiente controlado, 6 granjas cuentan con un túnel de viento y 6 tienen ventilador, según el censo realizado por la Federación Nacional de Avicultores de Colombia (FENAVI)[1].

En el año 2007 el grupo de investigación Conectividad y Procesamiento de Señal (CPS) presenta la propuesta de investigación titulada “EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE VARIABLES FÍSICAS EN LA MORTALIDAD DE AVES DE CORRAL EN GRANJAS AVÍCOLAS DURANTE LAS ETAPAS DE CRÍA, LEVANTE Y ENGORDE”; en LA CONVOCATORIA PARA LA CONSOLIDACIÓN DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN 2007-2008 en la modalidad articulada con las prioridades de la región, comprometiéndose con un proyecto de maestría y dos trabajos de pregrado [2].

La primera fase de la propuesta se titula “Diseño e Implementación de una Plataforma de Red de Sensores Inalámbricos para la Monitorización de Variables Físicas Ambientales en un Galpón Avícola”, da como resultado la primera versión de un prototipo cuyo principal objetivo es monitorizar las variaciones de humedad relativa, temperatura, intensidad luminosa y concentración de los gases amoníaco (NH₃) y monóxido de carbono (CO) y visualizarlos en una aplicación JAVA [3].

La presente investigación, inicia con la reproducción del prototipo inicial presentado en la primera fase, para completar así, una red de cuatro nodos. Se observa que los resultados de este prototipo son aceptables para una versión inicial, pero no son adecuados para la reproducción debido a que el sistema propuesto no es suficientemente robusto ni escalable. Además, los datos obtenidos no se compararon adecuadamente con un patrón ya que no se contaba con las herramientas necesarias.

El sistema propuesto en el presente trabajo consta de una red inalámbrica de monitorización ambiental especializada en galpones avícolas (*REIMAGAV*) de 15 nodos, que permite sensor variables que afectan directamente el crecimiento, la morbilidad y la mortalidad de las aves dentro del galpón como son temperatura, humedad relativa, intensidad luminosa, CO y NH₃, basados en la plataforma *TELOSB*. El sistema establece una conexión local con una Aplicación Web para la Captura, Monitorización y Análisis de Datos (*REDSI*) [4] desarrollada por estudiantes de Ingeniería de Sistemas asociadas al grupo de investigación CPS.

El trabajo realizado se organiza de la siguiente forma: en el capítulo I denominado, “Generalidades y Estado del Arte”, se busca familiarizar al lector con el entorno en el cual se desarrolla este proyecto. Además se muestran los trabajos e investigaciones relacionadas con el presente proyecto y el desarrollo de aplicaciones de redes de sensores inalámbricos para la monitorización en otras áreas de la agricultura.

En el capítulo 2, “Diseño Hardware”, se inicia por la descripción del prototipo realizado en el proyecto previo titulado “Diseño e implementación de una plataforma de red de sensores inalámbricos para la monitorización de variables físicas ambientales en un galpón avícola” [3] y se realiza una tabla con las especificaciones técnicas. Con el uso de estas especificaciones se desarrolla



Universidad
Industrial de
Santander

un nuevo nodo con características particulares que facilitan la implementación en masa y puesta en funcionamiento de los nodos. Por último se diseña un nodo especial que cumple la función de medir los gases CO y NH₃.

En el capítulo 3, denominado “Software”, se parte de mostrar la necesidad que existe de crear un programa que permita realizar la conexión entre las redes de sensores y la plataforma REDSI. Para continuar con la descripción de dicho programa, llamado “*PUERTO*”, se muestra que partes lo conforman y que acciones permite realizar.

En el cuarto Capítulo se cuantifica el desempeño de los nodos diseñados y el funcionamiento del programa “*PUERTO*”, para eso se desarrollaron cuatro pruebas que permiten verificar y validar la plataforma hardware.

En el Capítulo 5 se presentan las conclusiones y observaciones.

Finalmente, se encuentra la bibliografía empleada a lo largo de la investigación y se incluyen los anexos.



I. GENERALIDADES Y ESTADO DEL ARTE

I.1 Variables Físicas

Durante la etapa de crianza del pollo es de especial importancia monitorizar la temperatura y la humedad relativa del galpón con regularidad por lo menos dos veces al día por los primeros cinco días para asegurar la uniformidad del ambiente y posteriormente por lo menos una vez al día, si el galpón cuenta con un sistema automático para monitorizar dichas variables lo recomendado es que los sensores deben estar a la altura de las aves, además, se debe tener un sistema de monitorización manual para contrastar las mediciones con las del sistema automático[5].

La ventilación en un galpón avícola debe asegurar la buena calidad del aire, ya que las aves siempre deben tener niveles adecuados de oxígeno y la mínima concentración de monóxido de carbono, dióxido de carbono, amoníaco y polvo (Tabla 1). Una ventilación inadecuada puede desencadenar enfermedades crónicas del sistema respiratorio, baja uniformidad, mayor susceptibilidad a enfermedades y ceguera [5][6].

Las amplias variaciones de temperatura dentro del galpón avícola de cría y levante de pollo de engorde causan estrés calórico en las aves, además reduce el consumo del alimento, por esta razón del buen manejo de la temperatura depende la conversión del alimento y la tasa de crecimiento del ave. El rango de temperatura dentro del galpón avícola de cría y levante de pollo de engorde oscila entre 16°C a 33°C (Tabla 1) [6].

Niveles bajos de humedad favorecen la evaporación y por lo tanto el enfriamiento. La humedad relativa en un galpón avícola de cría y levante de pollo de engorde debe estar en un rango de 30 a 70% dependiendo de la edad de los pollos (Tabla 1) [6].

La Guía de manejo de pollo de engorde tipo COOB [6] establece la adecuada foto-exposición del ave durante los primeros días de vida es necesaria para que el consumo de alimento sea óptimo y los sistemas digestivo e inmunológico tengan un buen desarrollo. Durante los primeros 5 a 7 días la guía recomienda usar 25 lux medidos a la altura del pollo para estimular la ganancia de peso temprana. Después de los 150 g de peso corporal la luz se disminuye gradualmente hasta alcanzar de 5 a 10 lux, ver en Tabla 1[5][6]. Es importante resaltar que la granja de estudio los totumos, al igual que la mayoría de las granjas locales, no tiene control sobre esta variable.

Tabla 1. Rango de las variables físicas en un galpón avícola para cría y levante de pollo de engorde.

Variable Física	Rango
Humedad Relativa %	30-70
Temperatura °C	16-33
Luz (Lux)	5-25
Oxígeno %	> 19,6
Dióxido de Carbono (CO ₂) ppm	<3,000
Monóxido de carbono (CO) ppm	<10
Amoníaco (NH ₃) ppm	<10
Polvo respirable mg/m ³	<3,4



1.2 Estado del arte

El Grupo de Investigación en Conectividad y Procesamiento de Señal (CPS) de la Universidad Industrial de Santander (UIS) interesado en el estudio de las redes inalámbricas presenta el proyecto de financiación interna UIS-DIEF No.5531 titulado: **EVALUACIÓN DE LA INCIDENCIA DE VARIABLES FÍSICAS EN LA MORTALIDAD DE AVES DE CORRAL EN GRANJAS AVÍCOLAS DURANTE LAS ETAPAS DE CRÍA, LEVANTE Y ENGORDE**, proyecto patrocinado por la Universidad Industrial de Santander en el marco de LA CONVOCATORIA PARA LA CONSOLIDACIÓN DE GRUPOS DE INVESTIGACIÓN 2007 – 2008, por la suma de veinte millones de pesos (\$20.000.000).

Uno de los compromisos de este proyecto es la realización de un trabajo de investigación de maestría titulado “Redes Inalámbricas de Sensores Aplicadas en Avicultura de Precisión. Diseño, Implementación y Caracterización” cuyo principal aporte es la ampliación del conocimiento que se tiene actualmente acerca del confort de las aves dentro de un galpón avícola y como afectan las variables físicas en las tasas de morbilidad y mortalidad. Como soporte de este proyecto se crean dos trabajos de investigación de pregrado divididos en dos fases [7].

La fase I titulada “Diseño e Implementación de una Plataforma de Red de Sensores Inalámbricos para la Monitorización de Variables Físicas Ambientales en un Galpón Avícola”, el cual entregó como resultado final una plataforma hardware compatible con el estándar IEEE 802.15.4 (XBEE yTELOSB) para la monitorización de variables físicas en un galpón avícola [3].

La segunda fase, de la cual hace parte el presente proyecto, consiste en la implementación de una red de sensores inalámbricos conformada por 15 nodos que monitorizan las variables ambientales: luz, temperatura, humedad, amoníaco y monóxido de carbono en un galpón avícola, además, establece una conexión local con la plataforma REDSI [4].

Existe una investigación asociada al presente proyecto titulada “Aplicación Web para la Captura, Monitoreo y Análisis de Datos Transmitidos a Través de Redes de Sensores Inalámbricos Utilizando Tecnología ZIGBEE” que es un sistema diseñado para capturar, almacenar y analizar datos obtenidos de una red de sensores inalámbricos (REDSI) [4].

En el Grupo CPS se desarrolló un trabajo de investigación a nivel de Maestría en Ingeniería Electrónica titulado “Redes de Sensores Inalámbricos: Diseño, Implementación y Caracterización de un Prototipo de Red ZIGBEE en Ambientes Abiertos y Cerrados” [8] y un trabajo a nivel de pregrado que se titula “Caracterización de Dispositivos de Redes de Sensores Inalámbricos en Ambientes INDOOR y OUTDOOR” [9], en estos dos trabajos se describieron los requerimientos tanto a nivel hardware y software para el desarrollo de redes de sensores como el estudio del estándar IEEE 802.15.4 y especificaciones ZIGBEE.

A nivel nacional, una empresa colombiana llamada “Zoometria” está enfocada a lograr una avicultura de precisión. Esta empresa presta sus servicios para que sus clientes puedan realizar un seguimiento diario y oportuno a las variables que afectan producción de pollo de engorde, esto permite tomar decisiones acertadas y aumentar la productividad de sus granjas. Los usuarios pueden ingresar datos o realizar consultas desde internet o dispositivos móviles [10].



Universidad
Industrial de
Santander

En la actualidad existen algunas aplicaciones industriales relacionadas con el presente trabajo, donde se estudian redes de sensores inalámbricos pero aplicadas en otras áreas de la agroindustria, como es el caso de *GREENPEAK*, la cual es una empresa líder en aplicaciones de control con tecnología de bajo consumo de energía de comunicación inalámbrica que ha anunciado que su consorcio con sede en España *SENSING & CONTROL* ha desarrollado una aplicación que mide la humedad relativa en los campos de los viñedos o invernaderos y que de forma inalámbrica puede transmitir dichas mediciones en campo abierto. *SENSING & CONTROL* es dedicada a brindar soluciones agrícolas con sensores de comunicación inalámbrica basados en el estándar *IEEE 802.15.4 ZIGBEE*, la información es capturada cada hora y almacenada en los nodos que están distribuidos por el campo. Esta información es enviada luego al nodo coordinador de la red inalámbrica y por último la información recolectada es transmitida a diario a través de *GPRS* en una oficina remota. La parte agronómica del proyecto ha sido liderado por *LAB-FERRER*, una compañía consultora y distribuidora de *DECÁGONO* en España [11].

Por otra parte la universidad *DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY* en Holanda incursionó en la agricultura de precisión con un proyecto llamado *LOFAR-AGRO* que consiste en una red de *MOTES* con sensores que miden la presión del aire, la temperatura, la humedad relativa y la iluminación, los datos obtenidos se envían utilizando el protocolo de multi-salto, además son reprogramables de forma inalámbrica, los datos recogidos se reúnen en el borde del campo de cultivo por un *GATEWAY* y transferidos a través de *WIFI* para ser almacenados en una base datos y quedan disponibles para el usuario. La primera aplicación del proyecto *LOFAR-AGRO* mide el microclima en los cultivos de papa, la información obtenida de cada campo monitorizado será usada para combatir la *PHYTOPHTORA*, la cual es una enfermedad de origen fungicida que está asociada a los factores climatológicos como la temperatura y la humedad [12].



2. DISEÑO HARDWARE

2.1 Descripción hardware en la primera fase

En el proyecto de grado que se titula “DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA PLATAFORMA DE RED DE SENSORES INALÁMBRICOS PARA LA MONITORIZACIÓN DE VARIABLES FÍSICAS AMBIENTALES EN UN GALPÓN AVÍCOLA” se entrega como producto final una plataforma hardware compatible con dispositivos IEEE 802.15.4 (*TELOSB* / *TMOTESKY* y *XBEE*) para la monitorización y recolección de datos concernientes a las variables físicas ambientales más influyentes en los procesos de cría y levante de pollo de engorde [3].

El prototipo diseñado permite observar las tendencias en las variaciones de variables físicas como temperatura, humedad relativa, intensidad luminosa, nivel de concentración de los gases CO y NH₃ [3].

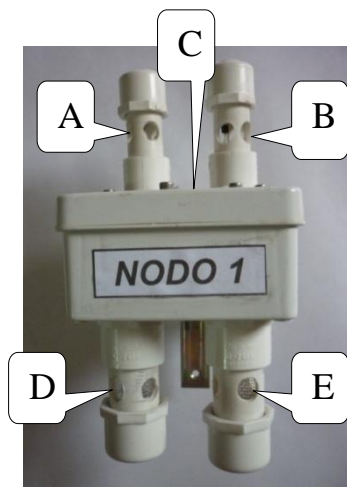


Figura 1. Prototipo desarrollado en Fase I.

A) Sensor de Humedad. B) Sensor de Temperatura. C) Sensor de Luz. D) Sensor de NH₃.
E) Sensor de CO.

2.1.1 Características físicas

Este prototipo está compuesto por seis tarjetas. La tarjeta principal, con un tamaño de 9.5cm por 7cm, en la cual se encuentra las etapas de alimentación para las demás tarjetas como la alimentación para los dispositivos *TELOSB* y *XBEE* y los respectivos conectores para estos dispositivos (ver Figura 2). Las cinco tarjetas restantes tienen un tamaño de 4.5cm por 3cm aproximadamente. En cada una de ellas se encuentra implementado el circuito que realiza el acondicionamiento de señal para cada una de las variables físicas (ver la siguiente figura).

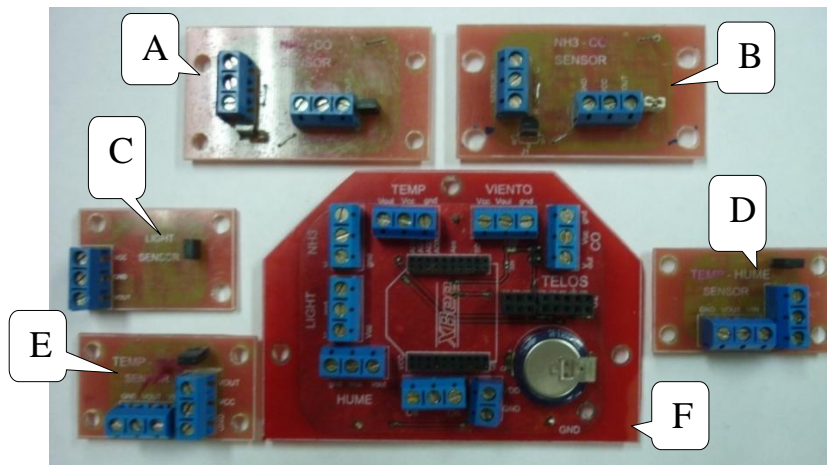


Figura 2. Tarjetas que componen el nodo desarrollado en la primera fase [3].
A) Tarjeta de adecuación de señal de CO. B) Tarjeta de adecuación de señal de NH₃.
C) Tarjeta de adecuación de señal de Luz. D) Tarjeta de adecuación de señal de Humedad.
E) Tarjeta adecuación de señal de temperatura F) Tarjeta principal.

La conexión entre cada una de las tarjetas se realiza por medio de cables, los cuales son los responsables de llevar la alimentación a cada una de las etapas y de transportar las señales eléctricas como respuesta a las diferentes variables físicas. Observar en la siguiente figura.

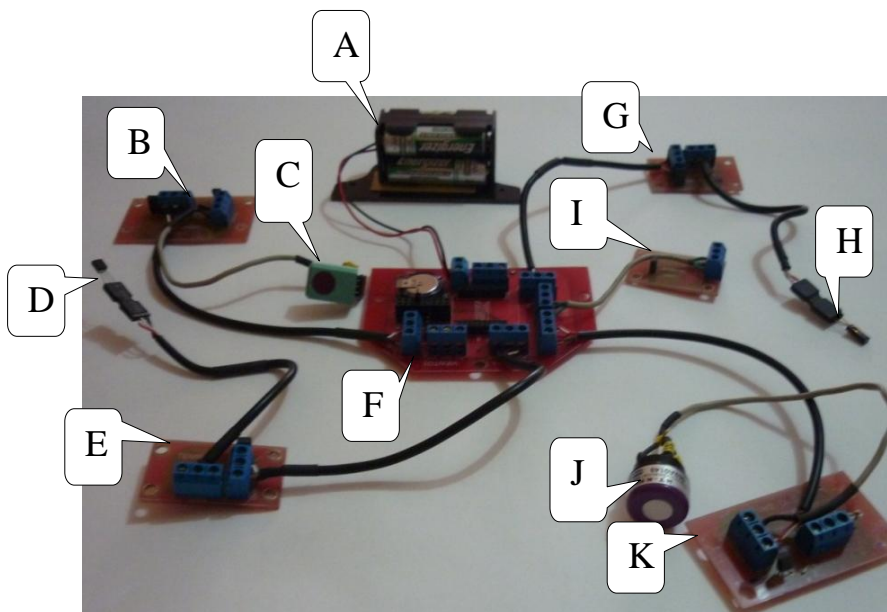


Figura 3. Conexión de las tarjetas de la fase I.
A) Alimentación con 4 baterías AA. B) Tarjeta de adecuación de señal de CO. C) Sensor de CO.
D) Sensor de temperatura. E) Tarjeta de adecuación de señal de temperatura.
F) Tarjeta principal .G) Tarjeta de adecuación de señal de humedad. H) Sensor humedad. I) Sensor y tarjeta de adecuación de señal de luz. J) Sensor de NH₃.K) Tarjeta de adecuación de señal de NH₃.



2.1.2 Etapas que conforman el prototipo

Al realizar la revisión bibliográfica y recopilar la información entregada por los autores del proyecto de la fase I [3], no se encontraron los planos de los circuitos eléctricos que conforman las diferentes etapas de adecuación de la señal, alimentación y regulación el prototipo inicial. Los autores del presente proyecto realizan los esquemáticos de cada una de las tarjetas a partir de unas graficas, utilizando el software *ORCAD CAPTURE*, en donde se especifica cada etapa mostrada a continuación.

En la tarjeta “MAIN BOARD” se encuentran las siguientes etapas:

2.1.2.1 Etapa de alimentación

Este nodo fue diseñado para alimentarse con cuatro baterías AA. Para su correcto funcionamiento se necesita de diferentes niveles de tensión para su correcto funcionamiento, esto se logró implementado el circuito integrado *ADP3334* fabricado por *ANALOG DEVICE* [13], el cual actúa como un regulador de tensión, al variar su configuración cambiando el valor de las resistencias se obtiene un nivel de tensión distinto. Observar en la siguiente figura.

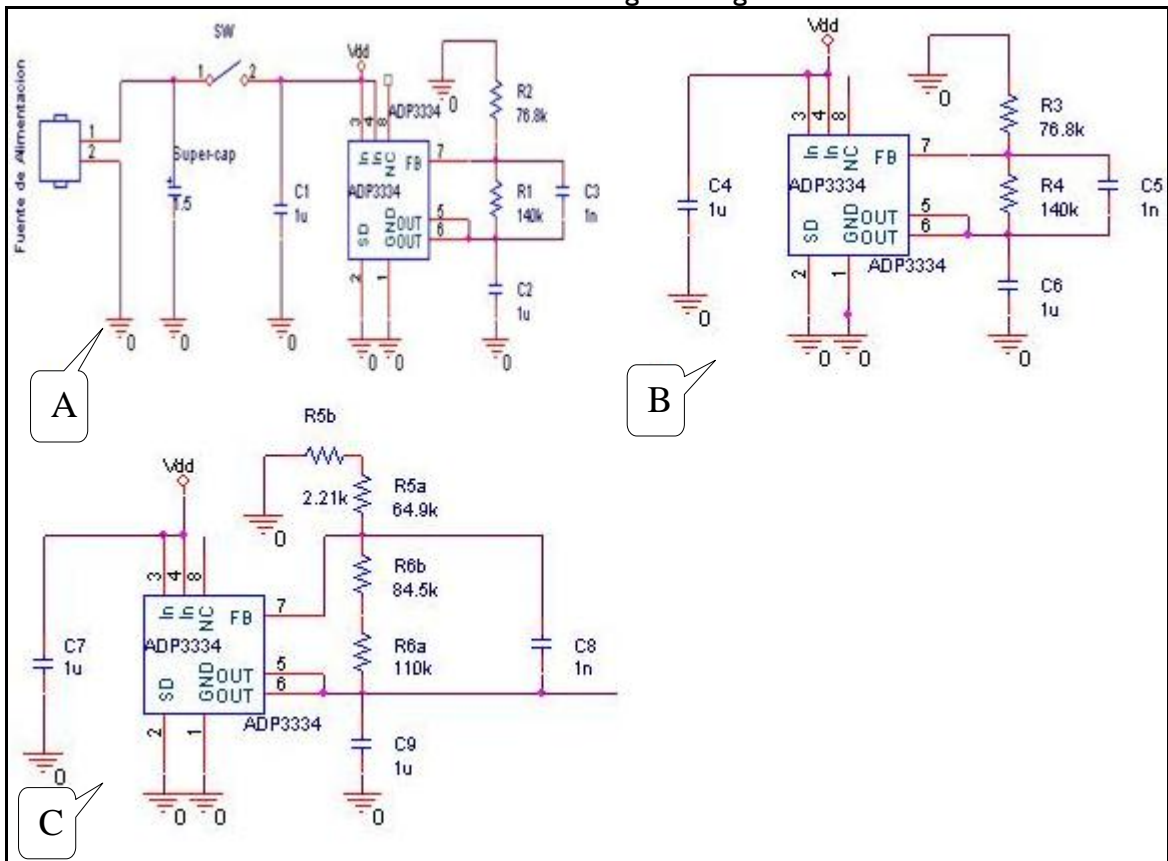


Figura 4. Etapa de alimentación.

- A) Alimentación *TELOS*B y *XBEE*.
- B) Alimentación todos los sensores.
- C) Alimentación exclusiva sensor de Humedad.



2.1.2.2 Etapa de Filtrado

En esta etapa, los autores del proyecto de la fase I [3] diseñan un filtro pasivo RC y se implementa entre la etapa de acondicionamiento de señal y el módulo ADC, debido a que la señal de interés presenta variación en el tiempo muy cortas, lo que lleva a que este tipo de filtros pasa-bajo disminuya posibles errores encontrados en el nivel de continua. Observar en la siguiente figura.

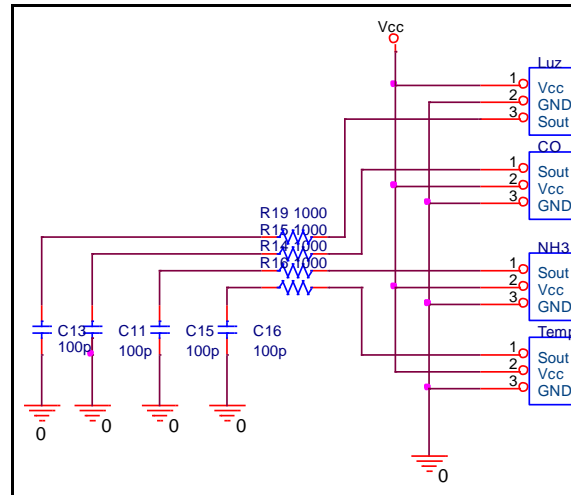


Figura 5. Etapa de filtrado.

En las tarjetas de acondicionamiento de señal de temperatura, humedad e intensidad luminosa se encuentra las siguientes etapas implementadas:

2.1.2.3 Etapa de referencia

Esta etapa permite manejar un voltaje de referencia fijo en la etapa no inversora del diferenciador con el fin de desplazar el rango de la señal de salida del sensor hasta llegar al acople de los rangos que maneja el módulo ADC. Para esto se implementó el mismo integrado utilizado en la etapa de alimentación (ADP3334) [13] y se varía la ganancia modificando las resistencias. Observar en la siguiente figura.

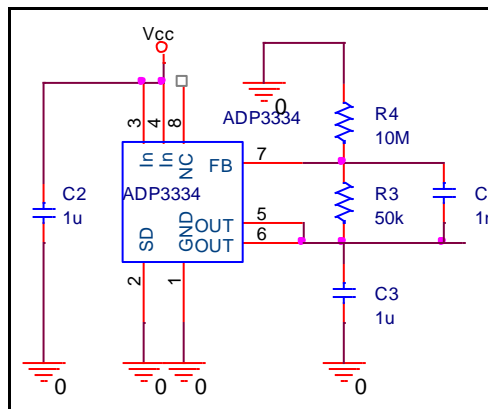


Figura 6. Etapa de referencia.



2.1.2.4 Etapa de adecuación

Esta etapa cumple la función de acoplar los niveles de las señales de salida de los sensores, con los niveles máximos y mínimos exigidos por los canales del módulo ADC (ver Tabla 2). El integrado OPA333 fabricado por Texas Instruments es un amplificador operacional (OPAMP) [14] que permite en conjunto con unas resistencias ajustar la ganancia del sistema y así asegurar que el SPAM tanto del sensor como del ADC coincida.

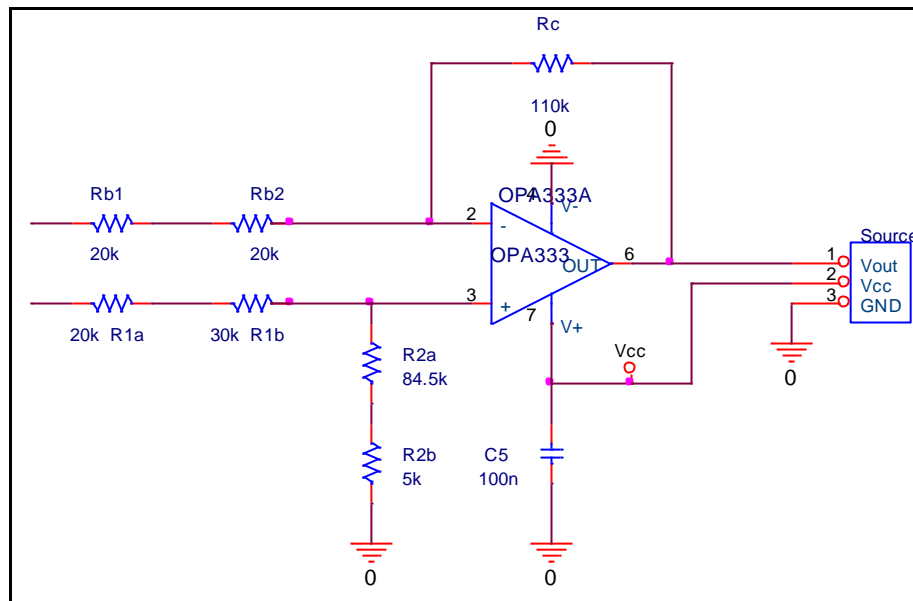


Figura 7. Etapa de adecuación

2.1.3 Recolección de Datos y Visualización

Descripción de las plataformas hardware

En esta sección se describen las características más relevantes de las plataformas hardware utilizadas para el desarrollar la red de sensores inalámbricos en este proyecto.

- TELOS/ TMOTE SKY

Estos son dispositivos desarrollados por la universidad de Berkeley en conjunto con Intel. Su hardware está conformado por un procesador MSP430 fabricado por TEXAS INSTRUMENTS con 10KB de memoria RAM y 48KB de memoria Flash, un radio fabricado por CHIPCON de referencia CC2420. Son programados utilizando el lenguaje de programación NESC a través de la interfaz USB [15].

Este dispositivo también llamado MOTE es compatible con el estándar IEEE802.15.4. Tiene una velocidad de transmisión de 250kbps en la banda de transmisión de 2.4GHz, su rango de transmisión teórico es de 50m en ambientes abiertos y 150m en ambientes cerrados.



Tienen dos puertos de expansión que conjuntamente otorgan 16 pines lo que permite realizar la conexión entre el módulo *ADC* y un dispositivo externo. La siguiente figura muestra la representación física del dispositivo.

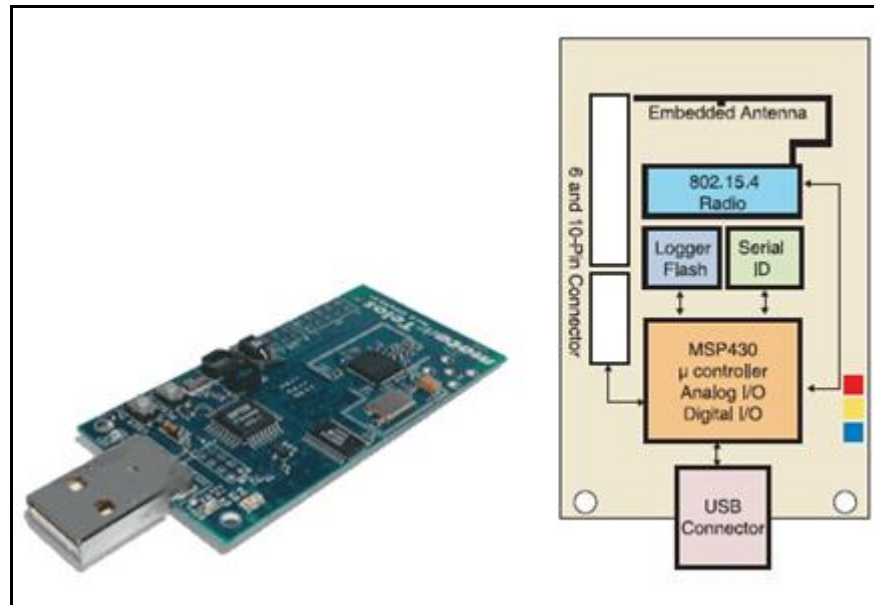


Figura 8. Representación física del dispositivo *TELOSB/TMOTE*.

Fuente: Hoja de datos.

En esta investigación se utilizan los puertos de expansión, ya que ellos permiten conectar el módulo *ADC* del *TELOSB / TMOTE SKY* con el prototipo diseñado.

- *XBEE-ZNET2.5*.

Dispositivo que está bajo el estándar de comunicación *IEEE 802.15.4/ZIGBEE* y cumplir con las especificaciones de bajo costo y bajo consumo de potencia de las redes inalámbricas de sensores, tiene un alcance de 40 metros en ambientes cerrados y 120 metros en espacios abiertos [16].

Este dispositivo al igual que el *TELOSB/TMOTE* tiene pines de expansión lo que permite realizar comunicación con sus cuatro canales del modula *ADC* y ser programado para diferentes aplicaciones. En la siguiente figura se muestra la representación física del dispositivo.



Universidad Industrial de Santander



Figura 9. Representación física del dispositivo XBEE.
Fuente: Hoja de datos XBEE.

La siguiente tabla resume las características de los módulos ADC de las plataformas que se utilizan en este proyecto.

Tabla 2. Características de los módulos de radio transmisión TELOSB y XBEE.

Módulo	Numero de Bits	Tensión Max del ADC	Tensión min del ADC	Frecuencia de muestreo
TELOSB	12	2,5V	0.1V	1 [KHz]
XBEE	10	1,2V	0.1V	200[KHz]

2.1.3.1 Visualización

Para la captura de los datos recopilados por el nodo se modificó una aplicación de TINYOS llamada OSCILLOSCOPE, en el nodo transmisor se instala la aplicación modificada y en el nodo receptor se instala TOSBASE que es un programa que permite realizar la captura proveniente del módulo ADC de los nodos transmisores.

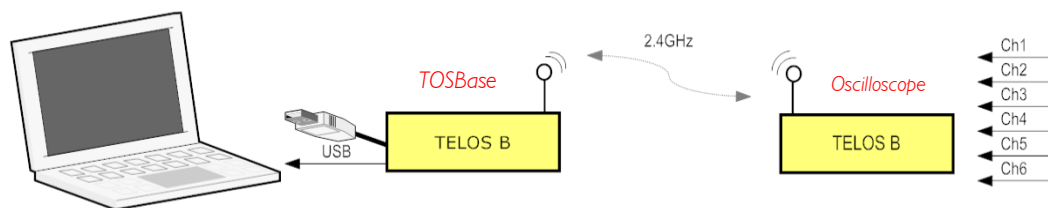


Figura 10. Conexión entre los nodos y la aplicación OSCILLOSCOPE.

Una vez instalado los programas se utiliza una herramienta diseñada en el lenguaje de programación JAVA que permite hacer una lectura de la tendencia que tienen las variables físicas en medición. Muestra una línea de diferente color por cada variable. Por ejemplo, cuando la temperatura aumenta en el lugar de medición, la gráfica presenta una variación en un porcentaje.



Universidad
Industrial de
Santander

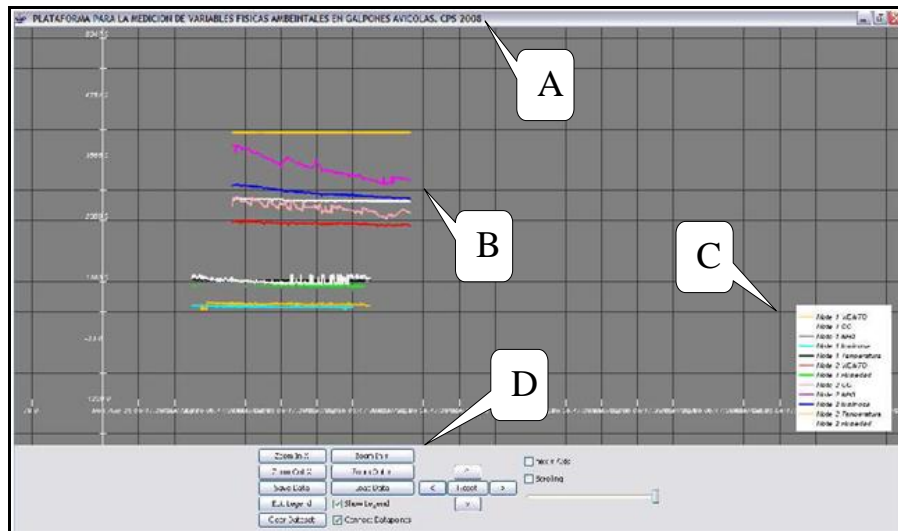


Figura 11. Ventana de interfaz gráfica para la visualización de las medidas de los sensores.

A) Nombre de la plataforma. B) Señales (Datos). C) Leyendas. E) Panel de control.

Fuente: [3].

2.1.4 Resultados Finales

El proyecto realizado en esta fase deja para su continuidad un prototipo construido, las PCB para la construcción de 3 nodos, 10 sensores de temperatura TMP36, 2 sensores de humedad relativa HIH-4000, 10 sensores de intensidad luminosa APDS-9005, 2 sensores NT-CO y 2 sensores NT-NH3 y algunos materiales para la construcción e implementación de más nodos.

2.2 Prueba realizadas con el prototipo de la primera fase

Con el fin de corroborar el correcto funcionamiento de este diseño se implementó 3 nodos, para un total de cuatros nodos (contando el nodo inicial) y estos 4 nodos fueron sometidos a distintas pruebas. Observar la siguiente figura.



Universidad
Industrial de
Santander

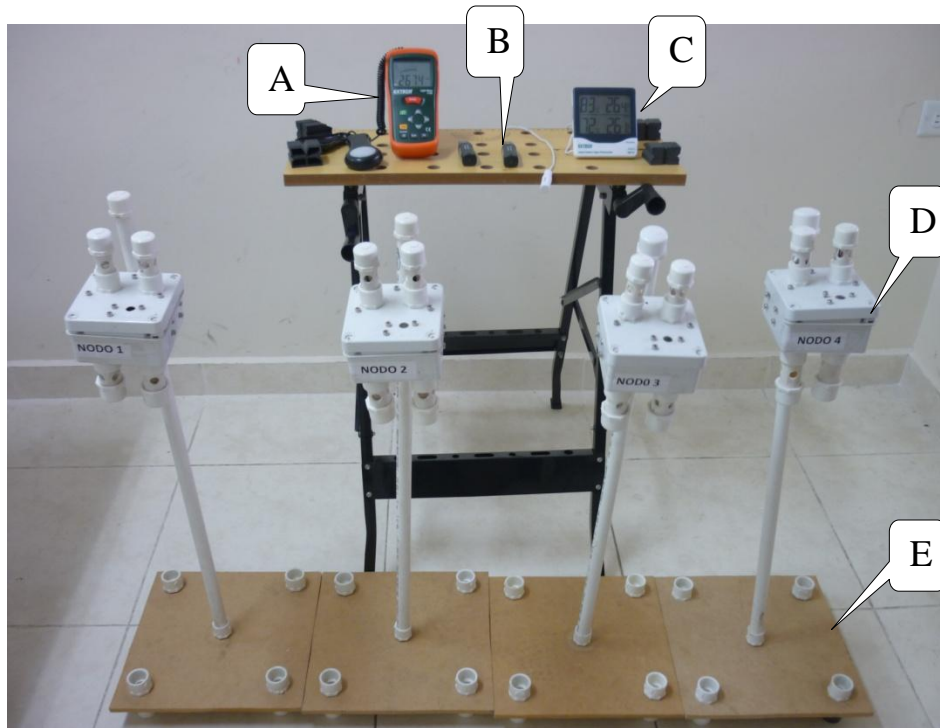


Figura 12. Elementos de la prueba del prototipo inicial.

A) Luxómetro. B) DATALOGGERS. C) Higrómetro. D) Nodos fase I. E) Bases de bajo costo

2.2.1 Prueba No I:

Se procedió a verificar el correcto funcionamiento del *TELOSB* a la alimentación a la cual está siendo sometido. Para esto se programó un *TELOSB* con la aplicación DSM2 (descrita en la sección 2.10.1) y se alimentó con una fuente variable de tensión. También se programó un *TELOSB* con la aplicación TOSBASE la cual le permite actuar como receptor y se conectó al PC a través de puerto USB. Observar la siguiente figura.

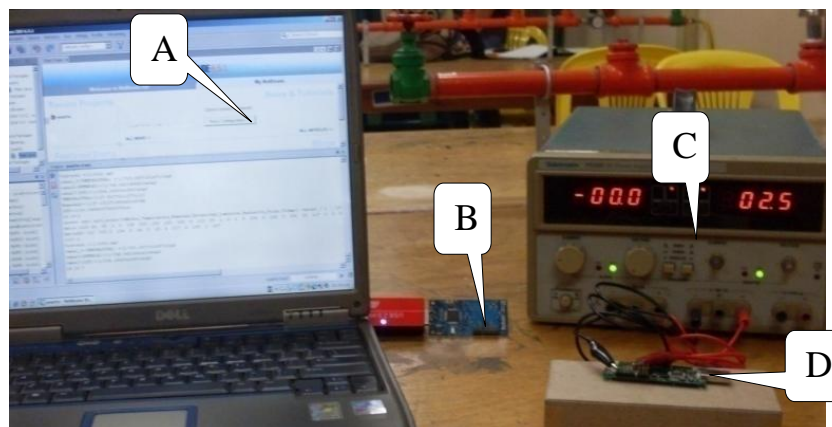


Figura 13. Fuente alimentando al *TELOSB*.

A) Computador con la aplicación "Puerto". B) *TELOSB* Receptor. C) Fuente de alimentación. D) *TELOSB* Transmisor.



Por medio de la aplicación Puerto 6 (Descrita en la sección 3.2.1) se hizo lectura de los valores en mili voltios que se estaban recibiendo al aplicar un voltaje variable en un canal del módulo ADC (para este caso se utilizó el canal 0).

Tabla 3. Datos obtenidos al variar el voltaje de alimentación del TELOSB.


Voltaje de Alimentación 3,3 V			Voltaje de Alimentación 2,9 V		Voltaje de Alimentación 2,5 V	
Voltaje en el Canal 0(mV)	Voltaje Recibido(mV)	Error (%)	Voltaje Recibido(mV)	Error (%)	Voltaje Recibido(mV)	Error (%)
110	95	13,63636	101,273	7,933636	109,395	0,55
375	346,36	7,637333	363,858	2,9712	373,015	0,529333
650	617,02	5,073846	639,194	1,662462	644,078	0,911077
925	904,08	2,261622	913,413	1,252649	927,35	-0,25405
1200	1081,31	9,890833	1117,7	6,858333	1195	0,416667

Se puede observar que alimentando el TELOSB con un voltaje de 2.5V el error es casi nulo entre lo enviado por el nodo transmisor y la lectura que se hace de lo recibido por el nodo receptor; esto implica que al hacer la conversión de los datos el error entre la interpretación que se hace y lo que realmente se está transmitiendo es casi mínimo.

2.2.2 Prueba No 2



Con esta prueba se buscó definir la precisión y el rango que el equipo construido maneja. Para esto se utilizó equipos de medición para comparar los datos obtenidos. Los equipos utilizados fueron un Higo-termometro [17] y un luxómetro [18] fabricados por EXTECH, con estos dos equipos se puede sensar temperatura, humedad e intensidad luminosa. Un tercer equipo que se utilizó en esta prueba es un DATALOGGER [19] fabricado por EXTECH, la siguiente tabla resume las principales características de estos equipo.

Tabla 4. Características principales de los equipos de medición utilizados en la prueba.
Fuente: Hojas de datos.

Equipo	Características	
DATALOGGER [19]	<p>Este equipo fabricado por EXTECH permite medir y guarda datos de humedad relativa y temperatura. Los datos se descargan a través del puerto USB y la tasa de muestreo puede ser modificada.</p> <p>- Precisión:</p> <p>Humedad Relativa</p> <p>0 a 20 y 80 a 100% ±5.0%</p> <p>20 a 40 y 60 a 80% ±3.5%</p> <p>40 a 60% ±3%</p> <p>Temperatura</p> <p>-40 a -10 y 40 a 70°C ±2°C</p> <p>-10 a 40 ±1°C</p>	



Universidad Industrial de Santander

<p>Higrómetro [17]</p>	<p>Indicador de temperatura y humedad relativa fabricado por EXTECH. Posee dos sensores de temperatura y humedad. Un sensor de humedad y temperatura se encuentran en la parte interior del equipo, mientras que un sensor de humedad y temperatura se encuentran en la parte exterior por medio de una extensión.</p> <p>- Precisión: Humedad Relativa $\pm 5\%$ Temperatura $\pm 1^\circ\text{C}$</p>	
<p>Luxómetro [18]</p>	<p>Este equipo permite realizar la medición de intensidad luminosa, maneja un rango de 0 a 200.000 Lux y tiene una resolución de 0.01 Lux</p> <p>- Precisión: $\pm 5\%$ lectura + 0.5% escala total</p>	

Cada una de las etapas de acondicionamiento de señal que fue implementada entrega como respuesta a una variable física una señal eléctrica que está entre el rango de nivel de tensión que maneja el módulo ADC del XBEE. Para realizar la conversión de valores en mili voltios a valores físicos se utilizaron las ecuaciones que se describen en el proyecto de la fase I [3]. Y por medio de la aplicación Puerto 6 (ver sección 3.2.1) se realizó la lectura.

Tanto los equipos como el nodo construido fueron puestos a pruebas durante varias horas. La primera parte de la prueba se llevó a cabo en el sala del Grupo CPS que tiene un tamaño 2,26mx6,58mx3m (ver Figura 14), este salón cuenta con un aire acondicionado lo que permitió variar cada 10 minutos la temperatura para posteriormente ser puesto en un espacio cerrado donde por medio de una lámpara incandescente se procedió a aumentar la temperatura. Observar la siguiente figura.

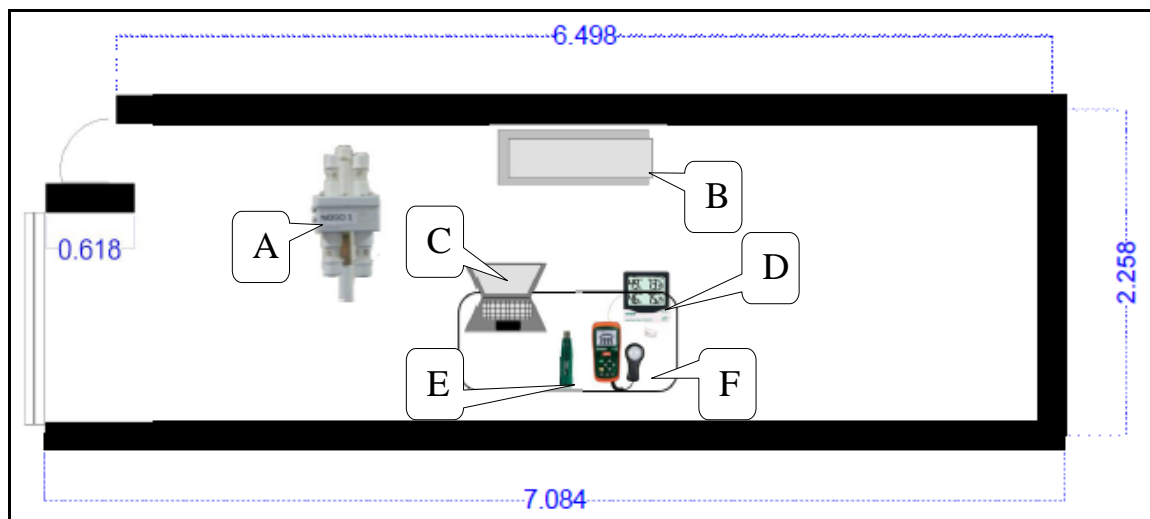


Figura 14. Descripción del espacio donde se realizó la prueba. Dimensiones en metros.

A) Prototipo Fase I. B) Aire acondicionado. C) Computador. D) Higrómetro.

E) DATALOGGER. F) Luxómetro.

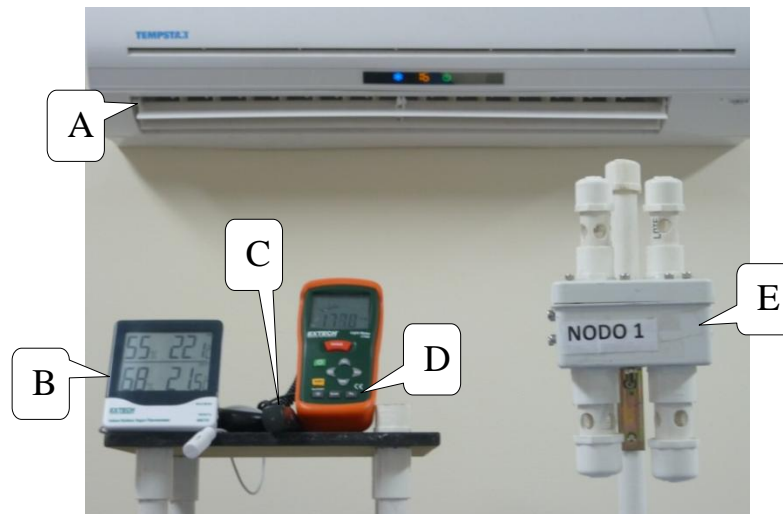


Figura 15. Prueba para definir la precisión y rango del equipo.
 A) Aire acondicionado. B) Higrómetro. C) DATALOGGER. D) Luxómetro.
 E) Prototipo Fase I.

En la Tabla 5 se resume los rangos de cada una de las variables físicas obtenidos experimentalmente y en el ANEXO A se muestran las tablas con los resultados obtenidos en esta prueba.

Tabla 5. Rango de cada una de las variables físicas de la fase I.

Variable Física	Rango
Temperatura (C°)	17.9-40,6
Humedad Relativa(%HR)	26-89
Intensidad Luminosa (Lux)	0-100
CO	No hay rango
NH3(ppm)	No hay rango

Las etapas de los sensores de NH3 y CO no presentan ninguna respuesta, la salida de la etapa del diferenciador es prácticamente 0V.

2.3 Especificaciones Prototipo Primera Fase

Tabla 6. Especificaciones del prototipo realizado en el proyecto fase I.

Especificaciones Técnicas del Nodo Prototipo I				
Condiciones de Operación				
Numero de Baterías AA	4			
	MIN	NOM	MAX	UNID
Voltaje de Alimentación Principal	5		11	V
Alimentación TELOSB y XBEE		3.3		V
Alimentación Etapa Diferenciadores (Temp,Luz,CO,NH3)		3.3		V
Alimentación Etapa Humedad		3.3		V
Rango de Medición				
Temperatura	17.9		40,6	C°
Humedad Relativa	26		89	%HR
Intensidad Luminosa	0		100	Lux



Precisión de Equipo		
Temperatura	+/-6%	C°
Humedad Relativa	+/-8%	%HR
General		
Número de tarjetas	6	
Dimensiones de tarjetas	Tarjeta principal 9.5*7 cm Tarjeta sensores 4.5 *3 cm	
Forma de conectar	Cables	
Indicador de nivel de batería	No	
Test Point	No	
Peso	620 gramos	
Plataformas hardware		
	TMOTESKY/TELOS/B/XBEE	

2.4 Fuentes de error y cosas a mejorar.

Al realizar estas pruebas y al manipular los nodos quedaron al descubierto distintos inconvenientes a nivel de diseño, a nivel de precisión y confiabilidad de los datos que arrojan estos nodos, estos se describen a continuación:

- La construcción y el mantenimiento de este prototipo es dispendiosa y desencadena algunos errores. La utilización de cables para unir las diferentes tarjetas lo hace un prototipo poco manipulable, ya que por ejemplo al tratar de reemplazar las baterías se puede generar un daño en un cable como romperlo o soltarlo de su conector y dejar sin alimentación una tarjeta o generar un corto.

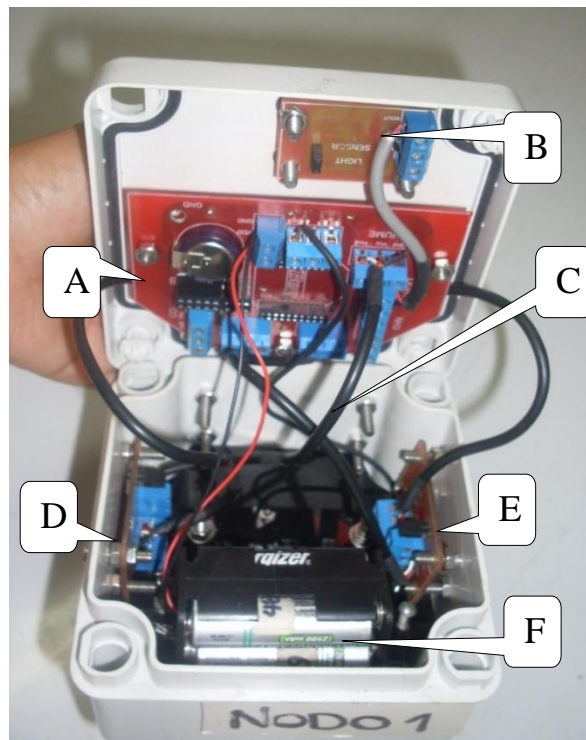


Figura 16. Interior del prototipo de la Fase I.

A) Tarjeta principal. B) Tarjeta de luz. C) Cables. D) Tarjeta temperatura.
E) Tarjeta humedad. F) Alimentación de 4 baterías AA.

- Al alimentar el *TELOSB* a 3.3V se registra una lectura errada, ya que se obtiene una diferencia en voltaje alrededor de 300mV entre lo que envía el nodo transmisor y la lectura que se realiza a través del nodo receptor. Lo que implica realizar una conversión inadecuada de los datos generando un error final en la medida de la variable física.
- Las etapas de NH_3 y CO no funcionan, ya que no hay respuesta eléctrica a la salida del diferenciador.
- La herramienta que se utiliza para mostrar la información presenta dificultades a la hora de interpretar la gráfica, ya que el rango que se maneja tanto en el eje vertical como el horizontal carece de sentido físico, no se puede interpretar en unidades reales según la variable. Con ello lo único que se puede observar es una variación.

Por lo tanto se plantea la necesidad de modificar el prototipo de la fase I para solucionar los problemas a nivel de eficiencia y confiabilidad en los datos que arrojan estos nodos. Con este nuevo diseño se busca:

- Robustez y fácil acople a la WSN.
- Precisión en los datos que envía cada circuito que conforma un nodo.
- Bajo consumo de energía.



2.5 Descripción Hardware Nueva Versión

2.5.1 Prototipo inicial

Para esta fase se decidió diseñar un primer prototipo de manera que su forma de conectar sea más fácil, disminuyendo así posibles fuentes de error y dándole una mayor robustez. Para esto se diseñó un nodo cuya estructura fuese modular, es decir la forma de conectarse de una tarjeta a otra se hace directamente con conectores sin la necesidad de utilizar cables. Con esto se obtuvo un nodo más compacto y de más fácil manejo. Ver siguiente figura.

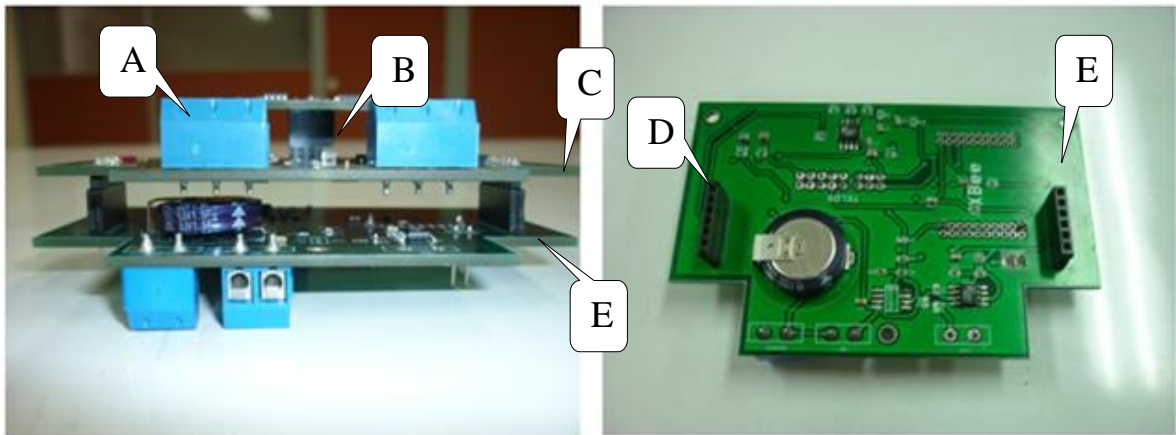


Figura 17. Prototipo inicial de la Fase II.

A) Mol de 3 pines. B) Sensor de luz. C) Módulo sensores. D) Conector. E) Módulo tarjeta principal.

- Prueba realizada

Se verificó el voltaje de salida obtenido en cada uno de los nodos con el voltaje esperado teóricamente y se pudo observar una diferencia de mili voltios, esto ocasiona que la interpretación de las variables físicas en sus respectivas unidades difiriera en un alto porcentaje de lo real. Ver Tabla 7.

Tabla 7. Contraste entre voltaje teórico y el voltaje real de alimentación.

<i>Etapa</i>	<i>Voltaje ideal (V)</i>	<i>Voltaje Real (V)</i>
<i>Alimentación del TELOSB y XBEE</i>	3.3	3.284
<i>Alimentación Etapa Sensores (Temperatura y Luz)</i>	3.3	3.257
<i>Alimentación Etapa Humedad</i>	4.5	4.410

Al utilizar en las etapas de alimentación un integrado el cual se ajusta con la configuración de unas resistencias se está introduciendo un error porque el voltaje que entrega a la salida no es el esperado en teoría, debido a que el integrado como tal tiene un rango de precisión y por otro lado las resistencias implementadas no son de precisión lo que ayuda a aumentar la diferencia entre el valor teórico y el valor real del voltaje entregado para alimentar el resto de etapas que conforma cada una de las demás tarjetas.



Para mejorar esto se plantea utilizar reguladores que su salida sea fija y su tolerancia pequeña de forma que la diferencia sea mínima para que los cálculos teóricos no se distancien mucho de los valores reales.

2.5.2 Prototipo Final

Esta nueva versión busca dar solución a los inconvenientes y problemas que se tuvieron en la implementación y puesta en funcionamiento del prototipo presentado en fase I [3] y en el primer prototipo realizado en este proyecto. Este nodo es alimentado con dos baterías AA y permite sensor temperatura, humedad relativa e intensidad luminosa; además, se plantea la necesidad de separar de dicho nodo los sensores de las concentraciones de los gases NH_3 y CO , ya que las condiciones para su funcionamiento son diferentes (ver sección 2.11) [29]. Su hardware está diseñado de forma modular para dar más robustez. Las PCB tienen puntos de prueba (TEST POINT) lo que permite verificar rápidamente el correcto funcionamiento del nodo. Se cuenta con un indicador de batería para que el usuario con solo oprimir un pulsador sepa si el nodo esta encendido y el nivel de carga que tiene.

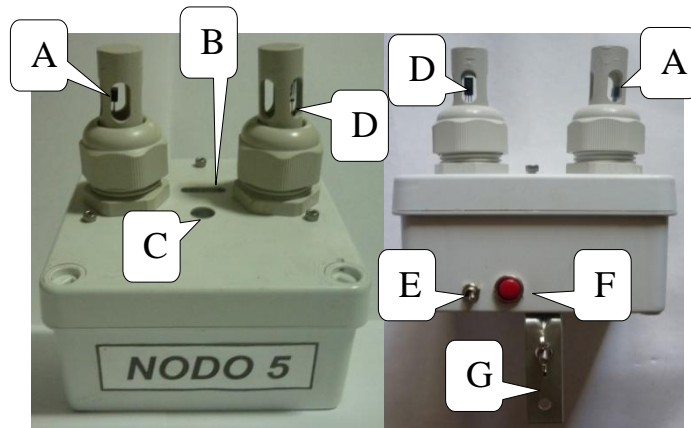


Figura 18. Prototipo desarrollado fase 2.

- A) Sensor temperatura. B) Indicador de nivel de batería. C) Sensor de Luz D) Sensor Humedad.
- E) Interruptor ON-OFF. F) Pulsador indicador de batería. G) Angulo de soporte.

El prototipo final está compuesto por tres módulos básicamente. Módulo Tarjeta Principal, Módulo Sensores y Módulo Indicador .en el siguiente diagrama se muestra esto.

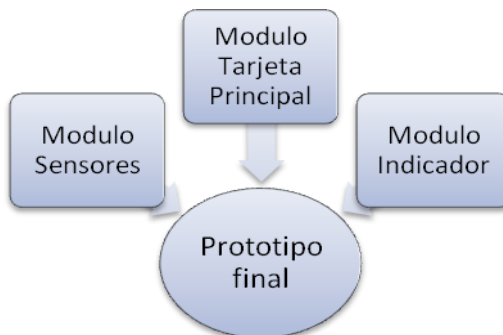


Figura 19. Módulos que conforman el prototipo final desarrollado en la fase 2.



A continuación se hace una descripción hardware de cada módulo y las partes que contiene.

2.5.2.1 Módulo “Tarjeta Principal”

Este módulo contiene una etapa elevadora de tensión basado en el integrado TPS63002 [20] la cual permite manejar 2 baterías AA para alimentar todo el nodo, sin disminuir considerablemente el tiempo de operación del nodo (ver sección 4.8).

El módulo tiene un conector de expansión de 16 pines para conectar el *TELOSB/TOME SKY* y posee otro conector de expansión de 20 pines para conectar el *XBEE*. Estos dos dispositivos pueden ser alimentados y utilizados al mismo tiempo o de forma separada por este módulo. Desde este módulo se regula la tensión de alimentación que es necesaria para que los demás módulos funcionen. La Figura 20 muestra el diagrama de bloques que muestra las partes principales que conforman el módulo “Tarjeta principal”.

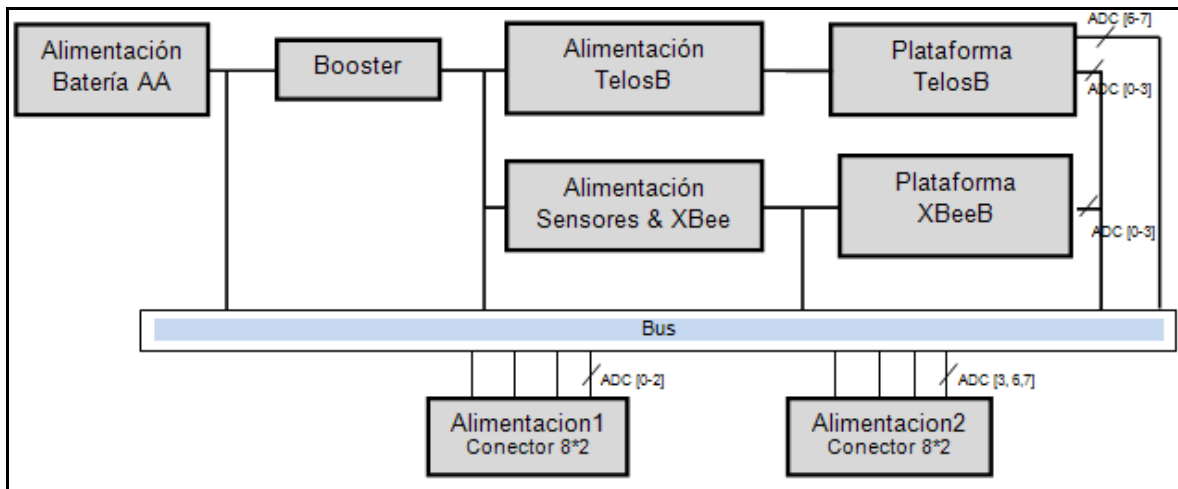


Figura 20. Diagrama de bloques del Módulo “Tarjeta principal”.

2.5.2.2 Módulo Sensores (Temperatura, Humedad Relativa e Intensidad Luminosa)

El módulo de ADC de la plataforma hardware *TELOSB/TMOTESKY* y *XBEE* maneja niveles de tensión que restringe el rango de salida de los sensores. Los valores de la señal eléctrica a la salida de cada sensor esta por fuera de estos rangos y es muy baja en todo el rango de medición, lo que la hace poco significativa.

Por lo anterior se implementa una etapa de adecuación en la señal que permita obtener el mayor rendimiento de los módulos ADC. Esta etapa realiza la función de acoplar los niveles de tensión de salida de los sensores, con los niveles de tensión permitido por los puertos de entrada de los ADC, amplificando y linealizando la señal.



En este módulo se hace la adecuación de las señales entregadas por el sensor de temperatura (TMP-36), sensor de humedad (HIH-4000) y el sensor de luz (ADPS-9005). La Figura 21, presenta el diagrama de bloques que muestra las partes principales que conforman el módulo Sensores.

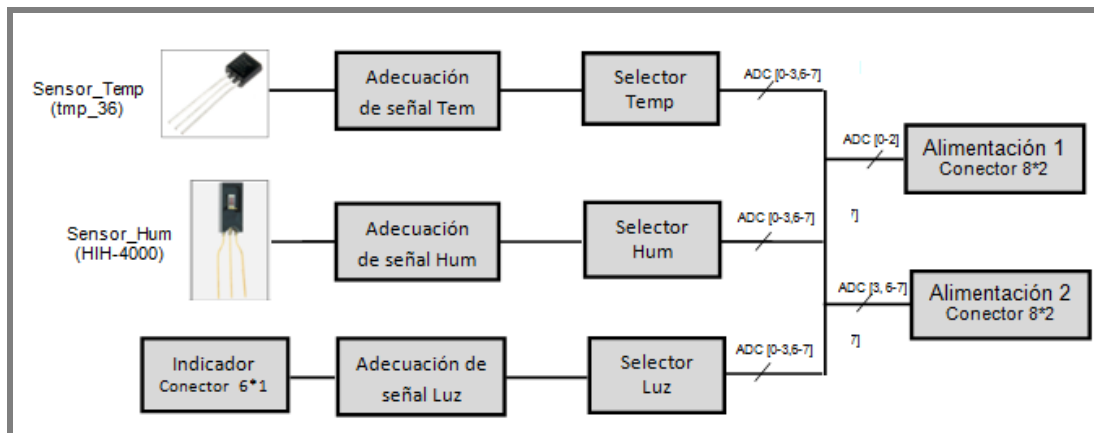


Figura 21. Diagrama de bloques del módulo Sensores.

En este módulo se implementaron llaves seleccionadores cuya función es direccionar la señal eléctrica proveniente de la salida de cada etapa de adecuación a un canal ADC de las plataformas de comunicación. A continuación, a modo de ejemplo, se hace un análisis del circuito implementado para el acondicionamiento de señal para la etapa de luz.

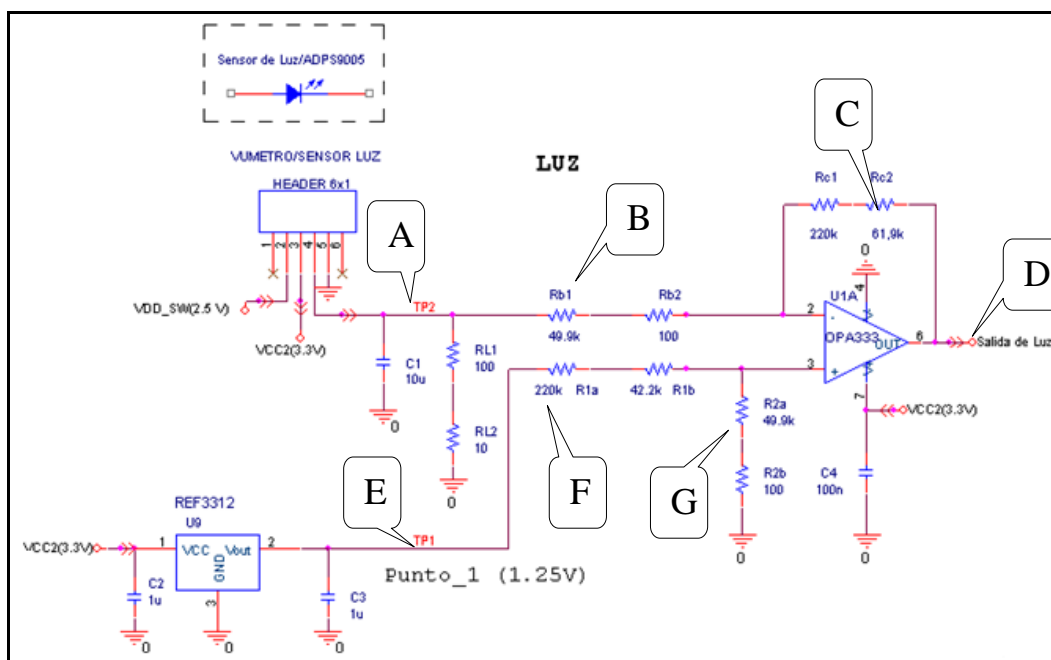


Figura 22. Etapa de adecuación de señal del sensor de luz.

Este circuito hace parte del Módulo "Sensores". A) TP2- Punto de prueba para medir el voltaje de salida del sensor de luz. B) Par de resistencias que conforman Rb. C) Par de resistencia que conforman Rc. D) TP3- Punto de prueba para medir el Voltaje de salida del diferenciador. E) TP1- Punto de prueba para medir el voltaje de referencia 1,25 V. F) Par de resistencias que conforman R1. G) Par de resistencias que conforman R2.



Este circuito consiste en un diferenciador, con el cual se tiene un voltaje de salida “Salida de luz” (TP3) a partir del voltaje de referencia (TP1) y el voltaje que da como respuesta a la variación de intensidad luminosa el sensor de luz (TP2).

La ecuación que describe la relación de entrada-salida del circuito diferenciador mostrado en la Figura 22 es:

$$V_{out(TP3)} = -\frac{Rc}{Rb} * V_{sen(TP2)} + V_{ref(TP1)} \left(1 + \frac{Rc}{Rb}\right) \left(\frac{R2}{R2 + R1}\right) \quad (1)$$

Cuando se realizaron las pruebas con la versión inicial del nodo, se observó que el voltaje tanto a la salida del sensor como a la salida del regulador presentaban una diferencia de milésimas de los valores teóricos. Pero esto era suficiente para que la interpretación de la lectura que se hacía de los valores que enviaba el nodo en su versión inicial, arrojara un margen de error considerable (Ej: variable luz 40-60 lux).

La solución que se propuso fue utilizar un integrado que permita un grado de precisión mayor y que permita tener una tensión de referencia en la etapa no inversora constante, para esto se utiliza el circuito integrado REF3312 [21] cuya características principales está el bajo consumo de energía y un grado de precisión alto.

Además se revisaron las hojas de datos de los sensores y se observó que las curvas que relacionan la entrada-salida dependen de la tensión a la cual se está alimentando el sensor. Es por esto que se hizo necesario caracterizar los sensores ya que en cada curva característica de cada sensor estaba relacionada con una tensión de alimentación distinta.

Las Figura 23 y 24 muestran las diferencias entre las curvas características dadas por las hojas de datos y las que se hallaron en las pruebas de caracterización de los sensores de temperatura (TPM36) e intensidad luminosa (APDS-9005) menos el sensor de humedad (HIH-4000), ya que en este sensor se alimenta con la misma tensión propuesta en la hoja de datos.

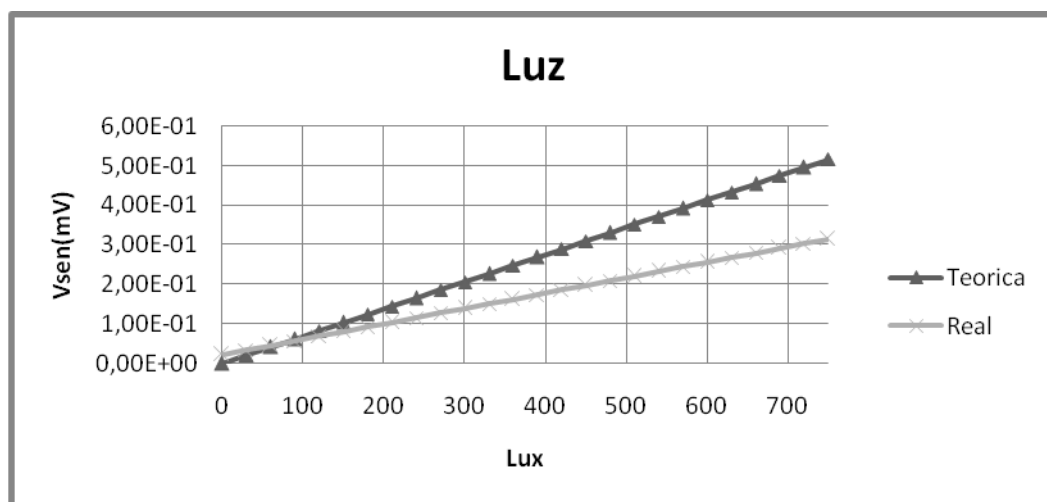


Figura 23. Relación voltaje de salida vs Lux.

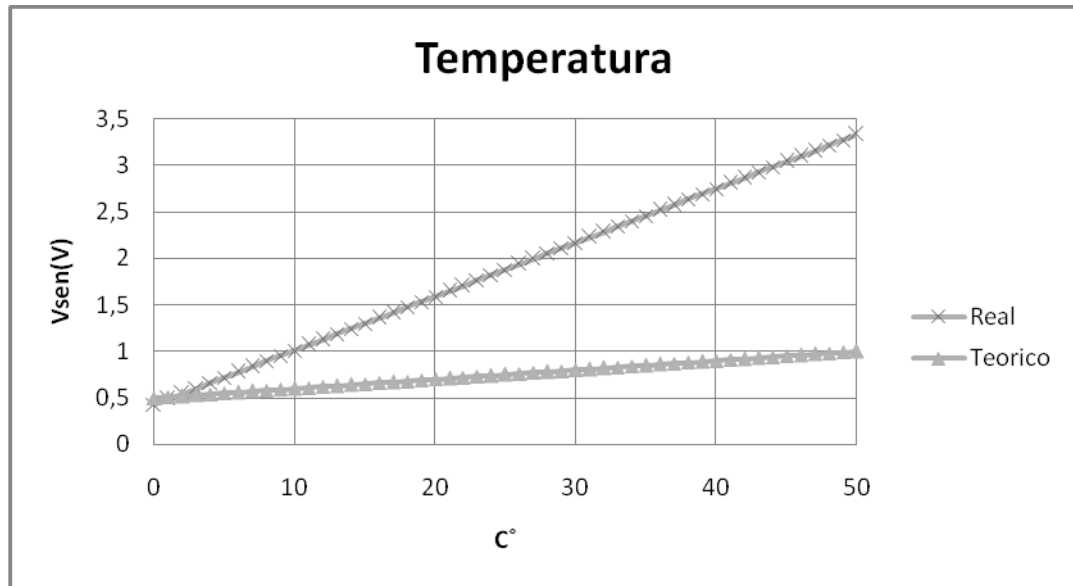


Figura 24. Relación voltaje de salida vs Temperatura.

En la siguiente tabla se describe las ecuaciones de cada una de las gráficas mostradas anteriormente.

Tabla 8. Ecuación característica de cada sensor.

Variables	Ecuación Teórico (mV)	Vin(V) Teórico	Ecuación Experimental (mV)	Vin(V) Real
Temperatura	$V_{sen} = 0.0058 * T + 0.43$	3.0	$V_{sen} = 0.01 * T + 0.5$	3.3
Humedad Relativa	$V_{sen} = 0.0306 * H + 0.958$	5.0	$V_{sen} = 0.0306 * H + 0.958$	5.0
Intensidad Luminosa	$V_{sen} = 0.688 * Lux$	1.8	$V_{sen} = 0.3898 * Lux + 22.004$	3.3

Al tener en cuenta la relación entrada salida (ecuación 1) de la etapa de acondicionamiento de señal, para calcular el valor de las resistencias, se debe tener en cuenta los niveles de tensión de los módulos ADC de las diferentes plataformas (Tabla 2). En particular, el rango de voltaje al cual trabaja el módulo de ADC de la plataforma XBEE [16], ya que es menor que el de la plataforma TELOS/TMOT SKY [15]. La recomendación de diseño [22], establece que el valor resultante del paralelo de las resistencias conectadas a la entrada inversora debe ser igual al valor resultante conectado en la entrada no inversora, ver la siguiente figura, para asegurar que las tensiones generadas en las entradas del OPAMP, a causa de la corriente de ruido referida a la entrada, corriente de polarización, etc. tengan el mismo valor y sean tomadas como tensiones de modo común y por tanto rechazadas. Ver la siguiente ecuación.

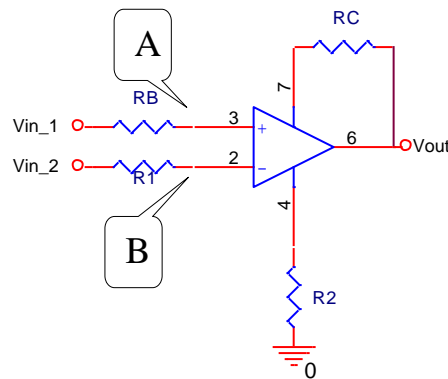


Figura 25. Circuito diferenciador.
A) Entrada no inversora. B) Entrada inversora.

$$RC \parallel RB = R1 \parallel R2 \quad (2)$$

Con estas consideraciones, se calculó el valor de las resistencias de las etapas de acondicionamiento de señal para cada uno de los sensores descritos en el ANEXO B.

De acuerdo al ANEXO B y la ecuación I el resultado de cada una de las ecuaciones que relaciona la entrada-salida se resume en la siguiente tabla.

Tabla 9. Funciones matemáticas que modelan el comportamiento eléctrico de la señal de salida de la etapa de acondicionamiento de señal tanto con valores teóricos y comerciales de resistencias

$V_{\text{AUX}} = m \cdot V_{\text{sen}} + b$		
	Ecuación Etapa de Adecuación	
	Teórico	Experimental
Temperatura	$V_{\text{out}} = -3.666 \cdot V_{\text{sen}} + 3.4$	$V_{\text{out}} = -3.6807 \cdot V_{\text{sen}} + 3.4105$
Humedad	$V_{\text{out}} = -0.4493 \cdot V_{\text{sen}} + 1.7679$	$V_{\text{out}} = -0.4492 \cdot V_{\text{sen}} + 1.7678$
Intensidad Luminosa	$V_{\text{out}} = -5.6439 \cdot V_{\text{sen}} + 1.3241$	$V_{\text{out}} = -5.6492 \cdot V_{\text{sen}} + 1.3289$

Los valores de las resistencias en el ANEXO B son parte del circuito de acondicionamiento de señal, son valores comerciales que se seleccionaron por acercarse a su valor teórico. Según el fabricante de estos elementos pasivos, las resistencias poseen un 1% de tolerancia, lo que hace que la diferencia entre el valor teórico y comercial crezca.

La etapa no inversora del diferenciador que se utiliza como parte de la adecuación de señal en cada variable está diseñada con un integrado que por su fabricación posee un grado de tolerancia que es del 0.1% [21].

Esto hace que la ecuación I se afecte al tener en cuenta estas consideraciones. Las ecuaciones 3 y 4 representan el rango máximo y mínimo al tener en cuenta estas tolerancias.



$$V_{out(max)} = \frac{R_c(1 + \tau)}{R_b(1 - \tau)} * V_{sen} + V_{ref}(1 + \beta) * \left(1 + \frac{R_c(1 + \tau)}{R_b(1 - \tau)}\right) * \left(\frac{R_2(1 + \tau)}{R_1(1 - \tau) + R_2(1 + \tau)}\right) \quad (3)$$

$$V_{out(min)} = \frac{R_c(1 - \tau)}{R_b(1 + \tau)} * V_{sen} + V_{ref}(1 - \beta) * \left(1 + \frac{R_c(1 - \tau)}{R_b(1 + \tau)}\right) * \left(\frac{R_2(1 - \tau)}{R_1(1 + \tau) + R_2(1 + \tau)}\right) \quad (4)$$

Donde τ es el valor de la tolerancia suponiendo que todas las resistencias están fabricadas de la misma manera y tiene el mismo valor de tolerancia y es el valor de tolerancia de la etapa de referencia

En la Tabla 10 se resumen las funciones matemáticas que modelan el comportamiento eléctrico de las señales de cada variable física teniendo en cuenta el rango de tolerancia. Matemáticas que modelan el comportamiento eléctrico de la señal de salida de la etapa de acondicionamiento de señal tanto con valores teóricos y comerciales de resistencias.

Tabla 10. Ecuación matemática que modela el comportamiento de la etapa de acondicionamiento de señal calculada con valores de resistivos teóricos y comerciales

Sensor	Ecuación Etapa de Adecuación (Resistencias con 1% de tolerancia y V_{ref} 0.10%)					
	Pendiente(m)			Offset(b)		
	Teórico	Real	Error	Teórico	Real	Error
Temperatura	-3.666	-3.755	2.41%	3.4	3.497	2.85%
		-3.607	1.60%		3.260	2.18%
Humedad	-0.449	-0.458	2.0%	1,767	1.781	0.77%
		-0.440	2.0%		1.754	0.77%
Intensidad Luminosa	-5.643		2.12%	1.324	1.377	4.01%
			1.89%		1.282	3.17%

Al unir las ecuaciones reales descritas en la

Tabla 8 y la Tabla 9 se hallan las ecuaciones experimentales que relacionan el voltaje de salida del diferenciador con la variable física, en la Tabla 11 se resume estas ecuaciones.

Tabla 11. Funciones matemáticas que modelan el comportamiento del voltaje de salida del diferenciador vs las medidas de las variables físicas

Variable Física	Ecuación
Temperatura	$Temp = 41.9177 - V_{out} * 27.1687$
Humedad Relativa	$Hum = 97.25131 - V_{out} * 72.7536$
Intensidad Luminosa	$Luz = 457.693 - V_{out} * 545.8959$



2.5.2.3 Módulo Indicador

Para saber cuándo es necesario un cambio de batería de forma rápida y sin tener que acceder a la parte interna del nodo, se implementó un circuito indicador de batería el cual indica por medio de cuatro *LED* el nivel de carga.

El nivel límite de carga al cual va estar encendido cada uno de los *LED* se relaciona en la siguiente figura.

Indicador de Batería					
	100% 2.5V	75% 2.3V	50% 2.1V	25% 1.9V	0% 1.7V
LED1	●	●	●	●	○
LED2	●	●	●	○	○
LED3	●	●	○	○	○
LED4	●	○	○	○	○

Figura 26. Rangos de tensión de operación para cada uno de los *LED* del indicador de batería.

Los círculos rojos indican los *LED* que están encendidos. El nivel mínimo de voltaje que es de 1.9V es el voltaje mínimo al cual va estar funcionando la etapa del elevador de voltaje el cual es el encargado de suministrar la tensión a las demás etapas.

En el módulo indicador de nivel de tensión de la batería también se encuentra el sensor ADPS-9005 que es el encargado de medir la intensidad luminosa del lugar. Ver en la siguiente figura.

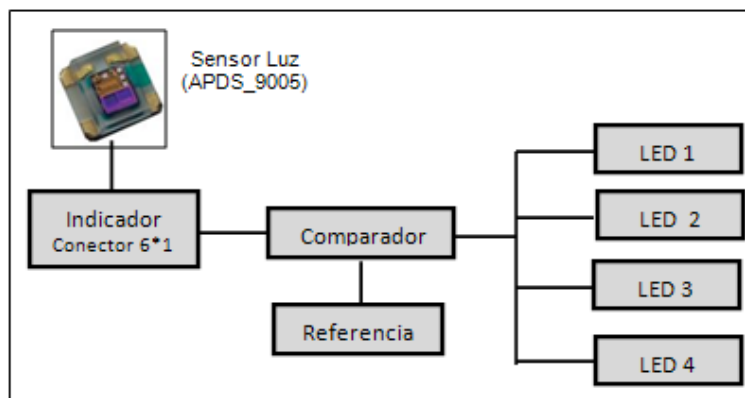


Figura 27. Diagrama de bloques del módulo Indicador de nivel de batería.

2.6 Diseño e implementación de las tarjetas de circuitos impresos (PCB)

Con las pruebas realizadas a los nodos en el prototipo inicial, la realización de simulaciones y pruebas en laboratorio, se procedió al diseño e implementación de los circuitos impresos.



Para la realización adecuada de estas tarjetas se tuvo en cuenta las reglas establecidas por el estándar IPC2221, además de las recomendaciones de los fabricantes de los dispositivos electrónicos y de la empresa encargada de la fabricación de estas tarjetas [23].

Alguna de las recomendaciones se mencionan a continuación [24][25].

- Ubicar los componentes que conforman los circuitos de instrumentación y de medición lo más cerca posible de tal forma que la longitud de las pistas sea lo más pequeña posible, para evitar efectos de carga.
- Para reducir el ruido de conmutación en los circuitos digitales se recomienda colocar un condensador de 0,1uF entre fuente y tierra, lo más cercano posible a cada integrado. Colocar cada 10 integrados un condensador de 10uF y por cada módulo o tarjeta electrónica colocar un condensador de 47uF.
- Diseñar las placas de forma estandarizada y modular, de tal manera que la fabricación y ensamblaje sea práctico.
- Poner puntos de prueba (TP o *TEST POINT*) a la salida de cada etapa, en lugares de la PCB donde se pueda verificar y conectar instrumentos de medición fácilmente.
- No poner pistas, ni colocar componentes cerca de los bordes de las PCBs donde puedan tener contacto con los tornillos de fijación, guías o con la estructura.
- La separación mínima entre 2 pistas adyacentes debe de ser 0.8 mm, lo que garantiza un buen aislamiento eléctrico.
- Realizar los PAD (Área Plana conductiva donde se realiza las soldaduras de componentes) en función del tamaño y peso de los componentes. Así como también de acuerdo a las fuerzas y tensiones mecánicas que deba soportar
- Llenar con planos de tierra la parte de la placa que no lleve pistas; así se evita la contaminación de los oxidantes

En el ANEXO C se muestra cada uno de los diseños de las PCB que conforman los módulos.

2.7 Estándar de diseño

Para verificar el correcto funcionamiento del nodo después de implementado se dispuso de diferentes puntos de prueba en las diferentes módulos. Lo que permite implementar en serie distintos nodos y hacer una verificación rápida de su correcto funcionamiento.

Tabla 12. Valores de tensión en los diferentes *TEST POINT* en cada uno de los módulos.

Tarjeta Principal			Módulos			Indicador		
Puntos de prueba	Valor de tensión [V]	Descripción	Puntos de prueba	Valor de tensión [V]	Descripción	Puntos de prueba	Valor de tensión [V]	Descripción
TP0	0	Gnd	TP0	0	Gnd	TP0	0	Gnd
TP1	5.0	Vcc1	TP1	1.25	V de Ref Luz	TP1	1.5	Vref
TP2	3.3	Vcc2	TP2	**	V sensor_ Luz			
TP3	3.3	Vdd_sw	TP3	**	Salida de Luz			
TP4	*	CH_2	TP4	**	V sensor_Temp			
TP5	*	CH_1	TP5	1.25	V de RefTemp			
TP6	*	CH_3	TP6	**	Salida de Temp			



Universidad Industrial de Santander

TP7	*	CH_4	TP7	1.25	V de RefHum		
TP8	*	CH_5	TP8	**	V sensor_Hum		
TP9	*	CH_6	TP9	**	Salida de Hum		

* Este valor varía de acuerdo a la configuración de cada una de las llaves seleccionadoras.

** Para saber el valor de voltaje en este punto revisar las tablas del ANEXO D.

2.8 Consideraciones de montaje y forma de uso

A la salida de cada etapa del diferenciador se encuentra una llave seleccionadora (DIP-SW), la cual permite direccionar la señal eléctrica a los 6 canales del TELOSB/TMOTESKY y de los 4 canales del XBEE, Ver Figura 28, es decir por medio de este dispositivo podemos decidir por cual canal el módulo ADC del TELOSB/TMOTESKY Y XBEE se va realizar la lectura. Ver Figura 29.

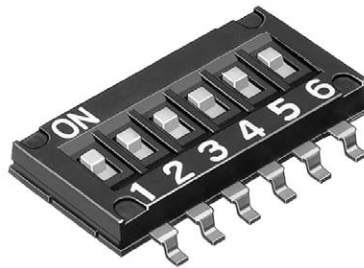


Figura 28. Llave seleccionadora utilizada para direccionar la señal eléctrica a los canales del módulo ADC.

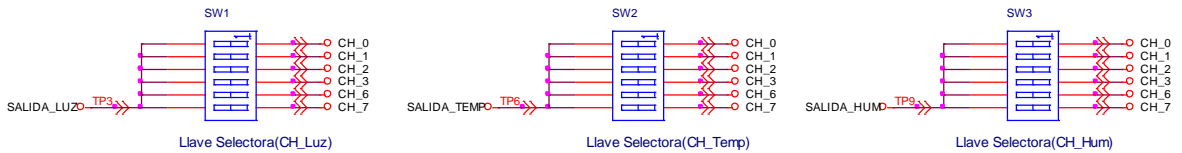


Figura 29. Llave selectora del canal.

Esto permite que a un mismo nodo puedan ser conectados más de un módulo de sensores, facilitando así un TESTBED.

Para el uso adecuado del programa JAVA que fue diseñado, es necesario que las señales eléctricas se direccionen a los canales ADC de las plataformas de una forma particular. Ver la siguiente tabla.

Tabla 13. Forma adecuada de direccionar las señales al módulo ADC.

Variable Física	Canal de Módulo ADC
Temperatura	Canal 0
Humedad Relativa	Canal 6
Intensidad Luminosa	Canal 7

Este prototipo es modular, es decir, que para formar un nodo es necesario unir varios módulos, la forma adecuada de unirlos se describe a continuación. Primero se debe identificar cada uno de los módulos, el módulo principal es el que tiene escrito TELOSB y XBEE, el módulo sensores es el que tiene las llaves seleccionadoras de los canales y el módulo indicador es el más pequeño de todos. Ver siguiente figura.

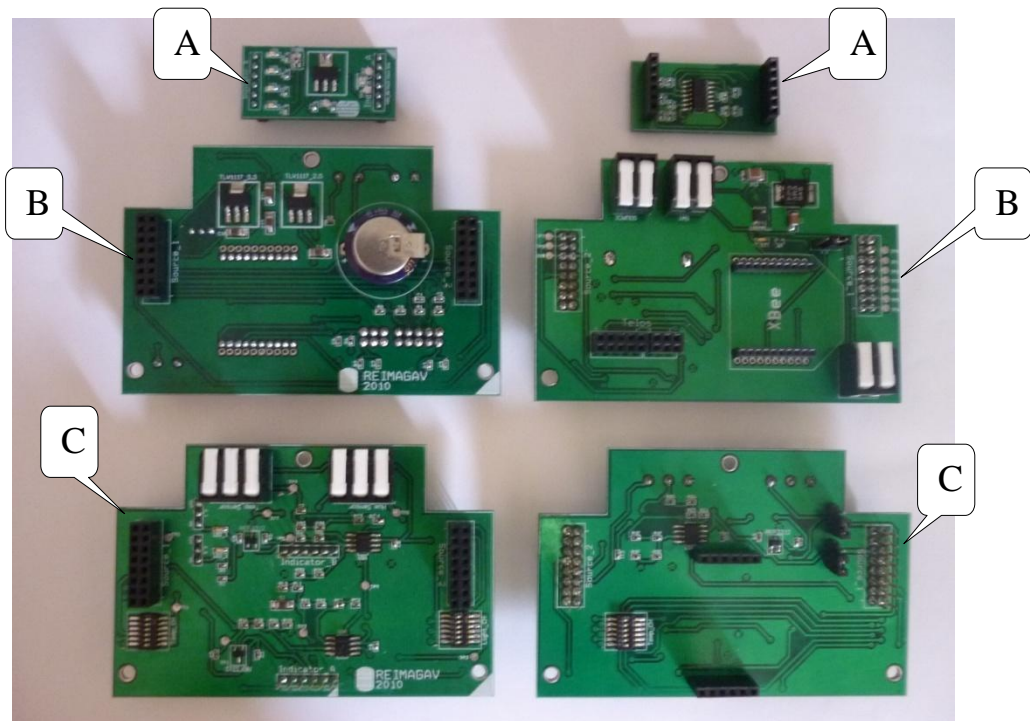


Figura 30. Tarjetas que conforman un nodo.

- A) Tarjeta Módulo indicador de nivel de batería. B) Tarjeta Módulo principal.
C) Tarjeta Módulo de sensores

El segundo paso es identificar las marcas en cada módulo esta marca se ubica en el lado inferior derecho, estas marcas siempre deben quedar todas en la misma posición y en el mismo sentido, ver siguiente figura.

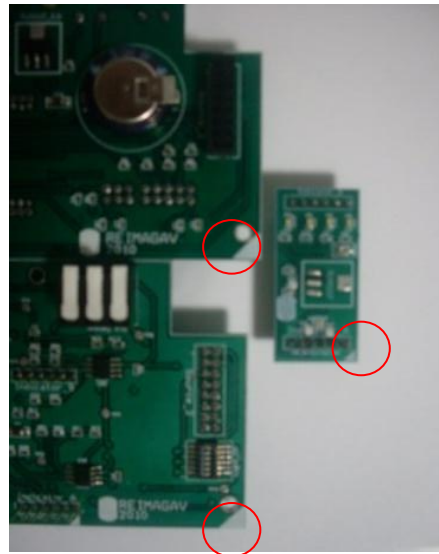


Figura 31. Guías que indican la correcta conexión de los módulos.

El tercer paso es conectar las baterías, el interruptor y el pulsador al módulo principal y conectar el sensor de humedad y temperatura en el módulo sensores. Observar la siguiente figura.

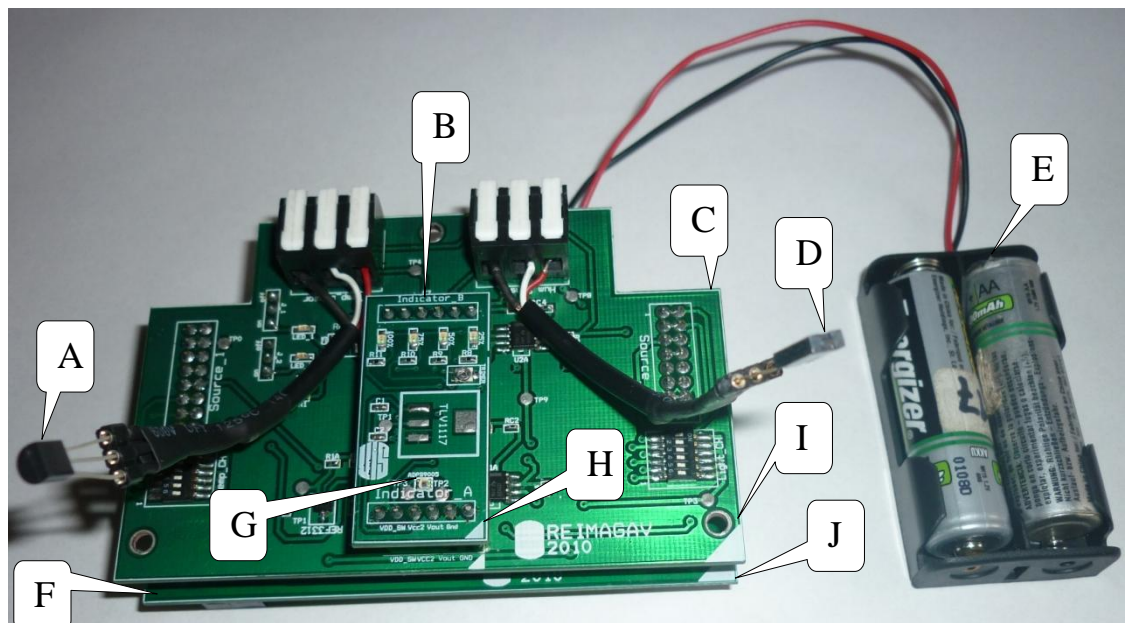


Figura 32. Conexión tarjetas de la fase final.

- A) Sensor de temperatura. B) Tarjeta Módulo Indicador de nivel de batería.
- C) Tarjeta Módulo Sensores .D) Sensor de humedad. E) Alimentación con 2 baterías AA.
- F) Tarjeta Módulo Principal. G) Sensor de Luz. H) Guía que indica la correcta conexión del Módulo Indicador de batería. I) Guía que indica la correcta conexión del Módulo Sensores. J) Guía que indica la correcta conexión del Módulo principal.

El último paso es conectar la plataforma hardware (*TELOSB* o *XBEE*) que nos permitirá realizar la comunicación, con esto el nodo esta listo para ser usado. Observar la siguiente figura.

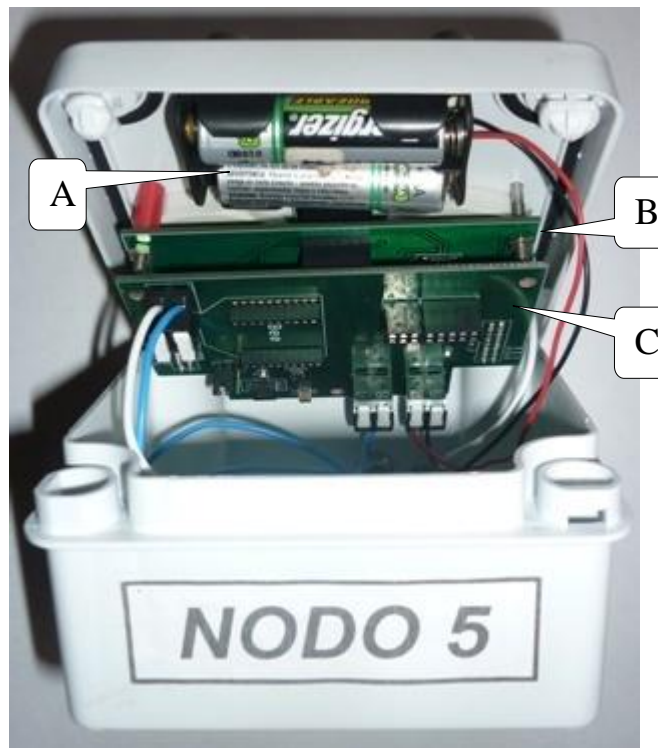


Figura 33. Interior fase final.

A) Alimentación con 2 baterías. B) Módulo sensores. C) Módulo principal.

2.9 Características Técnicas

Tabla 14. Especificaciones del prototipo realizado en la segunda fase.

Especificaciones	Nodo Prototipo Final			
Condiciones de Operación				
Numero de Baterías AA	2			
	MIN	NOM	MAX	UNID
Voltaje de Alimentación Principal	1.8		5.5	V
Alimentación TELOSB		2.5		V
Alimentación Etapa Diferenciadores (Temp,Luz,CO,NH3) y XBEE		3.3		V
Alimentación Etapa Humedad		5		V
Rango de Medición				
Temperatura	10		40	C°
Humedad Relativa	10		90	%HR
Intensidad Luminosa	0		500	Lux
Precisión de Equipo				
Temperatura		+/- 1.2		C°
Humedad Relativa		+/- 8		%HR
Intensidad Luminosa		+/- 8		Lux
General				
Número de tarjetas	3			
Dimensiones de tarjetas	Tarjeta principal y tarjeta Sensores 9.5*7 cm			
Forma de conectar	Modular			



Indicador de nivel de batería	Si
Test Point	Si
Peso	370 gramos
Plataformas hardware	
	TMOTESKY/TELOS/B/XBEE

2.10 Adquisición de datos

2.10.1 Sistema Operativo y lenguaje de programación

- **TinyOS y NesC**

TINYOS es un sistema operativo de código abierto que permite trabajar con redes de sensores inalámbricas, desarrollado por la Universidad de Berkeley. Cuya principal característica de diseño es el bajo consumo de energía. *TINYOS* está diseñado para operar en los pequeños micro controladores de los *MOTES*. Facilita la creación de aplicaciones de redes de sensores, proporciona servicios importantes como la detección, comunicación, almacenamiento y temporizadores de tiempo (*TIMERS*). Este “conjunto de programas” contiene numerosos algoritmos, que nos permitirán desde generar enrutamientos, como también aplicaciones pre-construidas para sensores. Además soporta diferentes plataformas de nodos de sensores, arquitecturas bases para el desarrollo de aplicaciones [26].

El lenguaje en el que se encuentra programado *TINYOS* es un lenguaje que se deriva de C, cuyo nombre es *NESC* (nombre de la *NESC*). Este lenguaje se caracteriza por reducir la memoria *RAM* y el tamaño del código permitiendo optimizaciones significativas, previniendo así errores de bajo nivel.

- **Programa DSM2**

Uno de los principales dispositivos con los cuales se cuenta para este proyecto son los *motes*, dispositivos que permiten la comunicación inalámbrica entre ellos y otro *mote* que actúa como receptor, este envía una trama de datos TCP-IP con la información sobre las lecturas realizadas por los sensores que tiene cada nodo.

Para que cada nodo realice dicha tarea es necesario programarlos a través del sistema operativo *TINYOS*, en su lenguaje *NESC*. Para esto a cada nodo transmisor se le instala un programa llamado “*DSM2*” el cual fue una modificación del programa *DELTA* [27]. Este programa realiza la captura de los datos del módulo *ADC* (*ADC0-ADC7*) donde son conectadas cada una de las señales analógicas que se manejan en este proyecto, incluyendo el *ADC* que contiene la información de temperatura y voltaje interno, estos son agrupados en un paquete de datos que se transmiten inalámbricamente. Este proceso se repite indefinidamente. Cuando una red de *motes* se le instala este programa consigue pasar este mensaje a un *mote* base, donde se le instala un programa que actúa como puente entre en puerto serial y la red inalámbrica llamado *TOSBASE*, este programa se encuentra dentro de *TINYOS* en el directorio *APPS* de *MOTEIV*.



El procedimiento se lleva a cabo utilizando *CYGWIN*, que es una aplicación que simula un entorno *LINUX* y que sirve de interfaz para ejecutar todas las aplicaciones incluidas en el sistema operativo *TINYOS*.

Se inicia abriendo *CYGWIN* y se ubica el directorio principal de *TINYOS*. En donde se encuentra la carpeta *OPT* y dentro de ella los directorios *MOTEIV* y *TINYOS-1.x*. Desde ahí es posible acceder al *APPS* y a todas las aplicaciones desarrolladas en *JAVA* y que se encuentran en estos subdirectorios.

Dentro de la carpeta *APPS* se debe copiar la carpeta “*DSM2*” que contiene la aplicación que hay que instalarle a cada mote, en esta misma carpeta se encuentra la aplicación *TOSBASE*, la cual se le programa al nodo designado como el nodo receptor para poder recibir y manipular dicha información posteriormente.

En la Figura 34, se muestra el directorio *APPS* que contiene las aplicaciones mencionadas y al que se debe ingresar desde *CYWING* para programar el nodo.



```
Avicola@cps-8ed46b318f8 ~
$ cd ..
Avicola@cps-8ed46b318f8 /home
$ cd ..
Avicola@cps-8ed46b318f8 /
$ cd opt/moteiv/apps
Avicola@cps-8ed46b318f8 /opt/moteiv/apps
$ dir
DSM DSM2 Delta Oscilloscope RadioDemo TOSBase invent
Avicola@cps-8ed46b318f8 /opt/moteiv/apps
$ -
```

Figura 34. Directorio *APPS* de *TINYOS*.

Para programar el *DSM2* en los nodos se entra al directorio *opt/moteiv / apps / DSM2*, y se ejecuta la instrucción:

make tmote reinstall, ID del Nodo

En la Figura 35 se muestra la aplicación *DSM2*, la cual se instala en cada nodo transmisor.

En donde el ID del nodo es el número que debe asociarse a cada nodo para su identificación en la trama de datos que transmitirá.



```
Avicola@cps-8ed46b318f8 ~
$ cd ..
Avicola@cps-8ed46b318f8 /home
$ cd ..
Avicola@cps-8ed46b318f8 /
$ cd opt/moteiv/apps
Avicola@cps-8ed46b318f8 /opt/moteiv/apps
$ dir
DSM DSM2 Delta Oscilloscope RadioDemo TOSBase invent
Avicola@cps-8ed46b318f8 /opt/moteiv/apps
$ cd DSM2
Avicola@cps-8ed46b318f8 /opt/moteiv/apps/DSM2
$ make tmote reinstall,1_
```

Figura 35. Aplicación DSM2.

Luego de instalar el programa DSM2 en los nodos transmisores, se debe escoger el nodo receptor y se le debe instalar el programa TOSBase ubicado en el directorio opt/moteiv / apps / TOSBase. La instrucción a ejecutar es:

make tmote reinstall, 0

En la Figura 36 se muestra la aplicación TOSBase, la cual se instala en el nodo transmisor. En este caso se asigna una ID 0 para ser identificado como el nodo concentrador.

```
Avicola@cps-8ed46b318f8 ~
$ cd ..
Avicola@cps-8ed46b318f8 /home
$ cd ..
Avicola@cps-8ed46b318f8 /
$ cd opt/moteiv/apps
Avicola@cps-8ed46b318f8 /opt/moteiv/apps
$ dir
DSM DSM2 Delta Oscilloscope RadioDemo TOSBase invent
Avicola@cps-8ed46b318f8 /opt/moteiv/apps
$ cd TOSBase/
Avicola@cps-8ed46b318f8 /opt/moteiv/apps/TOSBase
$ make tmote reinstall,0_
```

Figura 36. Aplicación TOSBASE.

Luego de instalar los programas, el nodo receptor, se conecta al computador vía USB. Desde el PC se ejecuta el programa “Puerto” (Sección 3.2.1), el cual permite acceder a la información que está llegando de toda la red de sensores inalámbricos a través del nodo receptor. Ver siguiente figura.

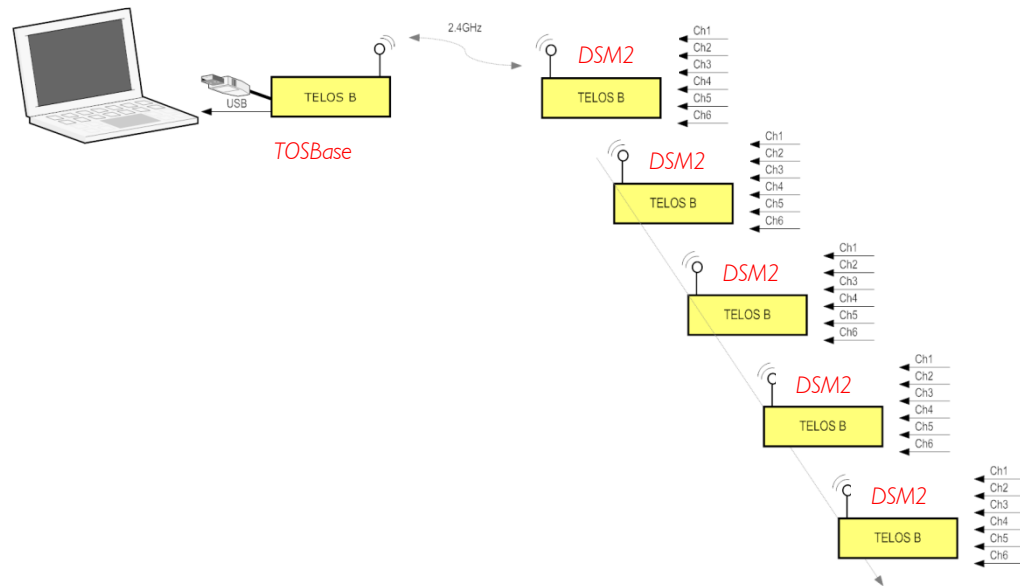


Figura 37. Conexión de la red de sensores

2.11 Nodo para la medición de gases NH_3 y CO

Otras variables que afectan el normal crecimiento de las aves y que causan enfermedades en ellas son el monóxido de carbono y el amoníaco. Por esta razón se hace necesaria la medición de estos gases en el galpón. La industria actualmente cuenta con varias formas para realizar el sensado de concentración de gases que son peligrosos cuando los seres humanos y este caso los pollos están expuestos a periodos largos de tiempo.

Los sensores utilizados actualmente que se emplean para realizar esta tarea están divididos en cinco clases [28][29][30][31][32].

- Catalíticos
- Electroquímicos
- Estado Solido
- Detectores Foto ionizados
- Infrarrojos

Uno de los objetivos de este proyecto es implementar una red de sensores que pueda monitorizar ciertas variables físicas entre ellas NH_3 y CO y caracterizar los sensores que me permitan medir estas variables. Para esto se cuenta con 2 sensores de NH_3 y 2 sensores de CO que fueron adquiridos en un proyecto anterior [3], la implementación de estos sensores se realizó en la primera fase pero no se obtuvo resultados concretos que nos permitiera realizar alguna medición. En la actualidad esta empresa distribuye un nuevo tipo de sensor “inteligente” llamado *CYBER TRANSMITTER* [28] que está basado en un microprocesador, diseñado para aplicaciones de detección de gas y utiliza el mismo tipo de transductor que fueron adquiridos con anterioridad. Puede ser utilizado para detectar gases tóxicos y gases inflamables, la señal de salida del sensor es procesado por el micro procesador, el cual también almacena la información del sensor y entrega como respuesta un voltaje que está entre 0 y 4 V. Ver la siguiente figura.



Este sensor viene calibrado de fábrica y no requiere mantenimiento además su costo es bajo en comparación con otros sensores y equipos que están en el mercado. Por esta razón se tomó la decisión de adquirir este sensor.

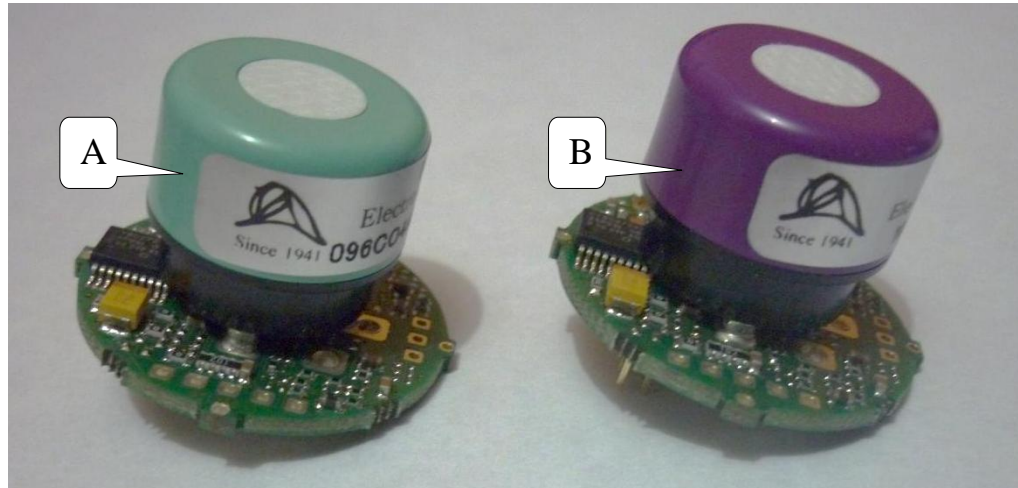


Figura 38. Sensores de gases [28].
A) Sensor CO. B) Sensor NH₃

Para esto se requiere construir un nodo sensor que permite realizar el acople entre el sensor (*CYBER TRANSMITTER*) y las plataformas de comunicación, para realizar mediciones de CO y NH₃ al interior de un galpón

2.1.1.1 Diseño del nodo

Este nodo permite realizar mediciones de concentración de los gases CO y NH₃ en diferentes ambientes, para esto el prototipo posee llaves selectoras con las cuales se puede variar el rango de medición de 0-50 ppm, 0-100 ppm y 0-500 ppm. Este prototipo permite realizar el acople de los sensores *CYBER* con las dos plataformas hardware *TELOSB* y el *XBEE*. Requiere una alimentación que este entre 6.5 y 12 V.

A continuación se hace una descripción de las etapas que conforman este diseño

Este prototipo está conformado por dos etapas básicamente la etapa de Alimentación y la etapa de adecuación de señal. El diagrama de bloques (ver Figura 39) describe las partes principales que conforman este prototipo

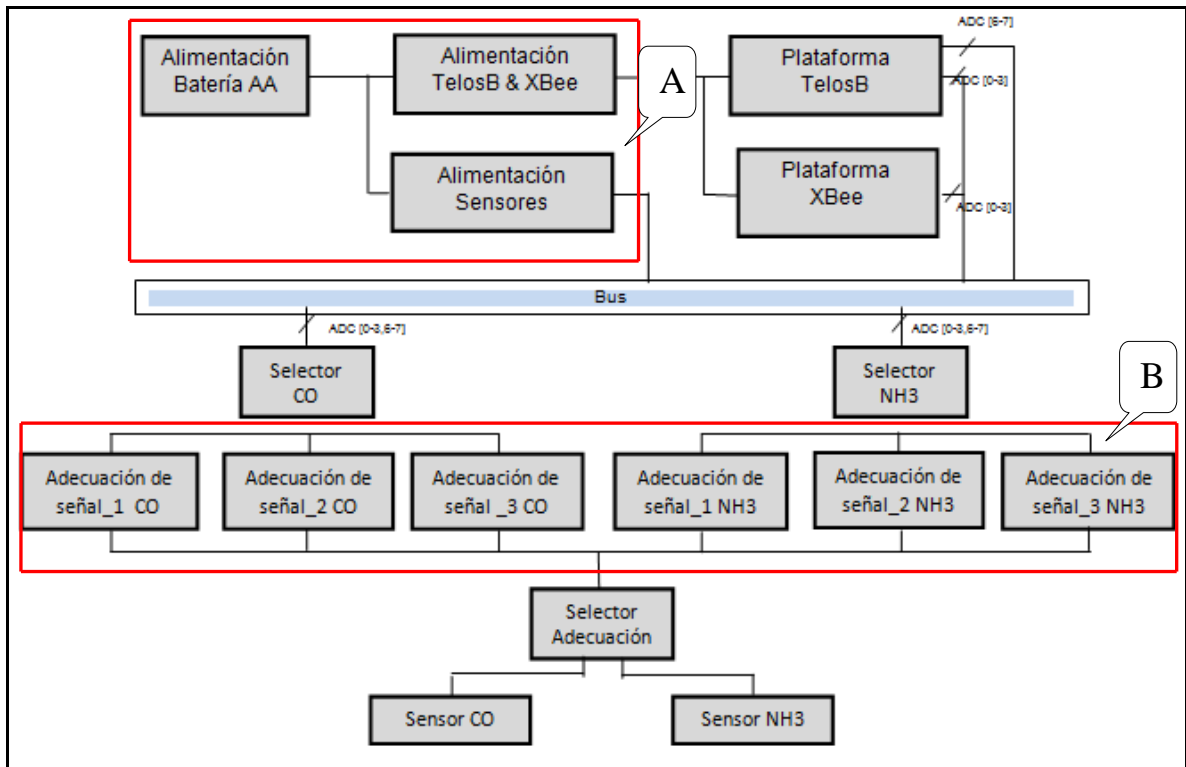


Figura 39. Diagrama de bloques del nodo gases.
A) Etapa de alimentación. B) Etapa de adecuación.

2.1.1.1.1 Etapa de Alimentación

Este prototipo requiere una alimentación mínima de 6.5 V para su correcto funcionamiento. En esta etapa se implementa dos circuitos reguladores que permite manejar el nivel de tensión necesario para alimentar las plataformas de comunicación, el sensor y la etapa de adecuación de señal. Ver siguiente figura.

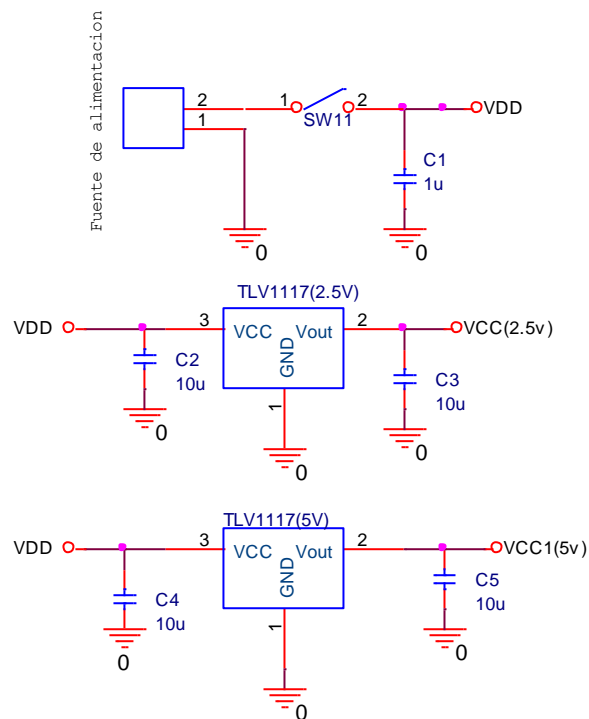


Figura 40. Etapa de alimentación

2.1.1.2 Etapa Adecuación

Esta etapa permite ajustar el rango de salida que maneja el sensor (*CYBER TRANSMITTER*) con el rango del módulo ADC de las plataformas. El rango de medición que maneja el sensor es de 0 a 500 ppm tanto para CO como para el NH₃. Se diseñaron tres etapas de acondicionamiento por cada variable, lo que permite tener 3 rangos de medición (0-50 ppm, 0-100ppm y 0-500ppm).

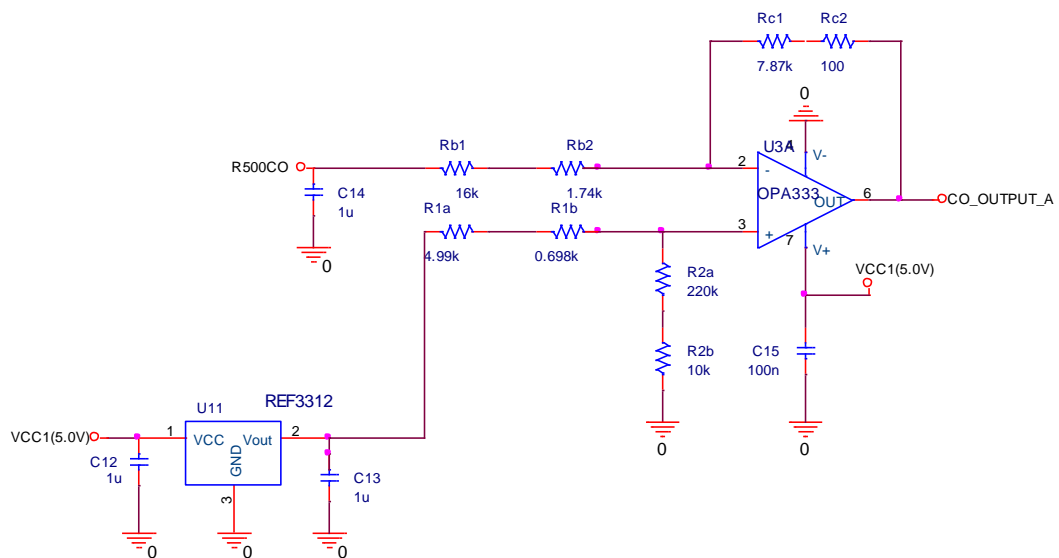


Figura 41. Etapa de acondicionamiento de señal.



Las formulas que relaciona el voltaje de salida del diferenciador con la variable física de cada una de las etapas se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 15. Funciones matemáticas que modelan el comportamiento del voltaje de salida vs variables físicas.

Variable Física	Ecuación	Rango(ppm)
CO	$CO = 53.9522 - V_{out} * 45.3992$	0-50
	$CO = 109.1580 - V_{out} * 89.8734$	0-100
	$CO = 549.5926 - V_{out} * 460.4779$	0-500
NH3	$NH3 = 53.9522 - V_{out} * 45.3992$	0-50
	$NH3 = 109.1580 - V_{out} * 89.8734$	0-100
	$NH3 = 549.5926 - V_{out} * 460.4779$	0-500

2.1.1.2 Puntos de Prueba

Este nodo cuenta con puntos de prueba, lo que permite verificar rápidamente su correcto funcionamiento.

Los valores en volts de cada uno de los TP ubicados en el nodo se describen en la siguiente tabla.

Tabla 16. Valores de tensión en los diferentes puntos de prueba en el nodo gases.

Punto de Prueba	Valor de tensión [V]	Descripción
TP0	0	GND
TP1	6.5 -12	Voltaje de alimentación
TP2	5	Voltaje de regulador
TP3	*	Voltaje de salida CYBER-CO
TP4	*	Voltaje de salida CYBER-NH3
TP5	*	Voltaje de salida del A NH3
TP6	*	Voltaje de salida del A CO

2.1.1.3 Condiciones de montaje y forma de uso

Este nodo tiene 4 llaves seleccionadoras las cuales cumplen distintas funciones que son descritas a continuación.

- Sw1 y Sw2: permite escoger el rango de medición del equipo.

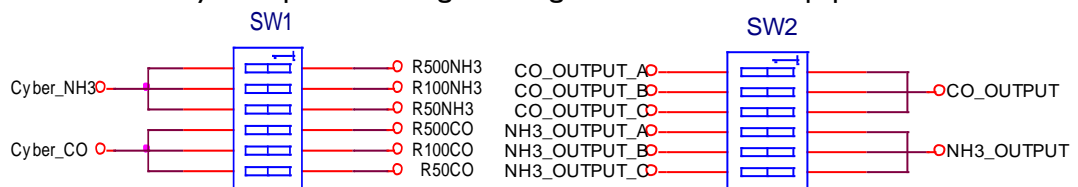


Figura 42. Llaves para seleccionar el rango de medición.

En la Tabla 17 se resume la forma en la cual se debe direccionar las señales para seleccionar un rango en particular.



Tabla 17. Forma de seleccionar un rango para el nodo gases

Variable	Rango (ppm)					
	0-50		0-100		0-500	
	SW1	SW2	SW1	SW2	SW1	SW2
CO	Canal 4	Canal 1	Canal 5	Canal 2	Canal 6	Canal 3
NH3	Canal 3	Canal 6	Canal 2	Canal 5	Canal 1	Canal 4

- Sw3 y Sw4: permite direccionar la señal de la salida de las etapas de acondicionamiento de señal a un canal particular del módulo ADC.

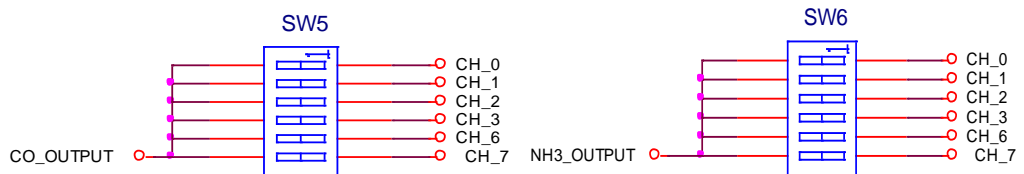


Figura 43. Llave selectora del canal

Para el uso adecuado del programa JAVA, es necesario que las señales eléctricas se direccionen a los canales ADC de las plataformas de una forma particular. Ver siguiente tabla.

Tabla 18. Forma adecuada de direccionar las señales al módulo ADC.

Variable Física	Canal de Módulo ADC
CO	Canal 2
NH3	Canal 1

2.11.4 Especificaciones Nodo Gases

Tabla 19. Especificaciones del prototipo del nodo gases.

Especificaciones	Nodo Prototipo Final			
Condiciones de Operación				
Numero de Baterías 12 V	1			
	MIN	NOM	MAX	UNID
Voltaje de Alimentación Principal	6.5		12	V
Alimentación TELOS B y XBEE		2.5		V
Alimentación Etapa Diferenciadores		5		V
Rango de Medición				
CO	0		50	Ppm
	0		100	Ppm
	0		500	Ppm
NH3	0		50	Ppm
	0		100	Ppm
	0		500	Ppm
General				
Número de tarjetas	1			
Dimensiones de tarjetas	10cm x 8cm			
Forma de conectar	Modular			
Test Point	Si			
Plataformas hardware				
	TMOTESKY/TELOS B/XBEE			



Universidad Industrial de Santander

3. SOFTWARE

Este proyecto tiene como uno de sus objetivos interactuar con la plataforma REDSI [4]; para esto se realizó un programa que logra la conexión entre la red de sensores inalámbricos y la base de datos que alimenta a la plataforma.

3.1 REDSI

El grupo CPS junto con la escuela de Sistemas lideraron un proyecto que se tituló “Aplicación web para la captura, monitoreo y análisis de datos transmitidos a través de redes de sensores inalámbricos utilizando tecnología ZIGBEE” [4] el cual desarrolló una herramienta que permite almacenar y analizar datos obtenidos de una red de sensores inalámbricos implementada en un galpón (REDSI). La aplicación cuenta con una interfaz web (ver Figura 44) que permite al usuario acceder a la información capturada desde cualquier lugar a través de internet, ver lecturas en tiempo real y detectar fallas en los sensores mediante una interfaz gráfica, hacer un análisis gráfico y estadístico de la información almacenada y tener un historial de ella. Todas estas funcionalidades con el fin de ejercer un control centralizado y sistematizado del sistema y sus procesos.



Figura 44. Página principal REDSI.

3.2 Comunicación entre la red de sensores inalámbricos y la herramienta REDSI

Para que la herramienta REDSI pueda ser puesta en funcionamiento debe establecerse una comunicación entre ella y los nodos de manera que le permita almacenar los datos en una base de datos para después ser utilizados por el entorno WEB, lo que permitirá que el usuario,



generalmente el galponero, pueda consultar la información de interés, para este fin se implementó un programa llamado "Puerto" que establece la conexión entre la base de datos de REDSI y la red de nodos.

3.2.1 Programa Puerto:

En el código *JAVA* que permite la comunicación entre el nodo concentrador que se encuentra conectado en el PC a través del puerto USB y la base de datos que maneja REDSI. El nodo concentrador captura todas las tramas de datos provenientes de cada nodo y la envía a una Base de datos la cual se encuentra enlazada con la aplicación REDSI.

Este programa recibe una trama de datos la cual la analiza y la procesa para un posterior almacenamiento.

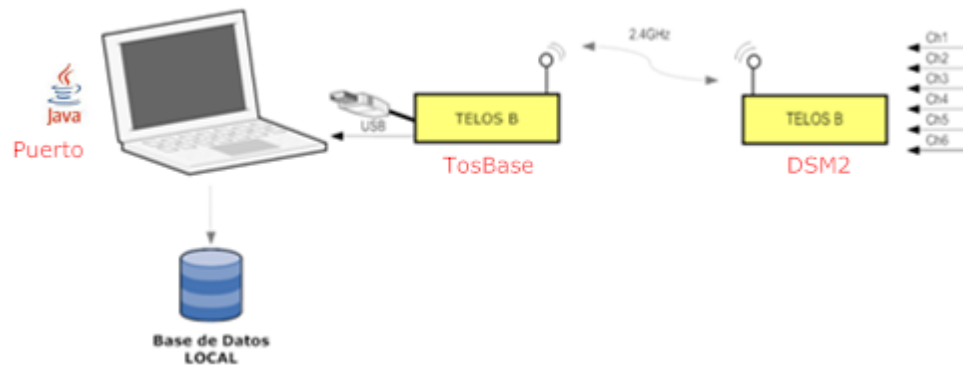


Figura 45. Recopilación de datos a través del programa "Puerto".



- Descripción del Programa y Diagrama de Flujo

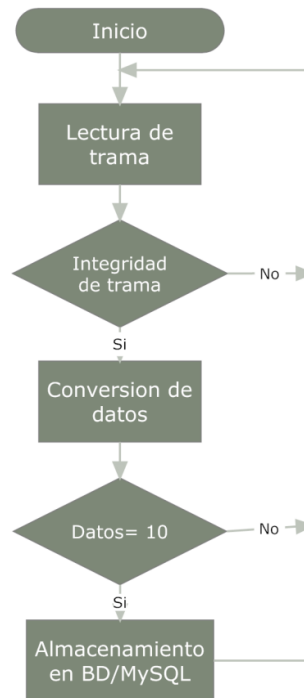


Figura 46. Diagrama de Flujo del programa

3.2.1.1 Lectura de trama:

En esta parte del programa se realiza la lectura de los datos a través del puerto serial. Para esto se utiliza la clase SerialPort, en la cual se configura el puerto serial que va hacer utilizado para la comunicación (en este caso es COM3) y se habilita la notificación de eventos para este puerto lo que permite saber si el puerto está recibiendo datos.

Los datos a con son los siguientes:

- Frecuencia en baudios
- Numero de Bits
- Parada de Bits
- Paridad

3.2.1.2 Integridad de Trama

Una forma de ver los paquetes enviados, es utilizando el programa **LISTEN**, desde la consola de CYGWIN, se escribe el siguiente comando.

MOTECOM=serial@COM5:tmote java net.tinyos.tools.Listen

Lo que permite visualizar los paquetes enviados en pantalla



Universidad Industrial de Santander

```

/opt/moteiv/apps/TOSBase
Invoking BSL...
Transmit default password ...
Current bootstrap loader version: 1.61 <Device ID: f16c>
Changing baudrate to 38400 ...
Program ...
13934 bytes programmed.
Reset device ...
rn -f build/tnote/main.exe.out-COM3 build/tnote/main.ihex.out-COM3

Oscar@hann-c9df81f5ef /opt/moteiv/apps/TOSBase
$ notelist
-----
Reference ConnPort Description
-----
M4AA77PA COM3 tnote sky

Oscar@hann-c9df81f5ef /opt/moteiv/apps/TOSBase
$ MOTECOM=serialPCOM3:tnote java net.tinyos.tools.Listen
serialPCOM3:57688: resynchronizing
1A 01 08 32 FF FF FF FF 08 7D 02 00 02 00 31 00 31 00 FC 21 2A 00 00 00 0A 0B EE
0F 41 03 62 05 22 06 CE 05
1A 01 08 33 FF FF FF FF 08 7D 02 00 02 00 32 00 32 00 FC 21 2B 00 00 00 0B 0B EF
0F 3F 03 5E 05 22 06 CE 05
1A 01 08 34 FF FF FF FF 08 7D 02 00 02 00 33 00 33 00 FC 21 2C 00 00 00 0B 0B EF
0F 42 03 5F 05 23 06 CE 05
1A 01 08 35 FF FF FF FF 08 7D 02 00 02 00 34 00 34 00 FC 21 2D 00 00 00 0B 0B EF
0F 40 03 56 05 0F 06 AE 05
1A 01 08 36 FF FF FF FF 08 7D 02 00 02 00 35 00 35 00 FC 21 2E 00 00 00 0B 0B EE
0F 3F 03 5E 05 22 06 CE 05
1A 01 08 37 FF FF FF FF 08 7D 02 00 02 00 36 00 36 00 FC 21 2F 00 00 00 0B 0B EF
0F 42 03 5F 05 23 06 CE 05

```

Figura 47. Trama capturada desde la consola CYGWIN.

Al utilizar el comando Serial Port para realizar la lectura de la trama en el programa “Puerto” se obtiene una trama que es distinta a la capturada directamente desde la consola de CYGWIN. Esto se debe a que el programa **LISTEN** realiza un filtrado y un ordenamiento antes de imprimir la trama en pantalla.

La trama que se lee desde “Puerto” (ver Figura 48) está compuesta por 48 bytes y se divide en dos partes el encabezado y el cuerpo; los bytes que tienen la información de interés son los siguientes:

```

126 66 30 | 8 34 255 255 255 255 8 125 93
| 0 | 0 33 0 33 0 252 33 29 0 0 0 106 11
255 15 142 4 36 0 13 0 247 5 199 4 190 4
236
28 126 126 0

```

Figura 48. Trama que se lee desde el programa puerto 6

- Encabezado de trama

1: longitud del encabezado (126)

4-9: Constante 255 255 255 255

- Cuerpo de trama

14: Byte de identificación del nodo del cual proviene la trama.

15: Byte que contiene el id del nodo en el cual se está concentrando la información (Nodo concentrador).

19: Byte que funciona como un contador del número de tramas enviadas.

27-28: Temperatura interna de tipo short int.

30-31: Voltaje interno de tipo short int.



Universidad Industrial de Santander

- 33-33: Canal ADC0 de tipo short int.
- 34-35: Canal ADC1 de tipo short int.
- 36-37: Canal ADC2 de tipo short int.
- 38-39: Canal ADC3 de tipo short int.
- 40-41: Canal ADC6 de tipo short int.
- 42-43: Canal ADC7 de tipo short int

Cuando un byte no corresponde a los datos que se esperan, es decir no se tiene la certeza de que la trama que se recibe es correcta, inmediatamente se descarta y se procede a realizar la lectura de otra trama.

3.2.1.3 Conversión de Datos

Después de identificar en que parte está la información necesaria, se procede a pasar estos datos a valores de mili voltios Aplicando la fórmula 5.

$$V_{ADC} = \frac{ADC_Binario}{2^{12}} * V_{ref} \quad (5)$$

Luego de tener los valores en mili voltios de los canales ADC se aplica la formula respectiva para cada variable para obtener las medidas de las variables físicas en las unidades adecuadas. Estas fórmulas fueron explicadas en la Tabla 11 y Tabla 15.

3.2.1.4 Almacenamiento de datos

Esta información proveniente de cada canal se almacena en un vector para después de tener 10 muestras almacenadas, se procede a realizar el promedio de estos valores y ese único dato enviarlo a la base de datos donde posteriormente podrá ser consultado a través de la herramienta REDSI, ver la siguiente figura.

IdNodos	Temperatura	Humedad	Intensidad_Luminosa	Radiacion_Solar	Tiempo
4	249896	621182	5436043	57	2010-07-01
2	214998	867069	1414275	57	2010-07-01
1	266113	704088	1063828	58	2010-07-01
4	274477	621182	5433808	58	2010-07-01
3	257261	574189	3575091	58	2010-07-01
2	188592	864049	3699950	58	2010-07-01
4	250626	643123	2689881	59	2010-07-01

Figura 49. Base de datos de REDSI.

A) Campos. B) Tablas.



4. PRUEBAS

Con el objetivo de cuantificar el desempeño de los nodos diseñados y verificar el correcto funcionamiento del programa **PUERTO** se desarrollaron varias pruebas utilizando equipos de medición para contrarrestar las medidas.

Estas pruebas se llevaron a cabo en la finca “los totumos” sitio destinado para el desarrollo de esta investigación. En esta finca están ubicados 2 galpones de 100 por 10 metros, propiedad de DISTRAVES, los cuales se disponen para la cría y levante de pollo de engorde de dos razas, la **COBB** y la **ROSS**.

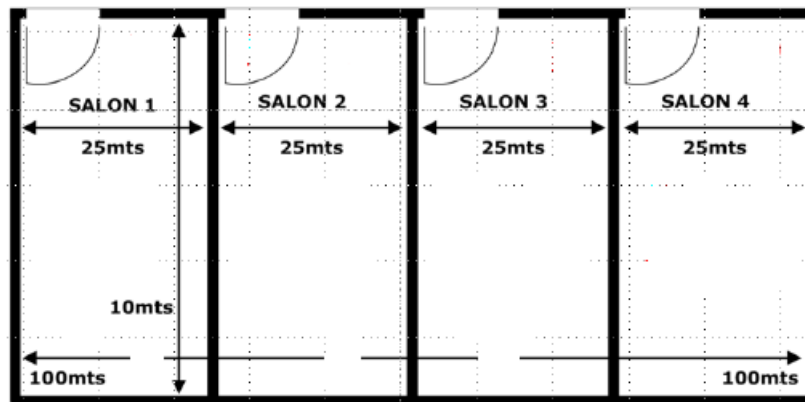


Figura 50. Galpón avícola.

Esta granja no posee un sistema de control que le permita tener un ambiente controlado. El galponero cuenta con unos termómetros de mercurio que le permiten tener una idea de cuánto es la temperatura del lugar, el galpón tiene unas cortinas alrededor las cuales son utilizadas para manejar la ventilación del lugar y tener de alguna forma un control sobre la temperatura al interior del galpón.

La primera prueba busca probar el funcionamiento del software desarrollado en un ambiente de red conformado por cuatro nodos transmisores y un nodo coordinador. Con esto se pretende mostrar que el software **PUERTO** es capaz de manejar simultáneamente información proveniente de cuatro nodos distintos.

La segunda prueba que se desarrolló en este lugar se realizó con el objetivo de recolectar datos a través de los nodos de la primera fase (sección 2.1) y el prototipo inicial de la segunda fase (sección 2.5.1) para realizar los ajustes necesarios tanto a nivel de diseño de hardware, como a nivel de software realizando modificaciones al programa que permita aumentar su desempeño.

En la tercera prueba se llevaron al lugar un total de 10 nodos (4 nodos con el diseño de la fase uno y 6 nodos con el diseño de la fase dos desarrollado en este proyecto) con dos objetivos, el primer tomar lecturas provenientes de los nodos para ser almacenadas directamente en la base de datos, para realizar posibles consultas desde la herramienta REDSI y el segundo verificar y corroborar que las mejoras en el diseño de los nodos arrojan datos más confiables.



La cuarta prueba se planteo con el fin de medir el consumo de corriente de los nodos con el propósito de estimar el tiempo de carga de las baterías.

En la quinta prueba se busca establecer la relación de la concentración de los gases NH_3 y CO con la temperatura en un galpón avícola.

En la siguiente tabla se resume el objetivo de cada una de las pruebas.

Tabla 20. Resumen de las pruebas realizadas para probar el funcionamiento de los nodos y del programa "Puerto".

PRUEBA	OBJETIVOS
Comunicación con los Nodos	<ul style="list-style-type: none">• Verificar el desempeño del programa "Puerto" al capturar la información de cuatro nodos
Ajustes de Diseño	<ul style="list-style-type: none">• Comprobar que el prototipo de la fase inicial arroja datos con un margen de error grande• Mostrar que con una mejora a nivel de diseño el error disminuye
Verificación de la Red	<ul style="list-style-type: none">• Demostrar que las modificaciones hardware que tuvieron lugar arrojaron mejoras significativas• Almacenar datos en la base de datos que utiliza la herramienta REDSI con el objetivo de corroborar que el enlace se está realizando
Tiempo de operación del nodo	<ul style="list-style-type: none">• Estimar el tiempo que los nodos van a estar encendidos sin tener que realizar un cambio de baterías.
Medición de la concentración de los gases NH_3 y CO	<ul style="list-style-type: none">• Establecer la relación entre los gases NH_3 y CO con la temperatura.

4.1 Comunicación con los nodos

A continuación se presentan los resultados obtenidos al ejecutar el programa **PUERTO**. Para cumplir el objetivo de esta prueba se utilizó 4 nodos los cuales fueron puestos en funcionamiento. Cada nodo fue identificado con un ID distinto lo que permite saber a cual pertenece los datos capturados desde el programa **PUERTO**. Con esta prueba se busca saber si se reciben los datos provenientes de cada uno de los nodos y si no se presenta ningún tipo de interferencia o de solapamiento a la hora de transmitir los datos.

Los datos se pueden visualizar desde la consola de la plataforma de **NETBEANS** [33] al ejecutar el programa.

Como se puede observar en la Figura 51 en la letra A, se muestra el puerto serial por donde está realizando la comunicación, en la Letra B se muestra el id perteneciente al nodo 3 y en la letra C se muestra la información proveniente del módulo ADC del Nodo 3. Con esta gráfica se demuestra que se puede realizar la captura de la información de todos los nodos, sin presentarse interferencia.



```
Output - puerto (run)
COM3
javafx.comm.PortInUseException: Port COM3 is currently owned by Puerto
COM3
javafx.comm.PortInUseException: Port COM3 is currently owned by Puerto
datosADC =(3)15 230 3 92 5 131 5 139 5 174 3 182 3 23
datosADC =(2)15 255 4 54 5 112 6 14 5 150 3 134 2 202
datosADC =(4)15 155 3 159 5 7 5 130 94 125 239 5 66 3
datosADC =(1)15 155 3 159 5 7 5 130 94 125 239 5 66 3
datosADC =(2)15 255 3 210 3 65 147 50 126 126 239 0 66 3
datosADC =(3)15 227 3 139 4 247 6 30 5 251 4 6 2 243
datosADC =(4)15 151 3 58 5 51 5 232 6 82 3 241 3 81
datosADC =(1)15 255 4 198 0 2 0 2 3 78 4 197 3 81
datosADC =(4)15 255 4 198 0 2 0 2 3 78 4 197 3 81
datosADC =(2)15 255 4 51 5 102 5 171 5 179 3 171 2 241
datosADC =(1)15 255 4 51 5 102 5 171 5 179 3 171 2 241
datosADC =(3)15 227 3 144 4 255 6 46 6 26 3 182 3 18
datosADC =(2)15 255 4 47 5 91 5 234 6 34 3 170 2 241
datosADC =(2)15 255 4 47 5 91 5 234 6 34 3 170 2 241
datosADC =(4)15 154 3 43 5 6 5 144 5 166 3 175 3 13
datosADC =(3)15 227 3 142 5 2 5 95 6 47 3 202 3 39
datosADC =(1)15 255 4 190 0 6 0 3 4 96 4 199 4 38
```

Figura 51. Datos adquiridos desde la consola de la plataforma NETBEANS.

4.2 Ajustes de Diseño

En un área de 4.5 por 4.5 metros se distribuyeron 4 nodos del prototipo de la fase I con sus respectivas bases, el prototipo inicial de la segunda fase, un higrómetro [17] y dos *DATALOGGER* [19].

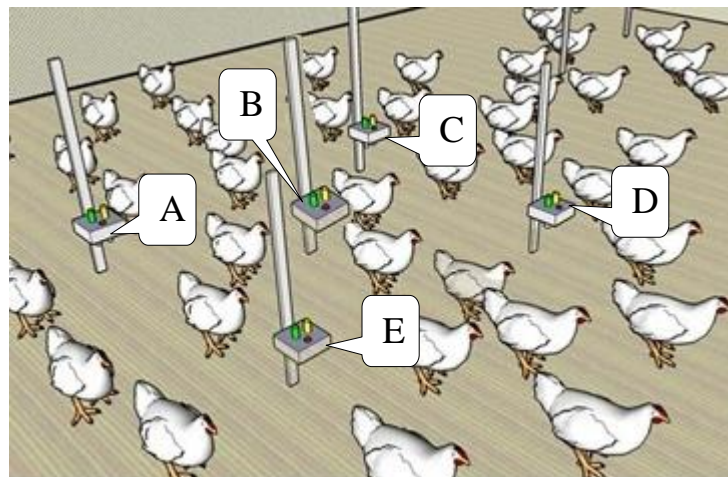


Figura 52. Disposición de los nodos.

A) Nodo 1. B) Nodo 5. C) Nodo 2. D) Nodo 3 E) Nodo 4.



La prueba inició a las 8:00 AM y termino a las 6:05 PM del día 24 de febrero del 2010 la temperatura promedio estuvo en 26 C° y la humedad promedio fue de 81%[34].



Figura 53. Prueba Febrero 24 de 2010.
A) Nodo 1. B) Nodo 2. C) Nodo 3. D) Nodo 5.

Para la captura de los datos de los nodos se conectó un *TELOSB* por puerto USB, el cual se utilizó para la captura de los datos enviados por los nodos y se hizo lectura de ellos utilizando el programa “Puerto” (ver sección 3.2.1). La información que registraba el higrómetro fue almacenada cada 5 minutos lo que permitió recolectar alrededor de 120 datos en total y por último se programaron los *DATALOGGER* para que cada 5 segundos se almacene la información de temperatura y humedad relativa.

4.3 Graficas:

Los datos que se recolectaron en el transcurso de la prueba fueron graficados para permitir hacer una comparación de las mediciones que arrojan los distintos equipos.

Se grafican los datos recolectados durante el transcurso de esta prueba tanto de forma manual como por medio de la aplicación en *JAVA*. Para esto se utilizó los datos provenientes del nodo 1 cuyo diseño corresponde al de la fase uno ya que fue el que presentó el menor error en comparación con los otros 3 nodos diseñados en dicha fase y se comparan con los datos recolectados por el nodo 5 cuyo diseño es el prototipo inicial de la fase dos.



4.3.1 Temperatura

Tabla 21. Datos de temperatura obtenidas en la prueba.

<i>Hora</i>	<i>NODO 1</i>	<i>NODO 5</i>	<i>DATALOGGER 1</i>	<i>DATALOGGER 2</i>	<i>HIGRÓMETRO INTERNO</i>	<i>HIGRÓMETRO EXTERNO</i>
9:00	26,8333	27,3883	27,8	29,3	30,2	29,2
9:30	27,3883	28,187502	29,3	30,7	31,8	30,7
10:00	27,0331	29,075502	30,1	30,9	30,5	30,6
10:30	30,296503	30,207703	31,3	32,4	33,1	32,3
11:00	30,340904	30,318703	32,6	33,5	32,8	33,1
11:30	30,696104	31,095705	31,7	32,3	32,8	32,5
12:00	31,273304	31,273304	32,4	33,3	33,8	33,2
12:30	30,229904	30,940304	31,8	32,6	33,6	32,6
13:00	31,029104	31,806105	32,3	32,8	33,4	32,4
13:30	32,294506	32,627506	32,8	33,3	33,2	33,1
14:00	31,029104	31,650705	32,8	33,6	32,9	32,8
14:30	30,895905	31,117905	31,8	32,4	31,9	31,7
15:00	30,851503	31,295504	31,4	32	32,7	31,8
15:30	31,006905	27,0331	31,8	32,5	32,3	32,2
16:00	30,185503	30,740503	31,5	32,2	32,8	31,9
16:30	30,207703	30,673904	31,1	31,7	31,5	31,4
17:00	29,142103	29,874702	30,3	31,2	31,5	30,8
17:30	27,965502	28,875702	29,4	30,3	30,5	29,8
18:00	26,9221	27,632502	27,8	28,6	29,4	28,3



En la siguiente gráfica se observa las mediciones realizadas de la variable temperatura en los nodos 1 y 5, se comparan con la información entregada por el Datalogger 1 y 2.

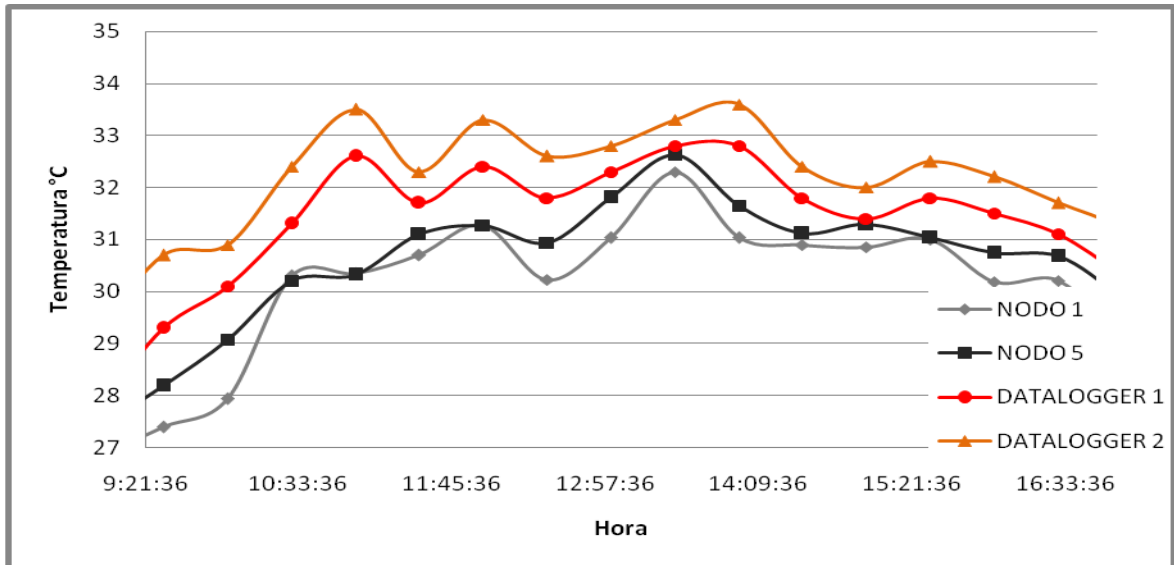


Figura 54. Comparación entre los Nodos 1 y 5 contra DATALOGGER 1 y 2.

En la siguiente gráfica se observa las mediciones realizadas de la variable temperatura en los nodos 1 y 5, se comparan con la información entregada por el sensor externo e interno del Higrómetro.

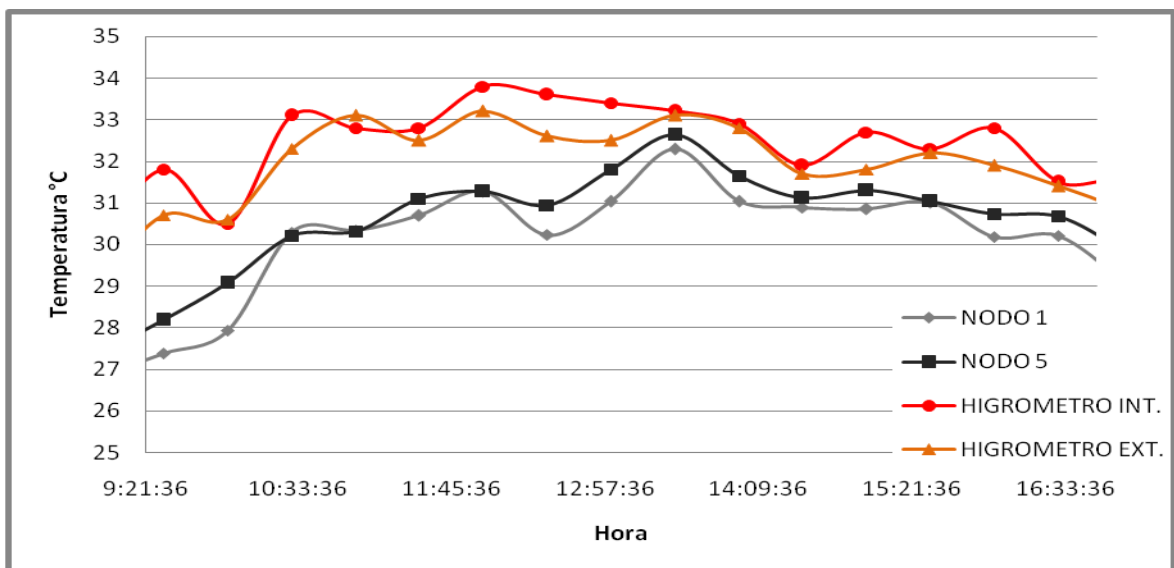


Figura 55. Comparación entre los Nodos 1 y 5 contra el Higrómetro sensor interno y externo.



4.3.2 Humedad

Tabla 22. Datos de humedad obtenidos en la prueba

<i>Hora</i>	<i>NODO 1</i>	<i>NODO 5</i>	<i>DATALOGGER 1</i>	<i>DATALOGGER 2</i>	<i>HIGRÓMETRO INTERNO</i>	<i>HIGRÓMETRO EXTERNO</i>
9:00	85,01616	78,228676	69,7	74,3	67	69
9:30	85,01616	71,83342	66,9	68,8	64	63
10:00	55,125416	71,884254	61,6	64	58	62
10:30	68,93468	65,30042	61,6	63,7	54	52
11:00	65,361015	62,427483	55,8	55,9	49	52
11:30	67,743454	64,34278	57,4	59,9	53	52
12:00	59,552418	60,093216	55,8	56,8	50	52
12:30	64,02089	61,35013	57,1	56,8	52	54
13:00	62,606316	60,21292	55,1	57	51	53
13:30	60,52168	58,537037	57,5	56,4	48	51
14:00	61,712902	59,494686	53,5	56,1	49	51
14:30	60,59613	58,59689	55,6	57,5	50	54
15:00	66,25443	63,145718	60	59,5	53	54
15:30	59,79395	60,332626	58,2	58,6	52	54
16:00	60,52168	58537037	54	56,3	52	55
16:30	62,30851	59,9735	61,2	59,2	51	53
17:00	68,56242	65,00116	61,4	62,1	56	56
17:30	81,06191	78,228676	67,5	69,3	63	65
18:00	78,228676	78,228676	73,9	74,4	70	72



En la siguiente grafica se observa las mediciones realizadas de la variable Humedad Relativa en los nodos 1 y 5, se comparan con la información entregada por el Datalogger 1 y 2.

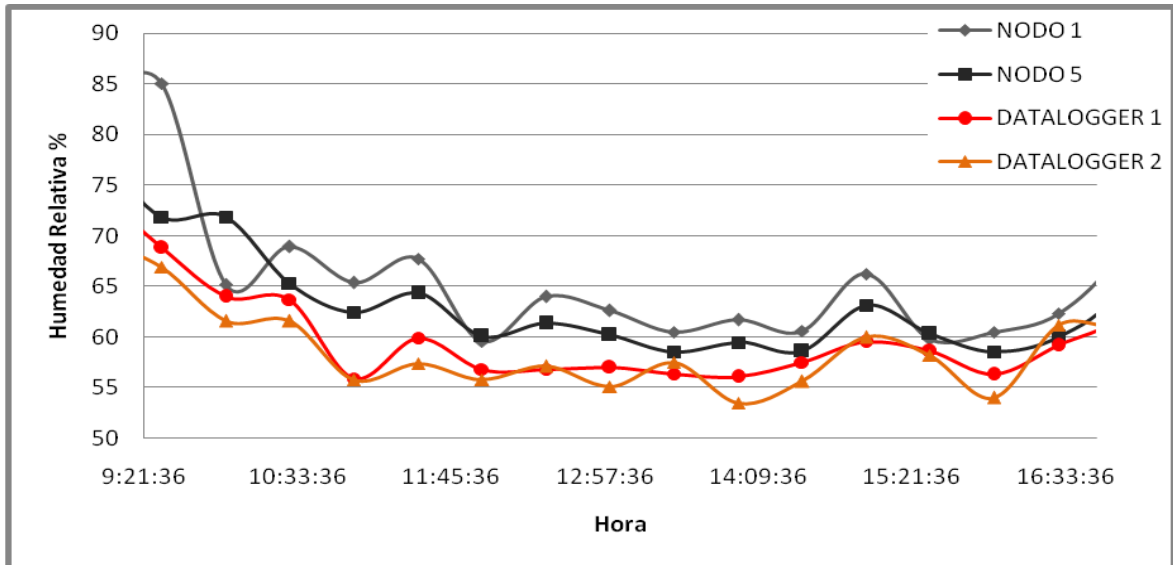


Figura 56. Comparación entre los Nodos 1 y 5 contra DATALOGGER 1 y 2.

En la siguiente gráfica se observa las mediciones hechas de la variable Humedad Relativa en los nodos 1 y 5, se comparan con la información entregada por el sensor externo e interno del Higrómetro.

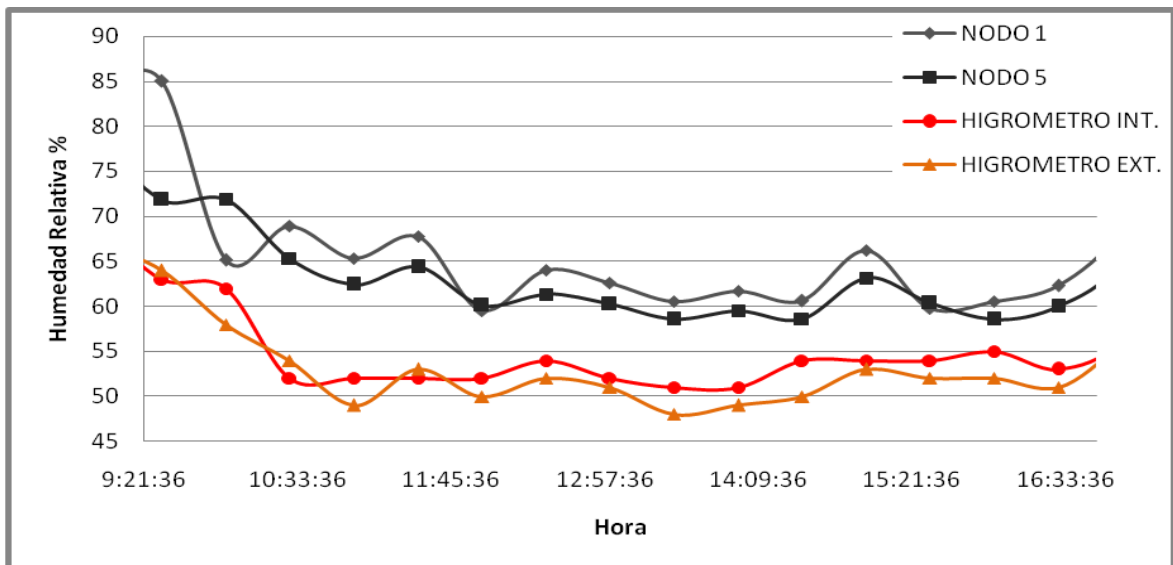


Figura 57. Comparación entre los Nodos 1 y 5 contra el Higrómetro sensor interno y externo.



4.4 Análisis de la prueba

Los datos recolectados en el transcurso de esta prueba registraron una diferencia entre los datos recolectados por el nodo diseñado en la primera fase y el nodo diseñado en este proyecto en comparación con los equipos de medición.

Los equipos de medición tienen una diferencia entre sí, los dos *DATALOGGER* utilizados en esta prueba tienen las mismas características técnicas sin embargo presentan una diferencia de 1.2 C° y 2.8 \%HR entre ellos. En el caso del higrómetro en cual posee dos sensores para medir estas variables uno ubicada en el interior del equipo y otro por fuera presenta una diferencia de 0.8 C° y 1.6 \%HR entre ellos.

Esto se debe a que estos equipos tienen un margen de tolerancia y a pesar que tengan las mismas características presentan diferencias entre las medidas que arrojan.

Se calcula el error promedio teniendo en cuenta cada instrumento de medición y se resume en la siguiente tabla.

Tabla 23. Medida promedio de los errores teniendo en cuenta cada instrumento

Equipo	Prototipo	Temperatura	Humedad Relativa
DATALOGGER1	Nodo1	4,15%	12,28%
	Nodo5	3,04%	8,21%
DATALOGGER2	Nodo1	6,63%	10,47%
	Nodo5	5,56%	5,89%
Higrómetro Sensor Interno	Nodo1	7,42%	22798%
	Nodo5	6,37%	18778%
Higrómetro Sensor Externo	Nodo1	5,82%	19,88%
	Nodo5	4,74%	15,20%

Como se observa en la Tabla 23, el nodo 5 arrojó un error menor que el nodo diseñado en la primera fase (nodo 1), esto se debe a varias razones.

La primera razón es que el diseño hardware de los dos nodos es diferente. El nodo uno está conformado por 6 tarjetas y cada una de ellas se acopla por medio de cables utilizando unos conectores de baja calidad que no están diseñados para un uso continuo, por otro lado, el nodo cinco está conformado por 3 módulos (tarjetas), los cuales se ensamblan entre sí, sin la necesidad de usar cables. Esto evita que el uso de cables introduzca errores en la medición.

La segunda razón es que el nivel de tensión al cual se está alimentada la plataforma de comunicación (*TELOSB/TMOTESKY/XBEE*) en los dos nodos es diferente. En el nodo uno el *TELOSB/TMOTESKY* se alimenta a 3.3V y en el nodo 5 se alimenta a 2.5V . Según se verificó en las pruebas realizadas el error es casi nulo entre lo enviado por el nodo transmisor y la lectura que se hace de los datos recibidos por el nodo receptor cuando se alimenta el *TELOSB/TMOTESKY* a 2.5V en cambio cuando se alimenta a 3.3V presento un error promedio de 7.69% .



4.5 Verificación de la Red

Los 10 nodos construidos al final de este proyecto (4 nodos de la fase I y 6 nodos de la fase 2) (ver Figura 58), se distribuyen en un área encerrada del galpón de 12mx6m cada 2m en un área de 10mx2m y a una altura de 40 cm (ver Figura 59), un higrómetro [17], un luxómetro [18] y dos *DATALOGGER* [19], las aves de raza *COBB* tienen 5 días de edad.

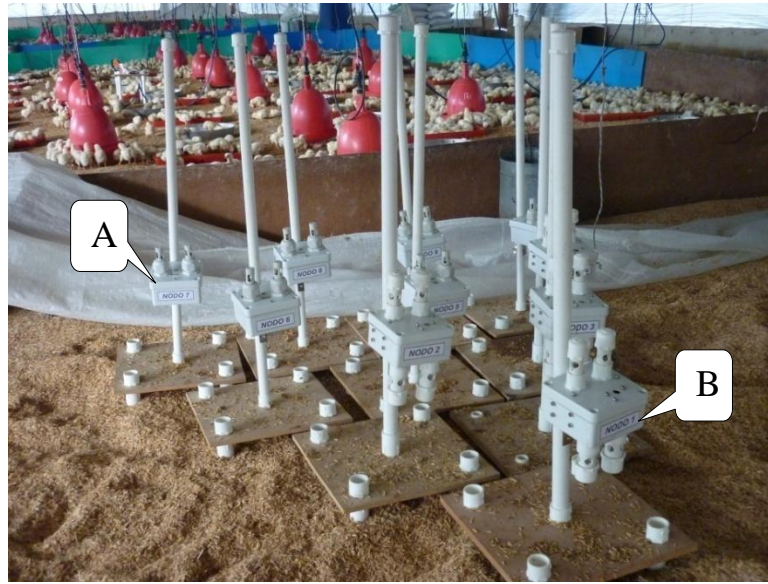


Figura 58. Disposición de los nodos en el galpón.
A) Nodos de la fase 2. B) Nodos de la fase I.

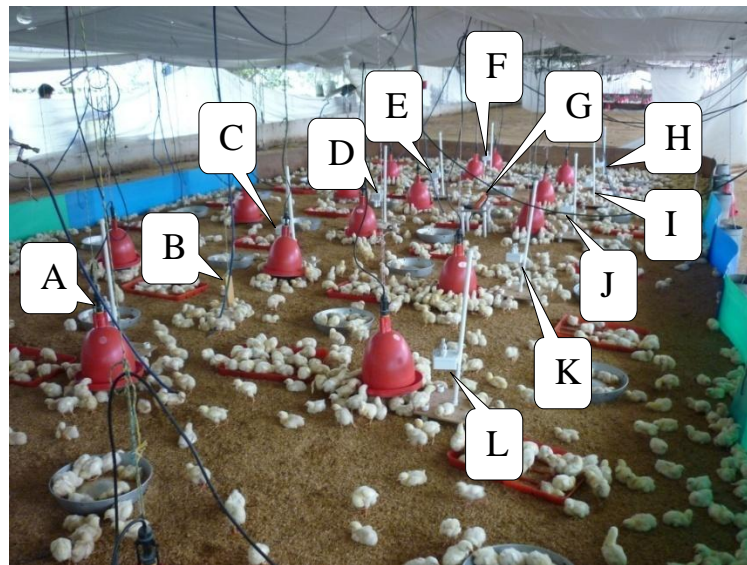


Figura 59. Nodos implementados utilizados en la prueba.
A) Nodo 1. B) Termómetro de alcohol. C) Nodo 2. D) Nodo 3. E) Nodo 4. F) Nodo 5.
G) Instrumentos de medida. H) Nodo 6. I) Nodo 7. J) Nodo 8. K) Nodo 9. L) Nodo 10.



Universidad
Industrial de
Santander

La prueba inició a las 9:30 AM y terminó a las 4:30 PM del día 13 de julio del 2010 la temperatura promedio estuvo en 26 C° y la humedad promedio fue de 81% [34].

Para la captura de los datos de los nodos se conectó un *TELOSB* por puerto *USB*, el cual se utilizó para la captura de los datos enviados por los nodos y se hizo lectura de ellos utilizando el programa **PUERTO** (ver sección 3.2.1). La información que registraba el higrómetro fue almacenada cada 10 minutos lo que permitió recolectar alrededor de 120 datos en total y por último se programaron los *DATALOGGER* para que cada 5 segundos se almacene la información de temperatura y humedad relativa.

4.6 **Graficas:**

Los datos que se recolectaron en el transcurso de la prueba tanto de forma manual como por medio de la aplicación en *JAVA* provenientes del nodo 1 cuyo diseño corresponde al descrito en la primera fase y el nodo 10 cuyo diseño corresponde al descrito en la segunda fase, fueron graficados para permitir hacer una comparación de las mediciones que arrojan los distintos equipos.



4.6.1 Temperatura (°C)

Tabla 24. Datos de temperatura obtenidos en la prueba en grados centígrados.

<i>Hora</i>	<i>NODO 1</i>	<i>NODO 6</i>	<i>NODO 7</i>	<i>NODO 8</i>	<i>NODO 9</i>	<i>NODO 10</i>	<i>HIGRÓMETRO INTERNO</i>	<i>HIGRÓMETRO EXTERNO</i>	<i>DATALOGGER 1</i>	<i>DATALOGGER 2</i>
09:30	32	29	29	31	29	29	30	30,6	30,4	29,5
10:00	32	31	30	31	30	30	30,8	31,3	31,6	30,3
10:30	31	32	31	31	31	31	31,4	31,9	32,5	31
11:00	35	34	33	34	34	35	34,5	35,4	34,2	32,9
11:30	33	32	32	31	31	32	32,8	32,8	34,2	32,7
12:00	32	32	33	32	32	32	32,2	32,8	33,3	32,2
12:30	35	33	34	33	34	33	33,4	33,8	34,1	33,3
13:00	32	31	31	32	32	31	32,8	32,4	33,6	32,8
13:30	32	30	31	31	30	30	31,8	31,7	32,3	32,2
14:00	33	30	30	30	30	29	30,4	30,7	30,8	30,6
14:30	29	30	31	29	30	29	30,3	30,6	30,5	30,3
15:00	31	30	30	30	30	31	32,2	32,8	32,5	32
15:30	30	32	28	28	30	31	31,1	31,6	31,6	31,3
16:00	30	30	29	30	29	30	30,4	30,8	30,8	30,5
16:30	29	29	28	29	28	29	28,9	29,1	29,8	29,2



En la siguiente gráfica se observa las mediciones realizadas de la variable temperatura en los nodos 1 y 5, se compara con la información entregada por el Datalogger 1 y 2.

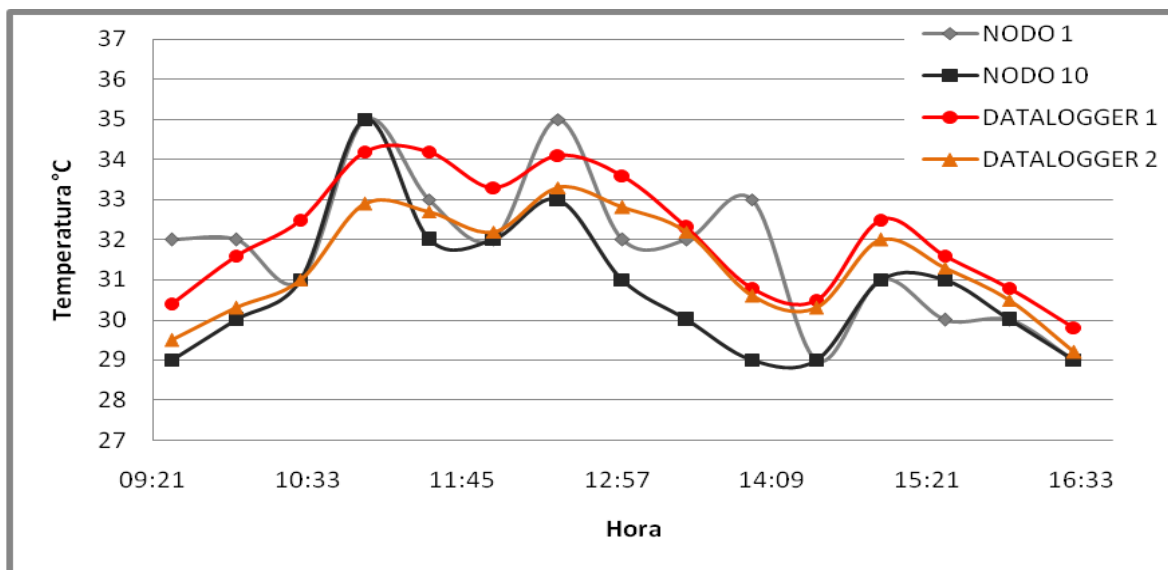


Figura 60. Comparación entre los Nodos 1 y 10 contra DATALOGGER 1 y 2.

En la siguiente gráfica se observa las mediciones realizadas de la variable temperatura en los nodos 1 y 5, se comparan con la información entregada por el sensor externo y interno del Higrómetro.

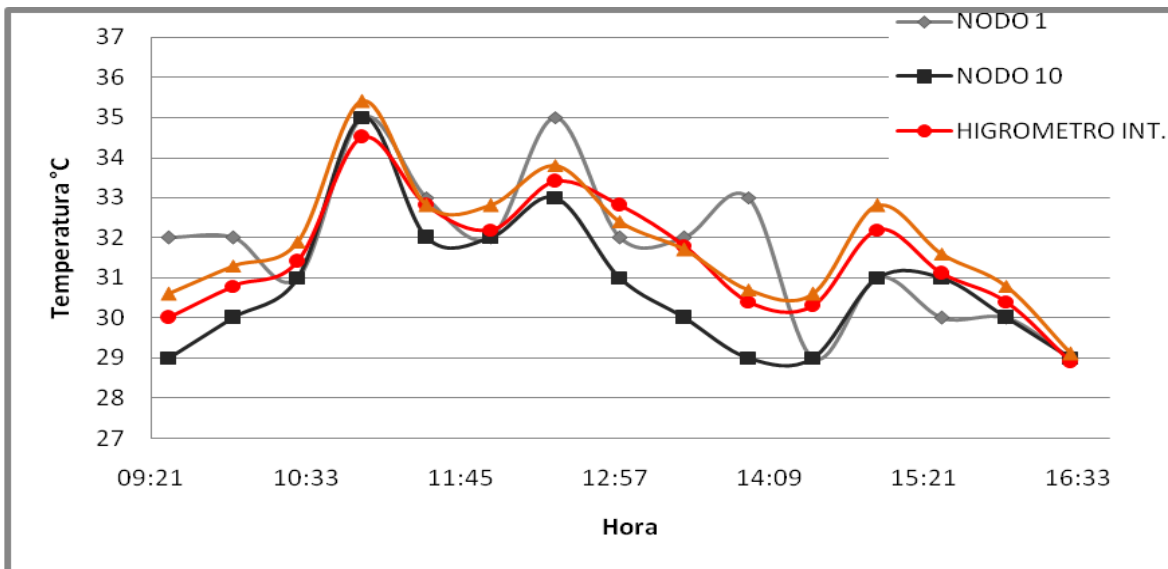


Figura 61. Comparación entre los Nodos 1 y 10 contra el Higrómetro sensor interno y externo.



4.6.2 Humedad Relativa (%)

Tabla 25. Datos de humedad obtenidos en la prueba

Hora	NODO 1	NODO 6	NODO 7	NODO 8	NODO 9	NODO 10	HIGRÓMETRO INTERNO	HIGRÓMETRO EXTERNO	DATALOGGER 1	DATALOGGER 2
09:30	66	64	66	68	64	63	65	62	62	63,3
10:00	60	60	57	59	64	62	60	59	59	63,7
10:30	58	59	59	59	54	58	58	57,7	57,7	63
11:00	55	53	55	53	60	57	53	55,8	55,8	62,4
11:30	49	49	52	50	52	52	51	52,7	52,7	57,7
12:00	48	49	50	52	49	54	50	52,9	52,9	57,1
12:30	50	50	52	47	44	54	49	53,1	53,1	56,8
13:00	47	52	52	49	46	54	50	53,3	53,3	56,7
13:30	51	49	54	49	46	54	49	53,7	53,7	54,9
14:00	52	55	54	57	53	55	55	59,4	59,4	59,4
14:30	56	56	57	59	51	55	56	61,1	61,1	60,4
15:00	51	58	58	53	50	54	53	56,7	56,7	58,3
15:30	56	58	60	56	54	56	54	60,2	60,2	59,3
16:00	58	62	57	57	57	60	57	60,7	60,7	60,5
16:30	58	65	59	61	57	65	61	64,5	64,5	63,8



En la siguiente gráfica se observa las mediciones realizadas de la variable Humedad Relativa en los nodos 1 y 5, se compara con la información entregada por el Datalogger 1 y 2.

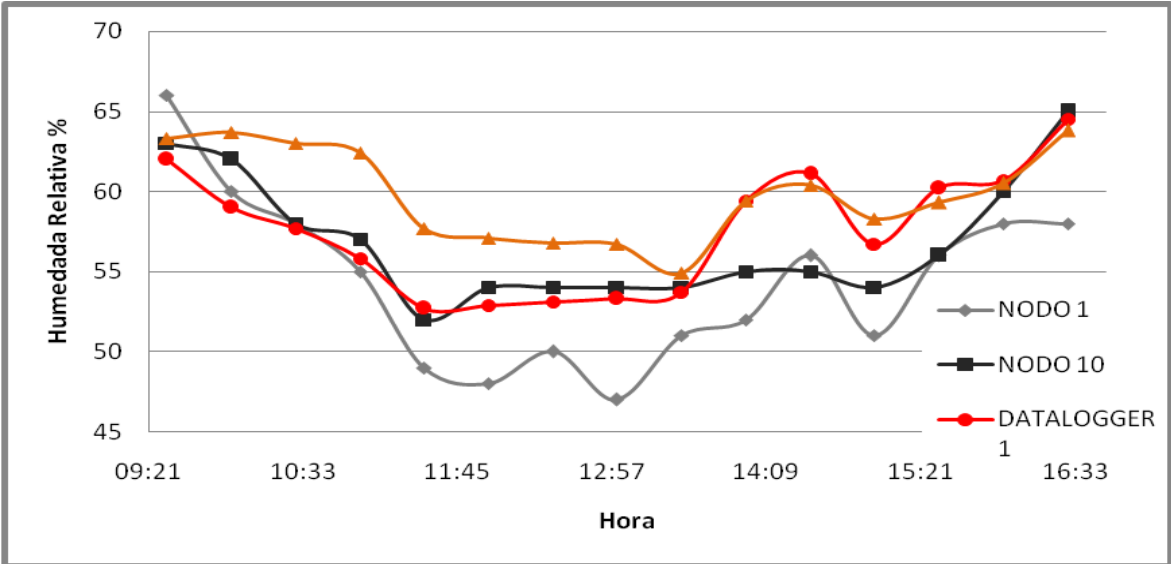


Figura 62. Comparación entre los Nodos 1 y 2 contra DATALOGGER 1 y 2.

En la siguiente gráfica se observa las mediciones realizadas de la variable temperatura en los nodos 1 y 5, se comparan con la información entregada por el sensor externo e interno del Higrómetro.

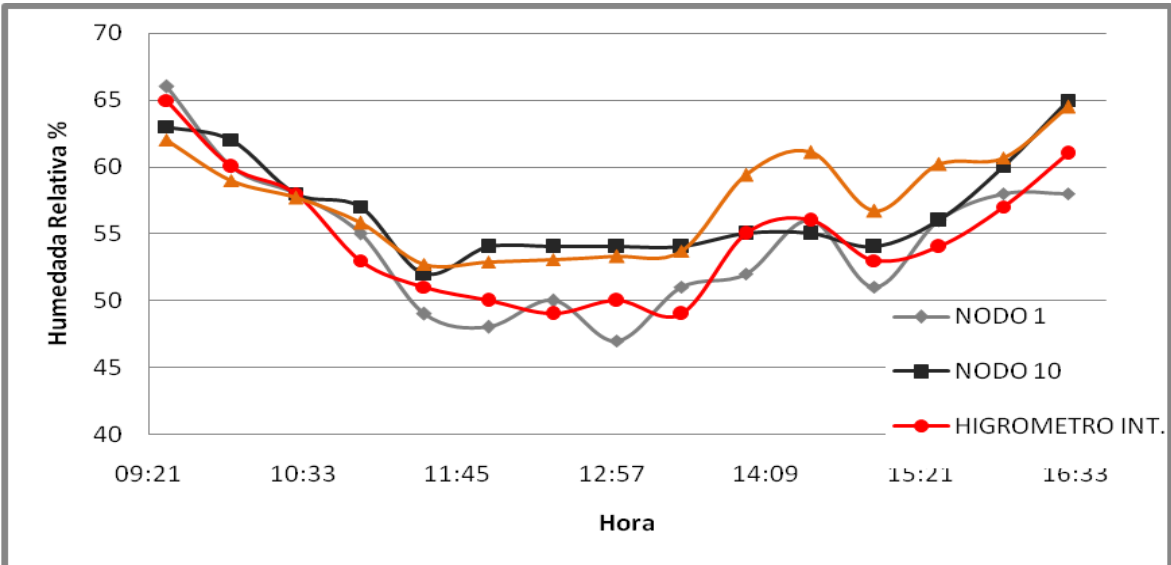


Figura 63. Comparación entre los Nodos 1 y 2 contra el Higrómetro sensor interno y externo.



4.6.3 Nivel de Intensidad Luminosa (lux)

Tabla 26. Datos de luz obtenidos de la prueba.

Hora	NODO 1	NODO 6	NODO 7	NODO 8	NODO 9	NODO 10	LUXÓMETRO
09:30	64	22	169	118	95	160	95
10:00	34	30	52	60	110	120	85
10:30	57	137	101	94	114	150	95,2
11:00	131	136	87	181	132	220	156
11:30	72	146	112	103	156	184	156
12:00	99	160	100	119	123	160	158,7
12:30	110	180	155	186	123	153	179,6
13:00	81	120	130	161	120	147	115,2
13:30	77	110	136	207	153	173	169,8
14:00	281	210	257	145	146	120	131,7
14:30	71	120	150	203	167	135	122,1
15:00	77	169	140	269	249	215	202,7
15:30	71	156	120	178	154	187	176,6
16:00	102	112	111	141	183	168	120
16:30	73	64,5	83	62	170	93	57,2

En la siguiente gráfica se observa las mediciones realizadas de la variable Intensidad Luminosa en los nodos 1 y 5, se comparan con la información entregada por el Luxómetro.

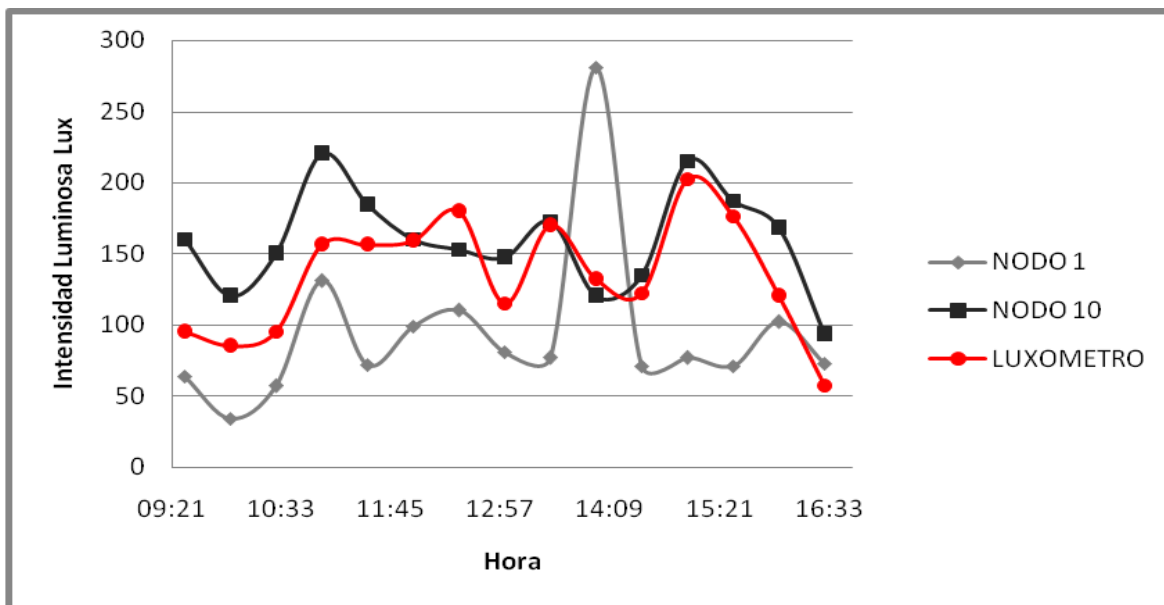


Figura 64. Comparación entre los Nodos 1 y 10 contra Luxómetro.



4.7 Análisis de Resultados:

En la Tabla 27 se muestra una mejora considerable en ambos diseños. El máximo error que se presenta en el prototipo de la fase uno es de 7.79% y el de la fase final es de 4.2% en las mediciones de temperatura y humedad.

Para el caso de la variable intensidad luminosa las mediciones que se presentan dependen de gran medida de cómo estaba ubicado cada uno de los equipos con respecto a la luz, ya que una variación pequeña en el ángulo de incidencia de la luz en el sensor ocasiona una variación de la medida en más de 50 lux. Esto lleva a que el error que se muestra en la tabla sea grande.

Tabla 27. Medida promedio de los errores teniendo en cuenta cada instrumento.

Equipo	Prototipo	Temperatura	Humedad Relativa	Intensidad Luminosa
DATALOGGER 1	Nodo 1	2,97%	5,33%	
	Nodo 10	3,40%	2,58%	
DATALOGGER 2	Nodo 1	2,73%	7,80%	
	Nodo 10	1,32%	4,21%	
Higrómetro_Int	Nodo 1	2,54%	3,67%	
	Nodo 10	2,41%	2,37%	
Higrómetro_Ext	Nodo 1	2,32%	5,34%	
	Nodo 10	1,87%	2,59%	
Luxómetro	Nodo 1			26.73%
	Nodo 10			19.85%

Las diferencias entre las mediciones obtenidas entre el nodo 1 (prototipo fase 1) y el nodo 10 (prototipo fase 2) en comparación con los demás equipos de medición y entre ellos mismos se debe a varias razones.

- Cada equipo de medición utilizado en esta prueba tiene un rango de precisión, es decir, la medida registrada tiene un grado de certeza. Si se revisa la información de la Tabla 4 donde se resumen las características físicas de los equipos de medición se puede observar que el DATALOGGER es el que maneja un grado de precisión más alto del +/- 3.5 %HR y +/- 1C°, si se tiene en cuenta esto la mayoría de los datos entregados por el nodo 5 están dentro de este rango.
- Al utilizar integrados que entreguen un voltaje de referencia fijo y integrados reguladores con un offset bajo en la fase final se puede asegurar que las fórmulas que se utiliza para hacer la conversión de los datos provenientes del nodo 10 en el programa "Puerto" son las correctas.
- El hardware del nodo 10 está diseñado para ser más robusto lo que permite soportar algún tipo de vibración o un pequeño golpe, por lo que presta un mejor comportamiento en el ambiente hostil de un galpón.

4.8 Estimación de la duración de la carga de las baterías

Con esta prueba se busca estimar el tiempo de operación un nodo alimentado con baterías. La primera situación es definir el consumo de corriente de la plataforma de comunicación; en el proyecto titulado “Redes de Sensores Inalámbricos: Diseño, Implementación y Caracterización de un Prototipo de Red ZIGBEE en Ambientes Abiertos y Cerrados” [8] se realizó un estudio del consumo de la corriente de la plataforma *TELOSB* y se concluyó que el consumo promedio de corriente es de 20mA que concuerda con la información dada por la hoja de datos [15].

La plataforma se programa con una tasa de muestreo de 20 segundos y con un ciclo de trabajo del 1%. Por medio de un multímetro se realiza lectura del consumo de corriente del equipo. Ver la siguiente figura.

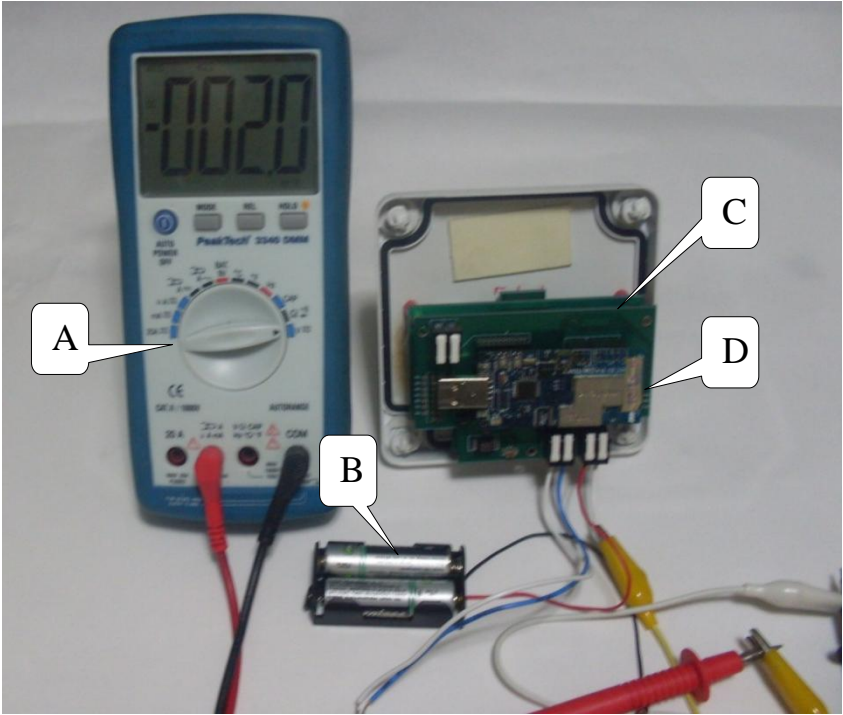


Figura 65. Medición del consumo de corriente del nodo.
 A) Multímetro. B) 2 Baterías AA. C) Nodo fase 2. D) Plataforma hardware de comunicación.

En la Tabla 28 se encuentran los resultados obtenidos.

Tabla 28. Medidas del consumo de corriente del nodo.

<i>Corriente consumida por los Nodos</i>		
	<i>TELOSB ON</i>	<i>TELOSB OFF</i>
<i>Nodo Fase 1</i>	28.07mA	8.6 mA
<i>Nodo Fase2</i>	25.31mA	5.79 mA

Para calcular el tiempo que dura el nodo de la fase2 encendido se utilizan las formulas (5), (6) y (7) que se muestran a continuación.

$$T_{work} = Duracion\ total\ de\ la\ bateria$$

$$\begin{aligned}
 w &= \text{Capacidad de la batería} \\
 I_{av} &= \text{Promedio del consumo en el tiempo} \\
 I_{sleep} &= \text{Tiempo para nodo dormido} \\
 I_{awake} &= \text{Tiempo para nodo despierto} \\
 T_{periodo} &= \text{Periodo de estimación} \\
 T_{work} &= \frac{w}{I_{ar}} \quad (5)
 \end{aligned}$$

$$I_{av} = \frac{(I_{sleep} \times T_{sleep}) + (I_{awake} \times T_{awake})}{T_{periodo}} \quad (6)$$

$$T_{sleep} = T_{periodo} - T_{awake} \quad (7)$$

$$I_{sleep} = 20s - 600ms = 19.4s$$

$$I_{av} = \frac{(5.79mA \times 19.4s) + (25.31mA \times 600mS)}{20s} = 6.37mA$$

$$T_{work(2500mA.H)} = \frac{2500mA.H}{6.37mA} = 392.46h = 16.35 \text{ dias}$$

4.9 Medición de la concentración de gases NH_3 y CO

Para caracterizar los sensores de gases NH_3 y CO se hicieron dos pruebas en dos escenarios diferentes, la primera se realiza en un galpón avícola y la segunda en un ambiente encerrado.

4.9.1 Prueba realizada en un galpón avícola

Para realizar esta prueba se utiliza el nodo construido que mide la concentración de los gases NH_3 y CO (ver Figura 66), se ubica en un del galpón avícola a una altura de 5 cm del piso, las aves de raza ROSS tienen 25 días de edad. La prueba inicio a las 8:38 AM y termino a las 11:20 AM.



Figura 66. Nodo construido para la medición de la concentración de gases NH_3 y CO .



Los datos obtenidos a lo largo de la prueba se documentan en la siguiente tabla.

Tabla 29. Datos obtenidos en la prueba

Temperatura	NH ₃ ppm	CO ppm
28,3	220,3125	1,5625
28,45	221,875	1,25
29,05	215,78125	0,15625
29,8	264,6875	1,09375
30,1	249,84375	0,9375
30,4	288,28125	0,15625
32,95	284,0625	2,96875
33,1	284,0625	5,3125
33,85	281,09375	9,53125
33,95	280,78125	9,375
34,85	282,8125	13,28125
34,65	284,53125	8,75
32,5	284,84375	9,0625
32,45	283,90625	8,90625
31,3	286,25	8,4375
30,95	286,875	8,28125
30,45	287,03125	8,28125
30,5	287,1875	8,4375

En la siguiente figura se observa que la concentración máxima obtenida en el galpón avícola es de 13 ppm a una temperatura de 34°C.

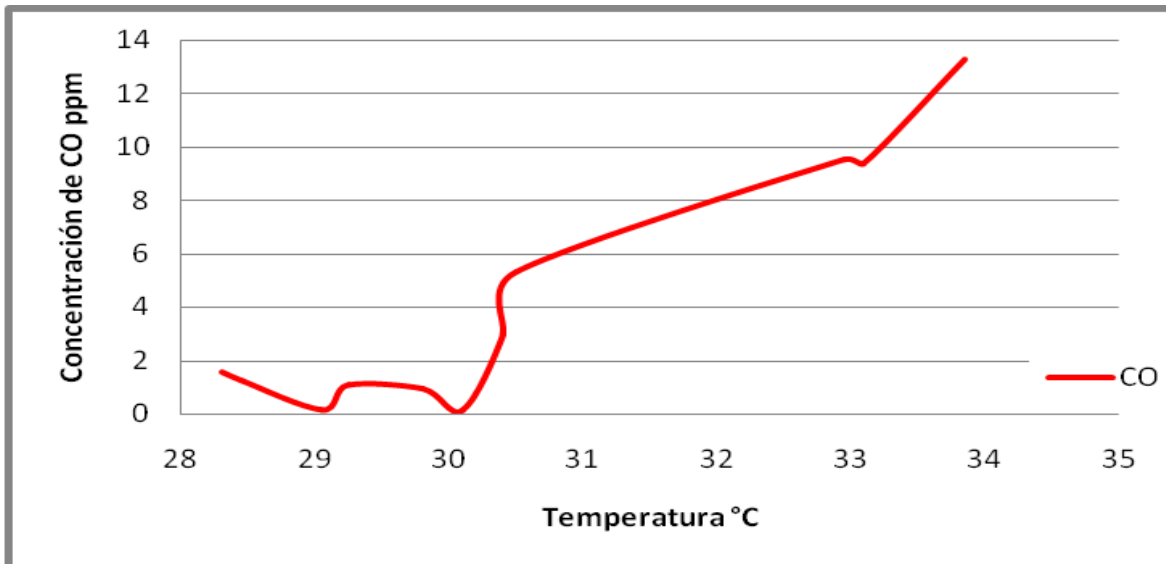


Figura 67. Concentración de CO vs Temperatura



En la siguiente figura se observa que el máximo nivel de NH_3 que sensado en el galpón avícola es de 290 ppm aproximadamente, además, no se aprecia la dependencia de la concentración NH_3 con la temperatura.

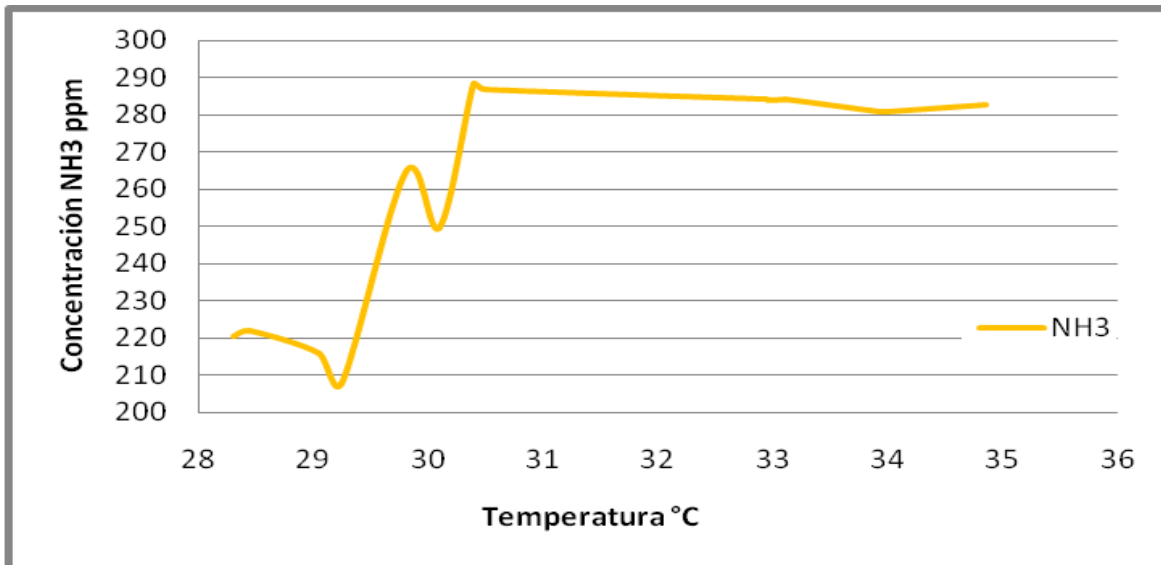


Figura 68. Concentración de NH_3 vs Temperatura

4.9.2 Prueba realizada en un ambiente encerrado

Como consecuencia de que los datos obtenidos en el galpón avícola no son concluyentes, se plantea la necesidad de realizar una prueba en un escenario donde la velocidad del viento no sea una variable influyente en los resultados.

La prueba se realizó en un ambiente cerrado en donde se tiene control sobre la temperatura y se eliminan las corrientes de aire. Los datos obtenidos se resumen en la siguiente tabla.

Tabla 30. Datos obtenidos en la prueba.

Temperatura	NH_3 ppm	CO ppm
34	319,06	24,375
33,5	314,22	1,25
33	313,44	0,1563
32,5	309,84	1,0938
32	302,66	8,75
31,5	291,41	0,9375
31	291,09	0,1563
30,5	276,56	2,9687
30	279,06	5,3125
29,5	279,22	13,281
29	272,97	8,75
28,5	272,81	9,0625
28	267,03	0,1563
27,5	267,03	2,9687



27	260,31	5,3125
26,5	251,09	9,5312
26	242,66	9,375
25,5	157,97	10,156
25	141,56	9,5312
24,5	49,219	7,8125

En esta prueba no se determino la relación que existe entre la concentración de CO y la temperatura, como se observa en la siguiente figura.

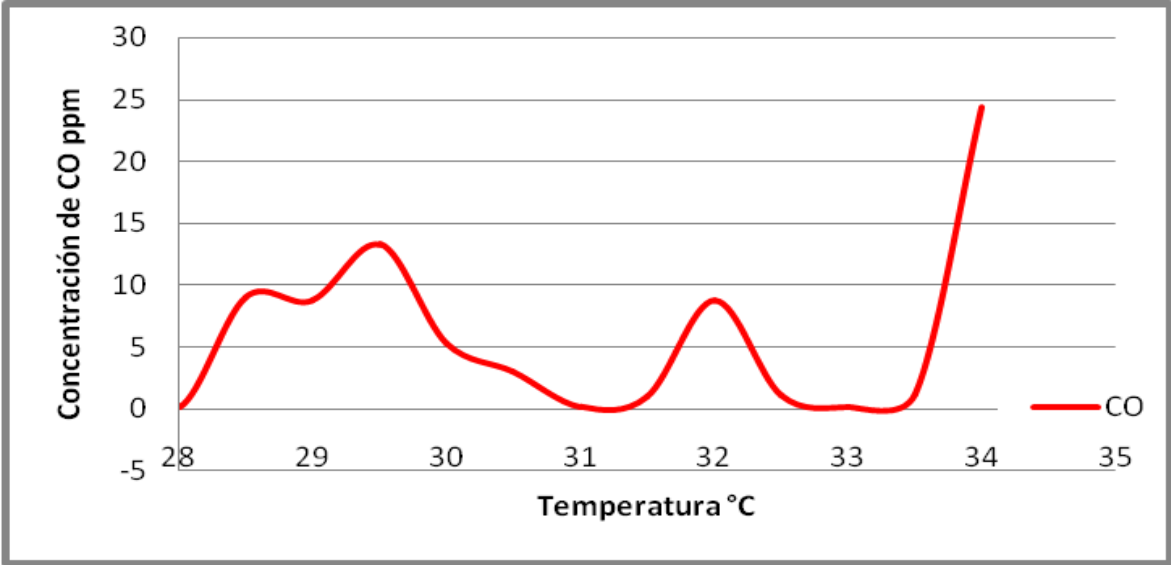


Figura 69. Concentración de CO vs Temperatura.

En la siguiente grafica se observa la relación que hay entre la concentración de NH₃ y la temperatura.

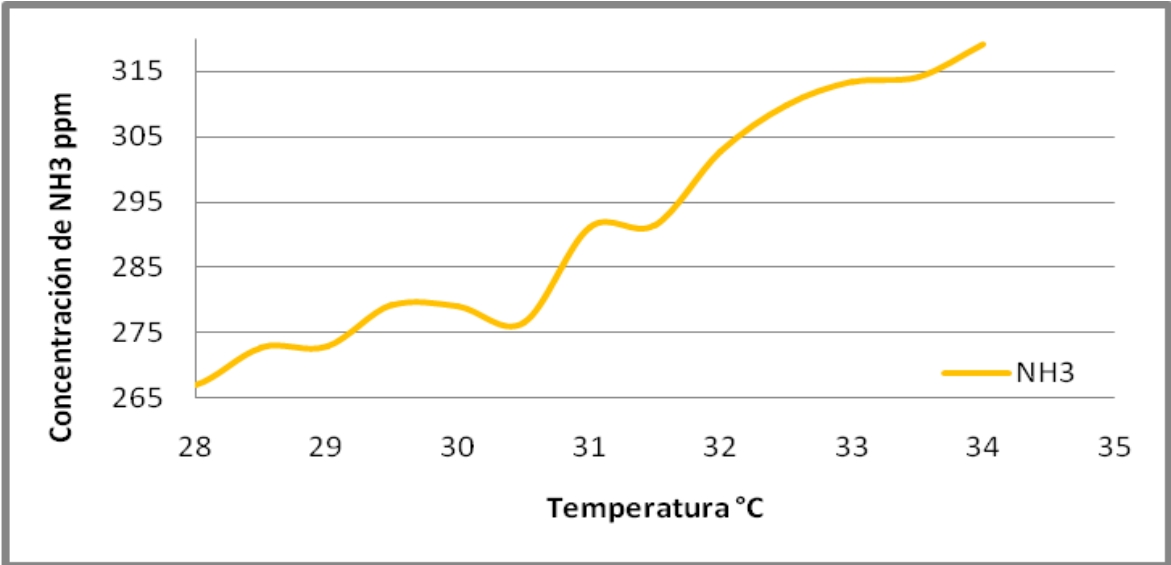


Figura 70. Concentración de NH₃ vs Temperatura.



5. OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES

El objetivo general de este trabajo de grado es: “Monitorizar las variables físicas: temperatura, humedad relativa, nivel de CO, nivel de NH₃ e intensidad luminosa, al interior de un galpón de cría y levante de pollos utilizando una red de 15 sensores inalámbricos”

Luego de terminar el trabajo, se puede concluir que:

5.1 Sistema Hardware Diseñado

1. Se implementan un total de 10 prototipos que permiten la monitorización de las variables físicas que están involucradas en el proceso de cría y levante de pollo de engorde. De esta forma es posible realizar futuras investigaciones que relacionen la incidencia de las variables físicas con la mortandad de aves de corral.
2. Se compararon las mediciones registradas por cada nodo de cada variable física con un medidor comercial que se utilizó como patrón de medida, lo que permitió realizar los ajustes necesarios a las mediciones de las variables físicas, para lograr caracterizar el equipo.
3. Los diferentes circuitos implementados permiten que el nodo construido sea compatible con las plataformas *TELOSB/TMOTESKY* y *XBEE*.
4. Se diseñó y construyó un nuevo nodo más robusto que funciona correctamente bajo las condiciones hostiles de un galpón avícola y que permite al usuario un fácil manejo y mantenimiento. Este equipo permite verificar de forma rápida si se encuentra encendido y verificar el nivel de carga de sus baterías.
5. El prototipo final funciona con dos baterías AA, gracias el circuito elevador de tensión implementado..
6. Para aumentar el tiempo de operación del prototipo se propone el uso de baterías de alta carga que extiendan el tiempo útil de cada nodo
7. Se observó que la curva característica de cada sensor varía de acuerdo a la tensión de alimentación a la cual está conectado. Para la implementación tanto del sensor de temperatura (TMP36) como el sensor de luz (ADPS-9005) se realizó su caracterización, teniendo en cuenta la tensión de alimentación a la cual están siendo sometidos. Para los sensores de humedad relativa (HIH-4000), CO (NT-CO) y NH₃ (NT-NH3) se tomó la ecuación característica de la hoja de datos ya que coincide con la tensión de alimentación a la cual fue caracterizado en la fábrica.
8. Se sugiere el uso de elementos pasivos con índices de tolerancia muy bajos que, para obtener un grado de exactitud mayor en la medida, siempre que sea posible.



9. Utilizar elementos pasivos de un tamaño de encapsulado 0402 no es recomendable para nuestros laboratorios en la UIS, ya que la implementación de este tipo de elementos requiere de equipo de soldadura y visión especializados.
10. Se implementaron llaves selectoras, lo que permite tener un equipo versátil para realizar distintas pruebas, estos dispositivos permiten decidir por cuál de los canales del módulo ADC de las plataformas se quiere enviar la información. Además de esto en el nodo gases se implementaron otros dos seleccionadores que permiten variar el rango de medida del nodo.
11. Se distribuyeron puntos de prueba que permiten verificar el correcto funcionamiento de cada etapa, para esto se cuenta con una tabla la cual indica cual debe ser el nivel de tensión en cada uno de los puntos dependiendo de la variable física estudiada (Ver ANEXO D).
12. Para el desarrollo de las PCB se utilizó la versión 9.2 del software Orcad. El cual permite realizar un *DRC (DESIGN RULE CHECK)* para obtener un diseño confiable. Se realizó un proceso de pos producción el cual consiste en realizar los *GERBERS* de las PCBs logrando con esto tener unos diseños independientes del software con el cual fue construido.
13. Se mejoró la apariencia exterior de las cajas que contienen a los nodos en esta nueva versión. Se utilizaron herramientas como tornos, cortadoras laser y pinturas especiales para la adecuación de partes sensibles de dichas cajas.
14. La realización de un prototipo útil requiere una alta inversión económica, ya que los procesos de depuración para desarrollar este tipo de tecnología es muy costosa. El capital para desarrollar este proyecto fue una financiación interna UIS-DIEF, sin embargo, el dinero presupuestado no fue suficiente y se requirió utilizar fondos propios para culminar este trabajo.
15. Debido a la observación de campo se, se determina que la velocidad del viento es una variable a tener en cuenta en el momento de sensar las concentraciones de los gases NH_3 y CO , ya que esta variable afecta con su presencia las mediciones dentro del galpón artesanal e impide mantener condiciones de concentración estables.

5.2 Programas de Software implementados

1. El programa implementado en lenguaje *NESC*, “*DSM2*”, e instalado en cada uno de las plataformas *TELOSB/TMOTESKY* permite capturar la información de los 6 canales ADC y de los dos canales donde se encuentra la información de temperatura y voltaje interno del nodo, para ser recibida por el nodo concentrador.
2. El código desarrollado en lenguaje *NESC* solo funciona para las plataformas *TELOSB/TMOTESKY*, ya que fue la plataforma seleccionada para realizar la conexión con el sistema REDSI.
3. El programa desarrollado en lenguaje *JAVA* y ejecutado desde la plataforma *NETBEANS*, “*Puerto*”, permite capturar y procesar la información proveniente del puerto donde



está conectado el nodo concentrador para ser leída a través de la consola y a su vez ser almacenada en la base de datos con la cual interactuar la herramienta REDSI.

4. Se desarrolló un programa “Puerto” capaz de diferir entre las tramas corruptas y las tramas correctas provenientes del puerto serial, para no ser tenidas en cuenta en el momento de almacenarlas en la base de datos.
5. El desarrollo de este programa permite continuar con el proceso de crecimiento de la red, es decir se pueden construir más nodos y ser puestos a interactuar con este programa sin que la eficiencia de este se vea afectada.

5.3 Recomendaciones para el desarrollo de futuros proyectos e investigaciones en el área de redes de sensores inalámbricos.

1. Para futuros desarrollo de plataformas de redes de sensores se sugiere utilizar a nivel de desarrollo *HARDWARE* elementos que tengan una mínima tolerancia (elementos de precisión), con el fin de obtener un resultado más preciso.
2. Se requiere implementar el prototipo con técnicas industriales y equipos adecuados de soldadura con el cual se obtenga mayor robustez y sea menos propenso a fallas.
3. La serie de pruebas desarrolladas en este prototipo permitieron establecer unas características particulares. Se recomienda seguir con el estudio y la caracterización a un nivel más profundo de forma que se logre obtener un equipo el cual su precisión sea mayor.
4. El resultado de este trabajo permite ser implementado en diferentes áreas. Esto permite pensar en distintas aplicaciones donde se requería tener un ambiente controlado.



6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural-DANE-FENAVI-FONAV. Primer Censo Nacional de Avicultura Industrial. Resultados 2002.

[2] Proyecto DIEF-Avicultura de precisión, 2007 Propuesta de investigación. Disponible en <http://tiny.cc/ihf1d>

[3] A. Castro, H. De la Hoz. “Diseño e implementación de una plataforma de red de sensores inalámbricos para la monitorización de variables físicas ambientales en un galpón avícola”, Universidad Industrial de Santander, 2008.

[4] B. Ballesteros, S. Chaparro. “Aplicación web para la captura, monitoreo y análisis de datos transmitidos a través de redes de sensores inalámbricos utilizando tecnología ZIGBEE”, Universidad Industrial de Santander, 2008.

[5] Manual Ross. AVIAGEN INCORPORATED. Alabama, EE.UU. Noviembre de 2002. Disponible en: <http://tiny.cc/hrirb>

[6] Guía de manejo del pollo de engorde COBB. Disponible en: <http://tiny.cc/tff27>

[7] Osorio L. “Redes Inalámbricas de Sensores Aplicadas en Avicultura de Precisión. Diseño, Implementación y Caracterización”, Universidad Industrial de Santander, 2009.

[8] Rújeles J. “Redes de Sensores Inalámbricos: Diseño, Implementación y Caracterización de un Prototipo de Red ZIGBEE en Ambientes Abiertos y Cerrados”, Universidad Industrial de Santander, 2007.

[9] Maldonado, D. “Caracterización de Dispositivos de Redes de Sensores Inalámbricos en Ambientes INDOOR y OUTDOOR”, Universidad Industrial de Santander, 2007

[10] Empresa dedicada a la avicultura de precisión. Disponible en <http://tiny.cc/me8t4>

[11] Empresa dedicada al desarrollo de redes de sensores. Disponible en <http://tiny.cc/4amak>

[12] Baggio, A. “WIRELESS SENSOR NETWORKS IN PRECISION AGRICULTURE”. DELFT UNIVERSITY OF TECHNOLOGY. Disponible en <http://tiny.cc/26qw6>

[13] Hoja de especificaciones técnicas, ADP 3334 ANALOG DEVICES. Disponible en <http://tiny.cc/0l8gd>

[14] Hoja de especificaciones técnicas, OPA333 TEXAS INSTRUMENT. Disponible en <http://tiny.cc/jbi3v>

[15] Hoja de especificaciones técnicas, TMOTESKY. MOTEIV 2005. Disponible en <http://tiny.cc/fdsc0>

[16] Manual del usuario modulo XBEE, especificaciones tecnicas. Disponible en <http://tiny.cc/nf9ff>



- [17] *HYGRO-THERMOMETER 445713, EXTECH*. Manual del usuario. Disponible en <http://tiny.cc/fn9xg>
- [18] *LIGHT METER LT300, EXTECH*. Manual del usuario. Disponible en <http://tiny.cc/2i77h>
- [19] *HUMIDITY/ TEMPERATURE DATALOGGER RHT10, EXTECH*. Manual del usuario. Disponible en <http://tiny.cc/fg6jk>
- [20] Hoja de especificaciones técnicas, *TPS63002 TEXAS INSTRUMENT*. Disponible en <http://tiny.cc/ox3b9>
- [21] Hoja de especificaciones técnicas, *REF 3312 TEXAS INSTRUMENT*. Disponible en <http://tiny.cc/0567r>
- [22] Mancini, Ron. *WORST-CASE DESIGN OF OP AMP CIRCUITS. TEXAS INSTRUMENT*.
- [23] Características técnicas de diseño para la fabricación de circuitos impresos (PCB). Disponible <http://tiny.cc/z418b>
- [24] Salas, R., Pérez, J., Ramírez, J. Técnicas de diseño, desarrollo y montaje de circuitos impresos. Disponible en <http://tiny.cc/nr0th>
- [25] *EFFECTS OF CORNERS IN PCB TRACES PCB THERMAL COPPER AREA*. Disponible en: <http://tiny.cc/x5gv8>
- [26] TinyOS Web Site. Disponible en <http://www.tinyos.net>
- [27] Documentación del algoritmo DSM. Disponible en <http://tiny.cc/w09im>
- [28] Tutorial “*HOW DO ELECTROCHEMICAL GAS SENSORS WORK?*”. Disponible <http://tiny.cc/ze265>
- [29] Hojas de datos de sensores de Monóxido de Carbono (NT-CO) y Amoníaco (NT-NH3), fabricados por *NEMOTO*. <http://tiny.cc/eltp8>
- [30] Aplicaciones de sensores de gases en la Industria. Disponible en <http://tiny.cc/fqcu0>
- [31] Tecnología Presente en los sensores de Gas Disponible en <http://tiny.cc/uouri>
- [32] Chou, Jack. “*HAZARDOUS GAS MONITORS: A PRACTICAL GUIDE TO SELECTION, OPERATION AND APPLICATIONS*”. ATS AGRO
- [33] Instalador y manual *NETBEANS*. Disponible en <http://netbeans.org/>
- [34] La humedad relativa y la temperatura de Bucaramanga. *WEATHER UNDERGROUND*. Disponible en <http://tiny.cc/wclrw>



ANEXO A: DATOS EXPERIMENTALES OBTENIDOS DE LA PRUEBA REALIZADA CON EL PROTOTIPO EN LA PRIMERA FASE.

En las siguientes tablas se resume la información de la prueba realizada en el laboratorio al Nodo I que se desarrollo en la fase uno.

Para calcular el error_1 se tomo como valor teórico los datos provenientes del *DATALOGGER* y como valor experimental la información del Nodo I. Para calcular el error_2 se tomo como valor teórico la información arrojada por el higrómetro del sensor externo y se comparo con los datos proporcionados en Nodo I.

Tabla 31. Datos obtenidos del nodo I de la variable temperatura.

Variable física	DATALOGGER	Higrómetro(C°)		Nodo I	Error_1(%)	Error_2(%)
		Externo	Interno			
Temperatura (C°)	17,9	17,6	18,3	16,79	6,20	4,60
	18,6	18,9	18,9	17,53	5,75	7,25
	20,7	19,4	20,5	17,88	13,62	7,84
	23,7	21,9	23	20,46	13,67	6,58
	25,2	23,5	24,7	21,12	16,19	10,13
	27,2	27,7	26,5	26,34	3,1	4,91
	27,7	28,4	26,6	27,34	1,30	3,73
	28,5	29,9	26,6	29,05	1,93	2,84
	29,1	30,1	26,7	28,96	0,48	3,79
	29,8	31,6	26,9	30,85	3,52	2,37
	31,1	32,1	27	31,11	0,03	3,08
	33	32,6	27,1	31,62	4,18	3,01
	34,7	34,3	27,2	33,58	3,23	2,10
	35,6	35,1	27,3	34,71	2,50	1,11
	36,5	36,3	27,3	35,82	1,86	1,32
	37	36,4	27,4	35,91	2,95	1,35
	38,9	38,1	27,5	37,53	3,52	1,50
	39,7	40,7	27,2	42,37	6,73	4,10
40,6	41,2	27,3	42,93	5,74	2,83	



Tabla 32. Datos obtenidos del nodo I de la variable temperatura.

Variable física	DATALOGGER	Higrómetro(C°)		Nodo	Error_1(%)	Error_2(%)
		Externo	Interno			
Humedad Relativa(%HR)	62,5	65	63	69	10,4	6,153846154
	65,7	65	63	63	4,109589041	3,076923077
	61	65	59	62	1,639344262	4,615384615
	59	64	57	58	1,694915254	9,375
	56,7	60	56	58	2,292768959	3,333333333
	61	69	72	56	8,196721311	18,84057971
	57,8	67	72	56	3,114186851	16,41791045
	56,8	64	72	56	1,408450704	12,5
	56,4	54	71	55	2,482269504	1,851851852
	55,3	52	71	53	4,159132007	1,923076923
	55,1	50	71	49	11,0707804	2
	52,1	47	69	47	9,788867562	0
	51,8	46	69	45	13,12741313	2,173913043
	51,1	42	69	42	17,80821918	0
	48,5	41	68	40	17,5257732	2,43902439
	44,3	39	68	39	11,96388262	0
	41,8	38	68	37	11,48325359	2,631578947
	40,7	36	68	35	14,004914	2,777777778
	40,2	36	68	35	12,93532338	2,777777778
	39	33	68	38	2,564102564	15,15151515
36,4	32	68	37	1,648351648	15,625	
34,5	31	69	36	4,347826087	16,12903226	
32,3	29	69	35	8,359133127	20,68965517	
31,6	30	70	37	17,08860759	23,33333333	



ANEXO B: PLANOS DE LOS CIRCUITOS ELÉCTRICOS.

- **Prototipo fase I.**
 - **Tarjeta principal.**

Tabla 33. Elementos y componentes de la tarjeta principal.

Elemento	Valor Nominal/Cantidad
C1,C2	1 μ F
C3	1 nF
C4,C5,C6	1 μ F
C7,C8,C9	1 μ F
C12,C13,C15,C16	1 μ F
Super-cap	1 F
R1	140 k Ω
R2	76,8 k Ω
R3	140 k Ω
R4	76,8 k Ω
R5a	64,9 k Ω
R5b	2,21 k Ω
R6a	110 k Ω
R6b	84,5 k Ω
R13,R14,R15,R16,R19	1K Ω
ADP 3334	3
Interruptor on-off	1
Conector	6

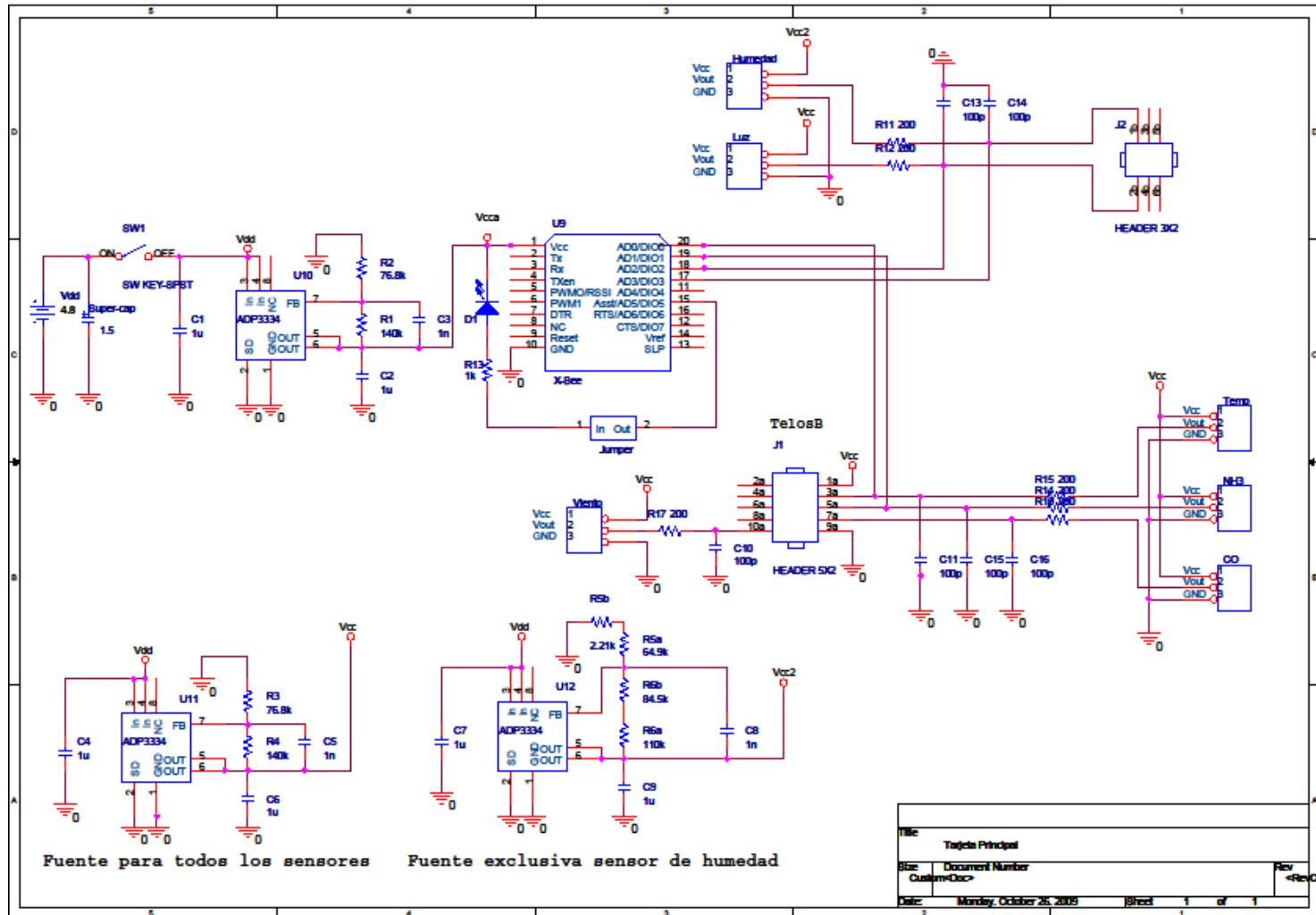


Figura 71. Plano eléctrico "Tarjeta Principal".



○ **Tarjeta luz.**

Tabla 34 Elementos y componentes de la tarjeta luz

Elemento	Valor Nominal/Cantidad
C1	10 uF
C2,C3	1 uF
C4	1nF
C5	100nF
R1A	40.2KΩ
R1B	20KΩ
R2A	100KΩ
R2B	1KΩ
R3	50KΩ
R4	10MΩ
R5	1KΩ
RL1	100Ω
RL2	10Ω
RC1	50KΩ
RC2	25.5KΩ
ADP3334	1
OPA333	1
Led (LTS-S220)	1
Conector	1

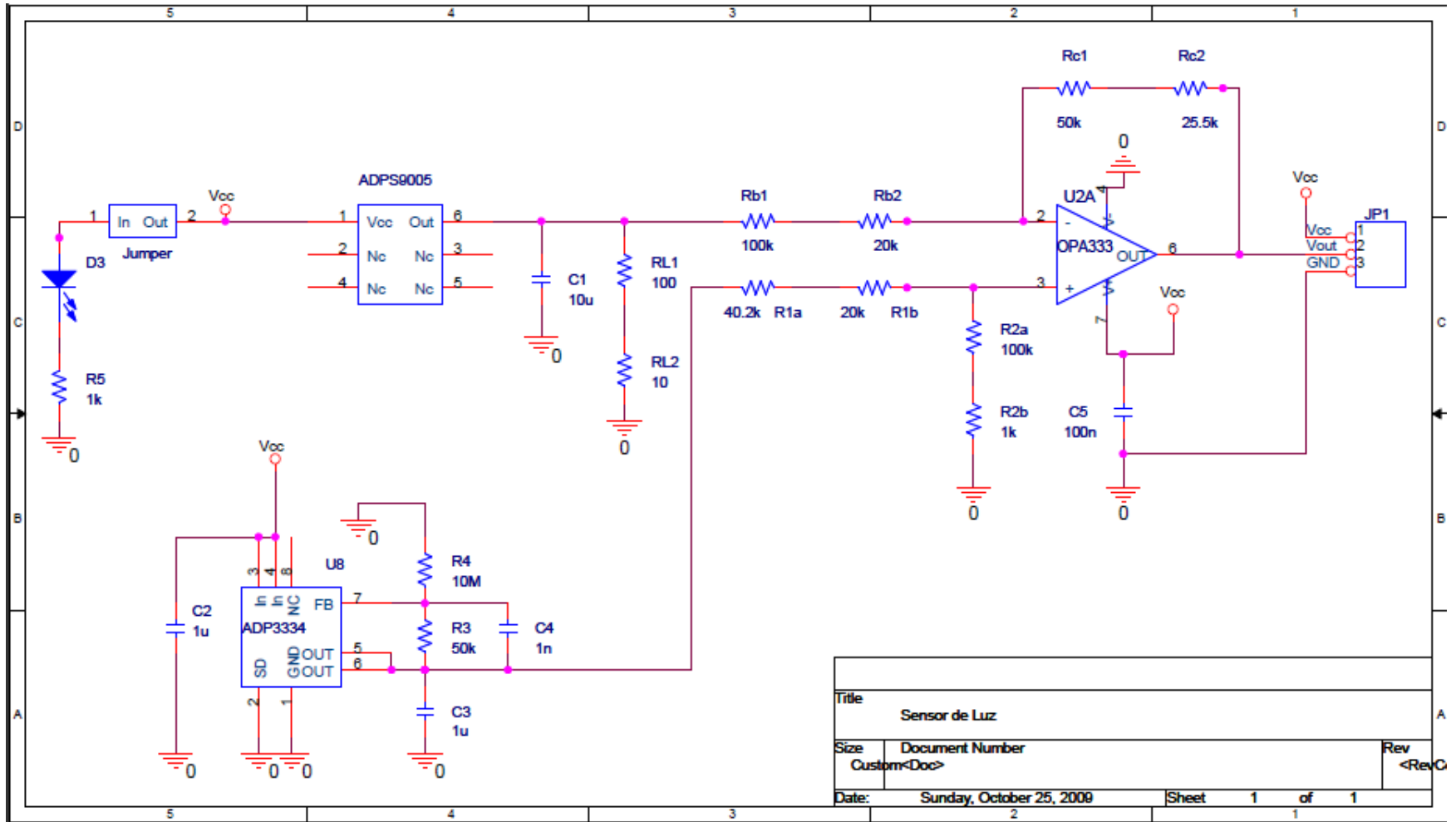


Figura 72. Plano eléctrico tarjeta luz.



○ **Tarjeta Temperatura**

Tabla 35. Elementos y componentes de la tarjeta Temperatura.

Elemento	Valor Nominal/Cantidad
C1	10uF
C2,C3	1 uF
C4	1nF
C5	100nF
R1A	20KΩ
R1B	30KΩ
R2A	84.5KΩ
R2B	5KΩ
R3	50KΩ
R4	10MΩ
R5	1KΩ
RC1	100KΩ
RC2	10KΩ
ADP3334	1
OPA333	1
Led (LTS-S220)	1
Conector	2

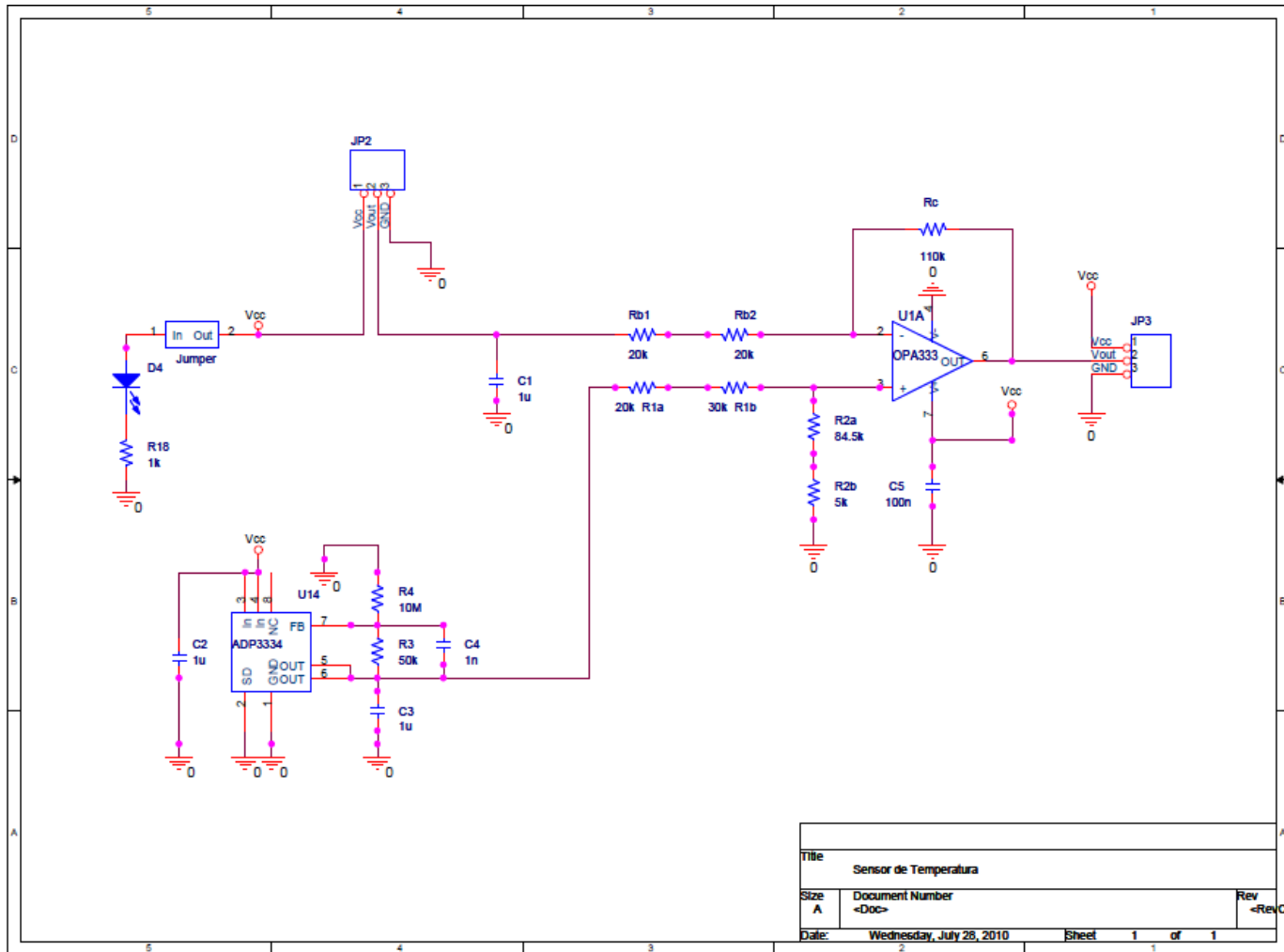


Figura 73. Plano eléctrico Tarjeta temperatura.



- **Tarjeta Humedad**

Tabla 36. Elementos y componentes de la tarjeta Humedad.

<i>Elemento</i>	<i>Valor Nominal/Cantidad</i>
C1	1 μ F
C2,C3	1 μ F
C4	1nF
C5	100n
R1A	1.73K Ω
R1B	100 Ω
R2A	220K Ω
R2B	10K Ω
R3	50K Ω
R4	10M Ω
R5	1K
RC1	10K
RC2	10 Ω
ADP3334	1
OPA333	1
Led (LTS-S220)	1
Conector	2

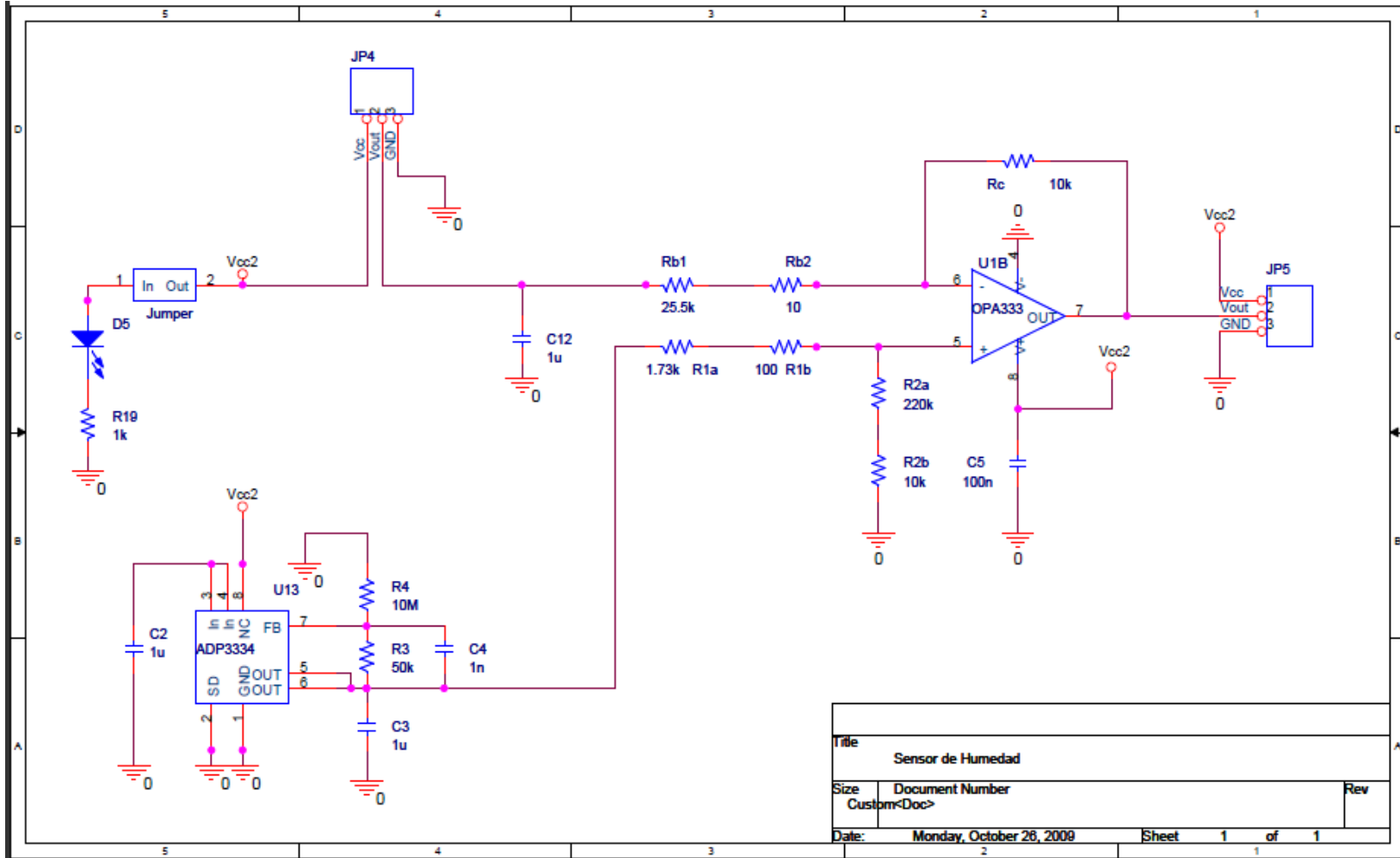


Figura 74. Plano eléctrico Tarjeta Humedad.



o **Tarjeta CO**

Tabla 37. Elementos y componentes de la tarjeta CO.

Elemento	Valor Nominal/Cantidad
C1	1uF
C2,C3,C4,C5	100nF
C4	1nF
C6,C7	1uF
C8	1nF
C9	100nF
R1	15KΩ
R2	16KΩ
R3a	50KΩ
R3b	2KΩ
R4a	20KΩ
R4b	220Ω
R5	50KΩ
R6	10MΩ
R11	10KΩ
R6,R8	10KΩ
R9	1KΩ
R10	100KΩ
R11	10KΩ
RC1	200KΩ
RC2	10.3kΩ
ADP3334	1
OPA333	3
Led (LTS-S220)	1
Conector	2

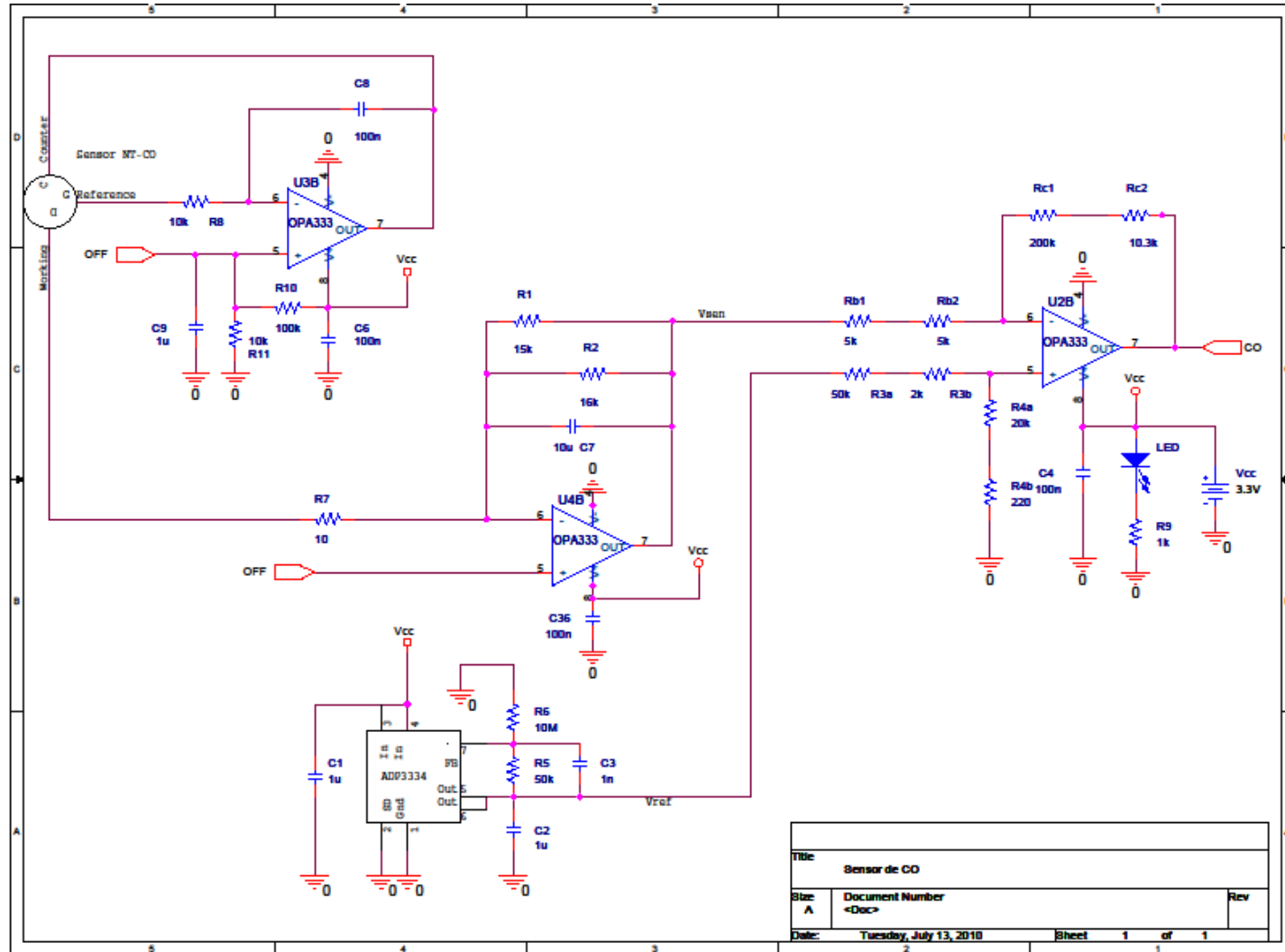


Figura 75. Plano eléctrico Tarjeta CO.



○ **Tarjeta NH₃**

Tabla 38. Elementos y componentes de la tarjeta NH₃.

Elemento	Valor Nominal/Cantidad
C1	1 μ F
C2,C3,C4,C5	100nF
C4	1nF
C6,C7	1 μ F
C8	1nF
C9	100nF
R1	10K Ω
R2	100K Ω
R3	10 K Ω
R4	10 Ω
R5	25.5K Ω
R6	13.7K Ω
R7	10M Ω
R8,R9	50K Ω
R11	20K Ω
R12	220 Ω
R13	1K Ω
RC1	270K Ω
RC2	4.9K Ω
ADP3334	1
OPA333	3
Led (LTS-S220)	1
Conector	2

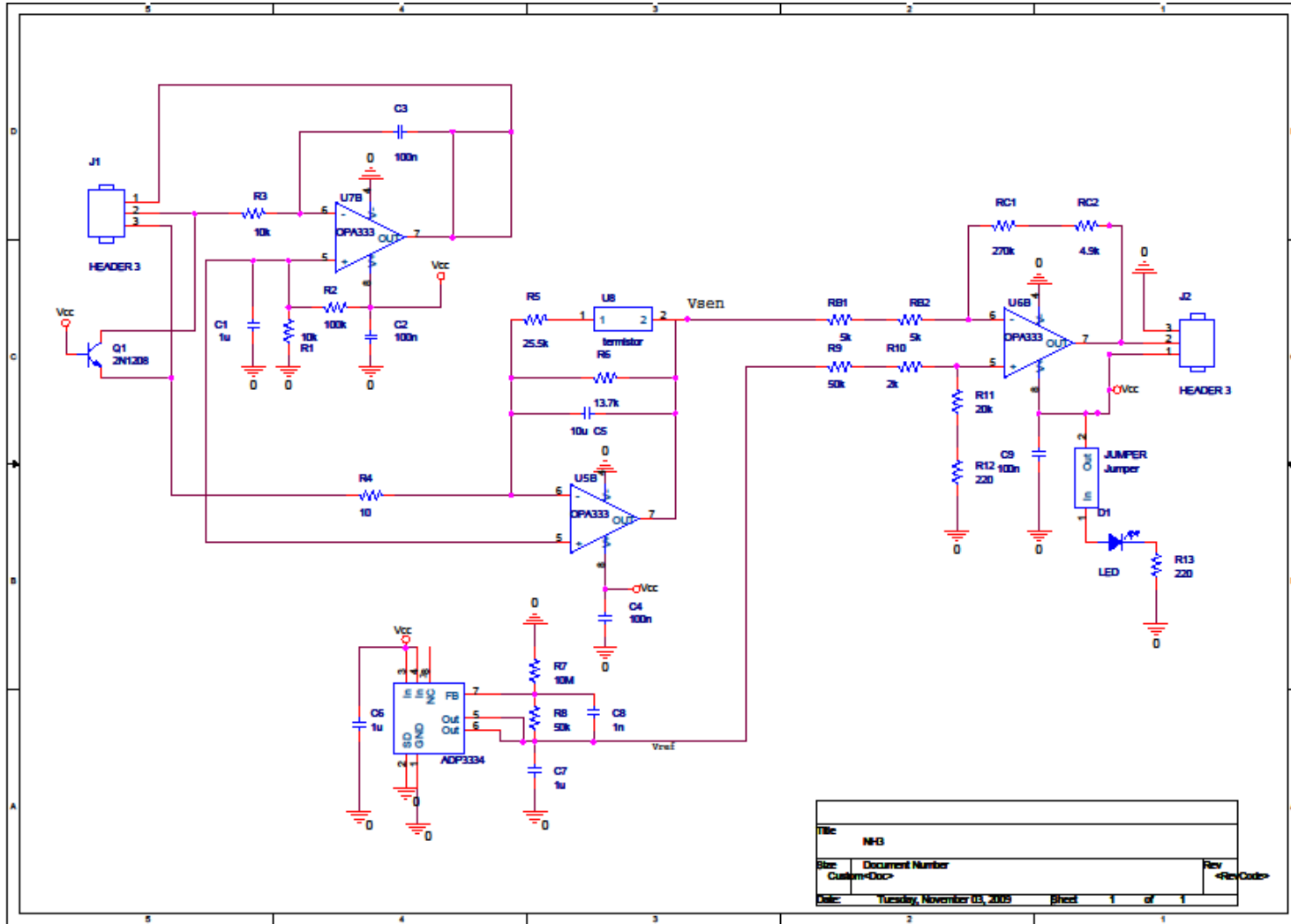


Figura 76. Plano eléctrico tarjeta NH₃.



- **Prototipo fase 2**
 - **Modulo tarjeta principal**

Tabla 39. Elementos y componentes que conforman el modulo "Tarjeta Principal".

Elemento	Valor Nominal/Cantidad
C0,C1,C2,C3,C4, C5,C6,C7,C8	1uF
C9,C11,C12,C13,C14	10uF
C10	22uF
Super-cap	1 F
L1	3.3Uf
R0,R1,R2,R3,R4,R5,R6,R7,R8	1K Ω
TPS 63002	1
TLVI 117-33	1
TLVI 117-25	1
Led (LTS-S220)	1
Pulsador	1
Interruptor	1
Terminal Block 2P	3
Conector XBee	1
Conector TelosB/TmoteSky	1

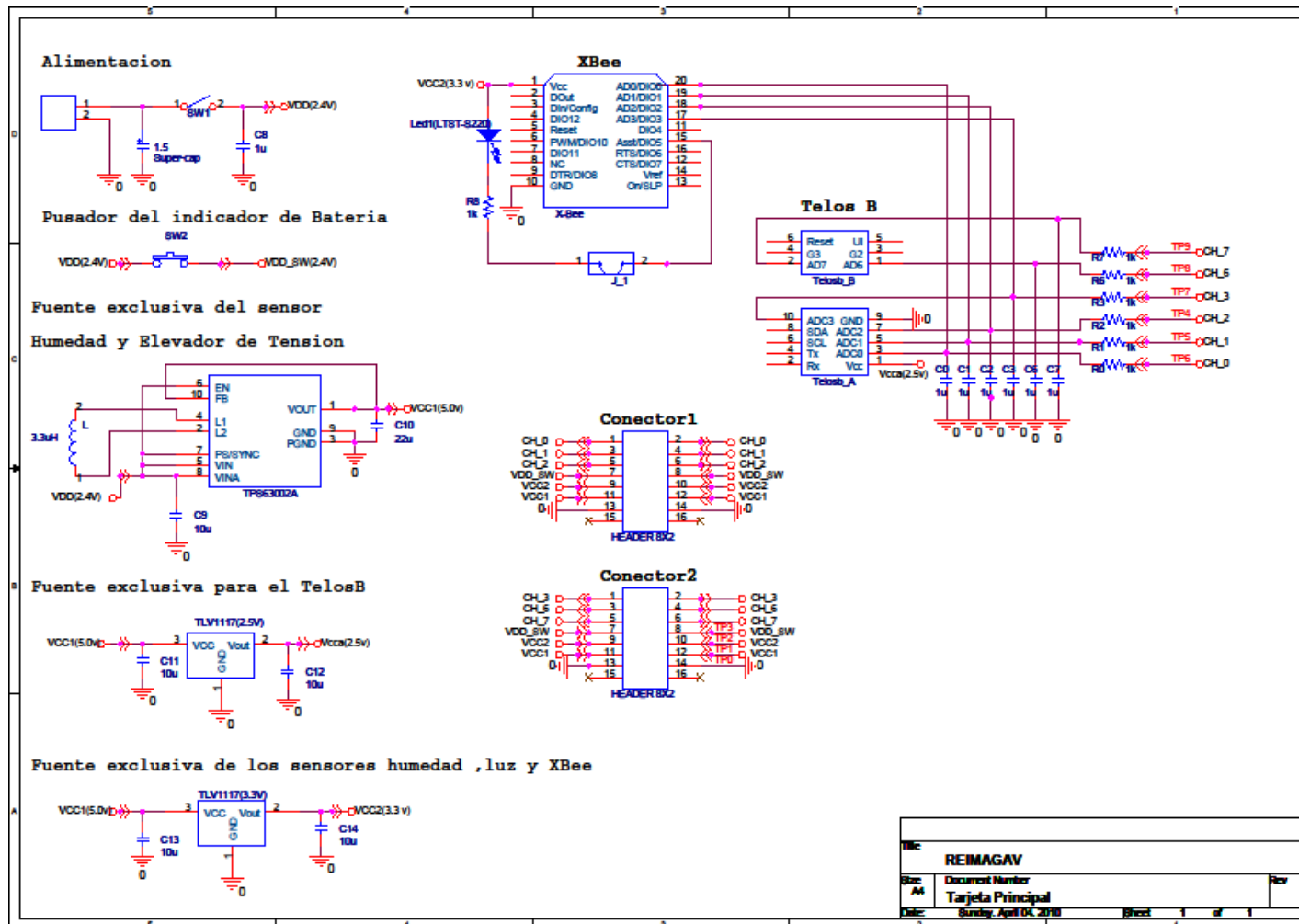


Figura 77. Plano eléctrico modulo tarjeta principal.



○ **Modulo sensores**

Tabla 40. Elementos y Componentes que conforman el modulo "Sensores".

<i>Elemento</i>	<i>Valor Nominal/Cantidad</i>
<i>C1,C2,C3,C5,C6, C7,C9,C10,C11</i>	<i>1 uF</i>
<i>C4,C8,C12</i>	<i>100nf</i>
<i>R1,R2</i>	<i>1kΩ</i>
<i>R1a</i>	<i>220 KΩ</i>
<i>R1b</i>	<i>42.2 KΩ</i>
<i>R1c</i>	<i>76.8 KΩ</i>
<i>R1d</i>	<i>1.91 KΩ</i>
<i>R1e</i>	<i>4.99 KΩ</i>
<i>R1f</i>	<i>0.698 KΩ</i>
<i>R2a</i>	<i>49.9 KΩ</i>
<i>R2b</i>	<i>10 Ω</i>
<i>R2c</i>	<i>230 KΩ</i>
<i>R2d</i>	<i>10 Ω</i>
<i>R2e</i>	<i>110 KΩ</i>
<i>R2f</i>	<i>10 Ω</i>
<i>Rb1</i>	<i>49.9 KΩ</i>
<i>Rb2</i>	<i>10 Ω</i>
<i>Rb3</i>	<i>56.2 KΩ</i>
<i>Rb4</i>	<i>2.21 KΩ</i>
<i>Rb5</i>	<i>16 KΩ</i>
<i>Rb6</i>	<i>1.74 KΩ</i>
<i>Rc1</i>	<i>220 KΩ</i>
<i>Rc2</i>	<i>61.9 KΩ</i>
<i>Rc3</i>	<i>210 KΩ</i>
<i>Rc4</i>	<i>4.99 KΩ</i>
<i>Rc5</i>	<i>7.89 KΩ</i>
<i>Rc6</i>	<i>0.1 KΩ</i>
<i>REF3312</i>	<i>3</i>
<i>OPA 333</i>	<i>3</i>
<i>Led(LTS-S220)</i>	<i>2</i>
<i>Seleccionadores(Dip-sw) 6P</i>	<i>3</i>
<i>Terminal Block 3P</i>	<i>2</i>

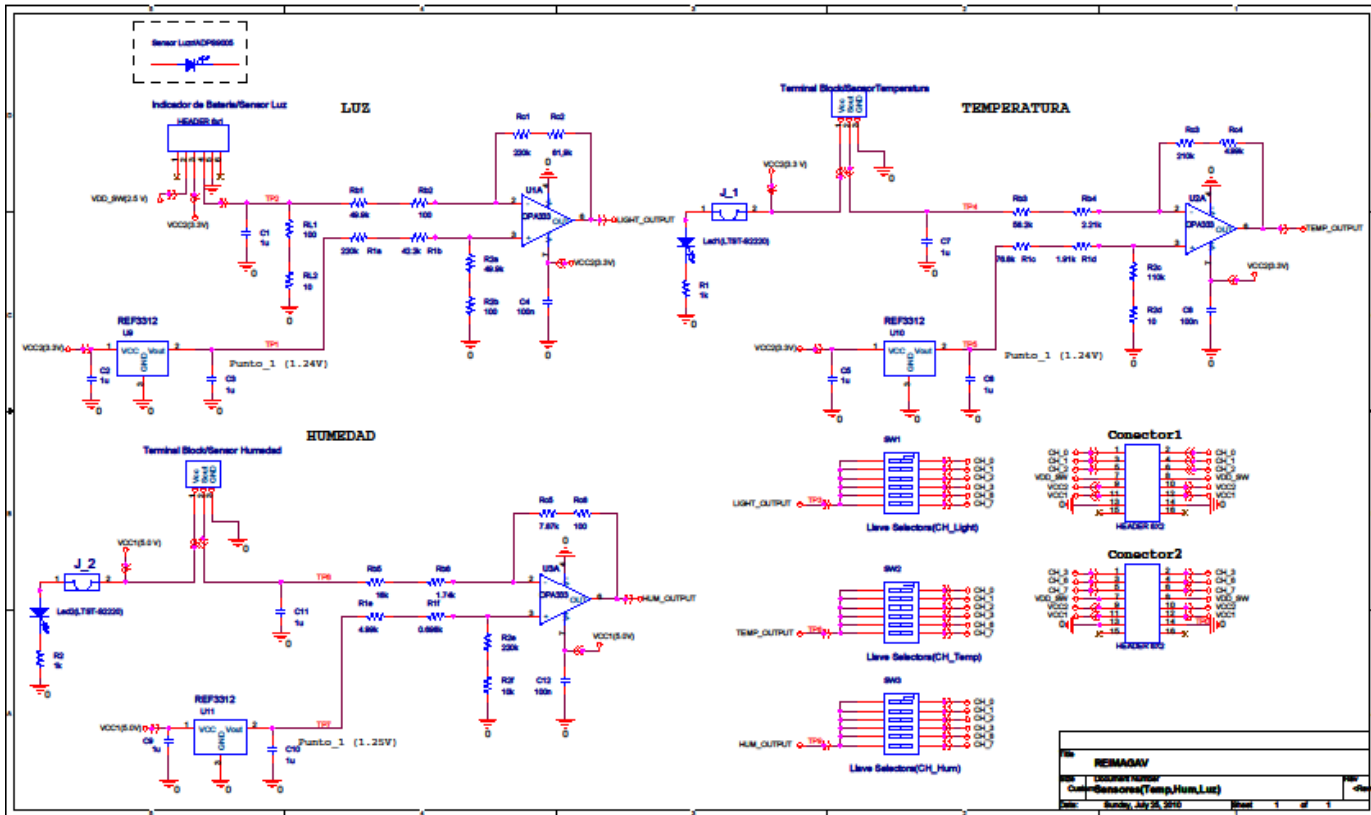


Figura 78. Plano eléctrico tarjeta modulo sensores.



o **Modulo indicador de nivel de batería**

Tabla 41. Elementos y componentes que conforman el modulo indicador de batería.

Elemento	Valor Nominal/Cantidad
C1,C2	10uF
R1	50 K Ω
R2a	16K Ω
R2b	1.74K Ω
R3a	13.7K Ω
R3b	1K Ω
R4a	10K Ω
R4b	2.21K Ω
R5a	140K Ω
R5b	2.21K Ω
R7(variable)	15K Ω
R8,R9,R10,R11	1K Ω
LM339	1
TLV1117-15	1
Led(LTS-S220)	4
Sensor de Luz(ADPS-9005)	1

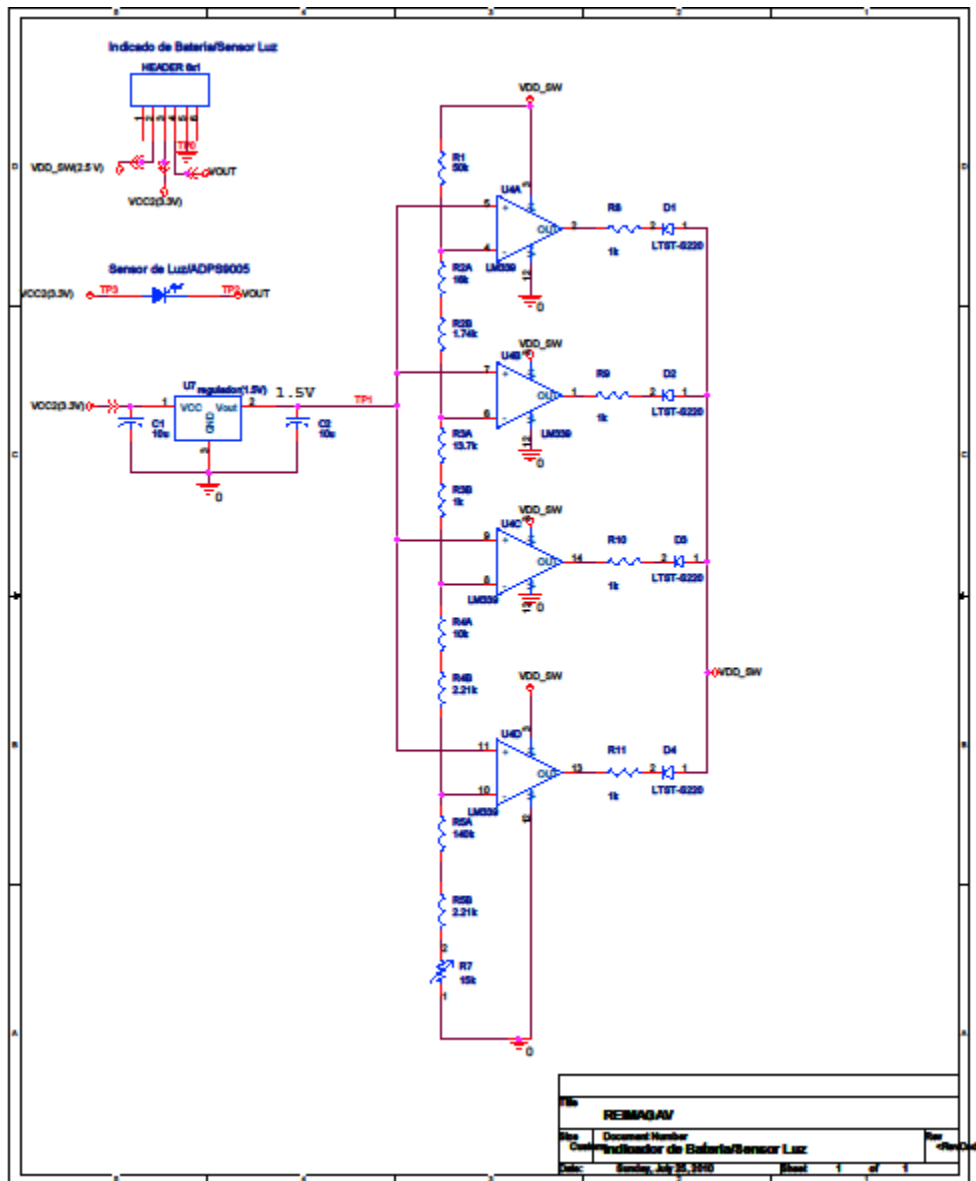


Figura 79. Plano eléctrico modulo indicador de batería.



○ **Nodo para la medición de gases NH₃ y CO**

Tabla 42 Elementos y componentes que conforman el modulo indicador de batería

Elemento	Valor Nominal/Cantidad
C1,C6,C7,C8,C9,C10,C13,C14, C16,C17,C18,C20,C21,C22, C24,C25,C26,C28,C29,C30, C32,C33,C34	1Uf
C2,C3,C4,C5	10Uf
C15, C19, C23, C27, C31, C35	100nF
R1, R3,R4,R5,R6,R7,R8,R9	1KΩ
R2	4.99KΩ
RB1, RB3,RB5, RB7, RB9, RB11	16 KΩ
RB2, RB4,RB6, RB8, RB10, RB12	1.74 KΩ
RC1, RC3,RC5, RC7, RC9,RC11	7.87 KΩ
RC2,RC4,RC6, RC8, RC10,RC12	100
Seleccionadores(Dip-sw) 6P	4
REF3312	6
OPA333	6
TLV1117-55	1
TLV1117-25	1
Led (LTS-S220)	1
Interruptor	1
Terminal Block 4P	1
Conector XBee	1
Conector TelosB/TmoteSky	1
Conectores Cyber	2

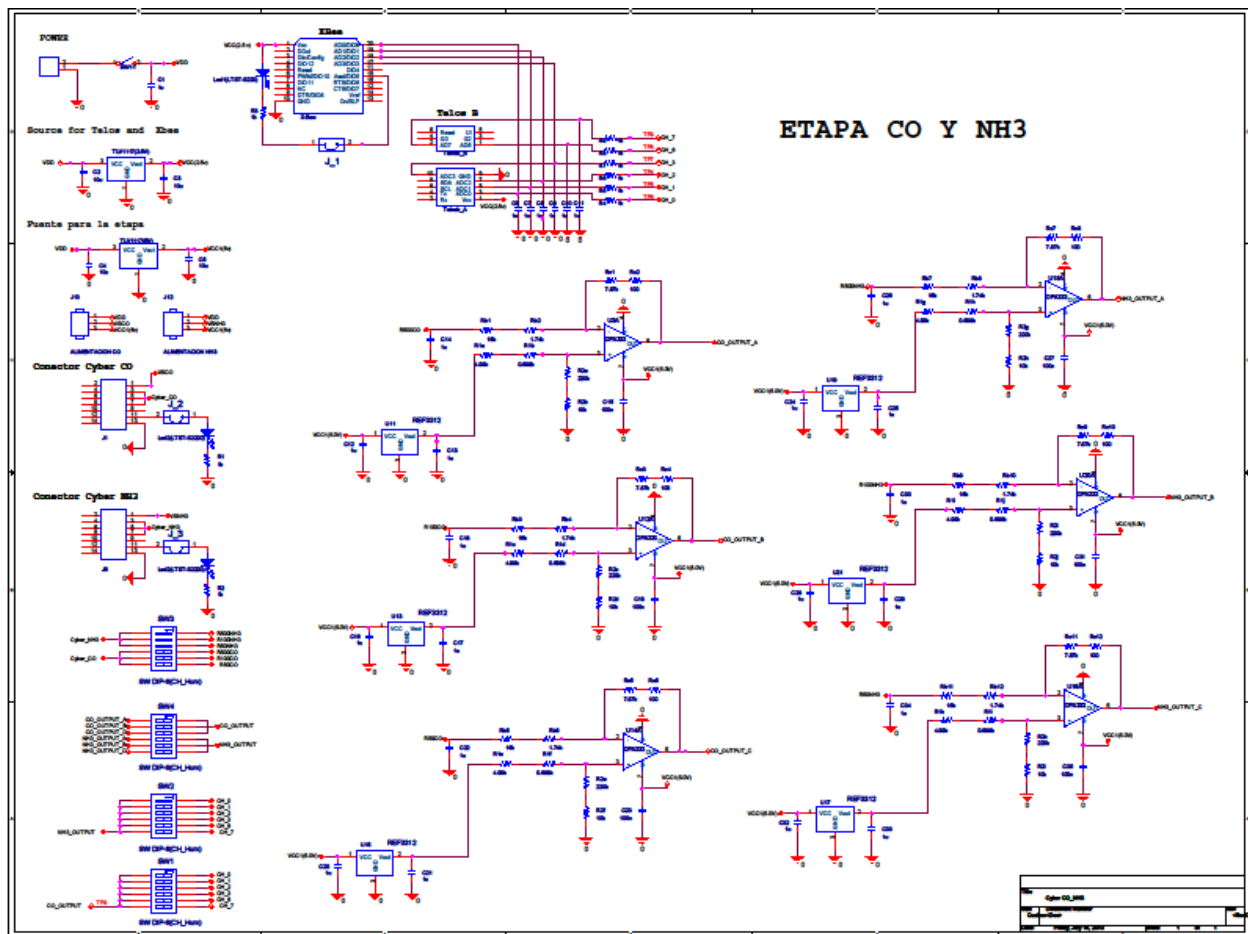


Figura 80. Plano eléctrico Nodo gases.



ANEXO C: DISEÑOS DE PCBS

Para el desarrollo de las P.C.B se utilizo la versión 9.2 del software Orcad. El cual permite realizar un DRC (Design Rule Check) para obtener un diseño confiable.

Las figuras 11, 12, 13 y 14 muestran el diseño de los “layout” para cada uno de los módulos.

I. Tarjeta “Modulo principal”

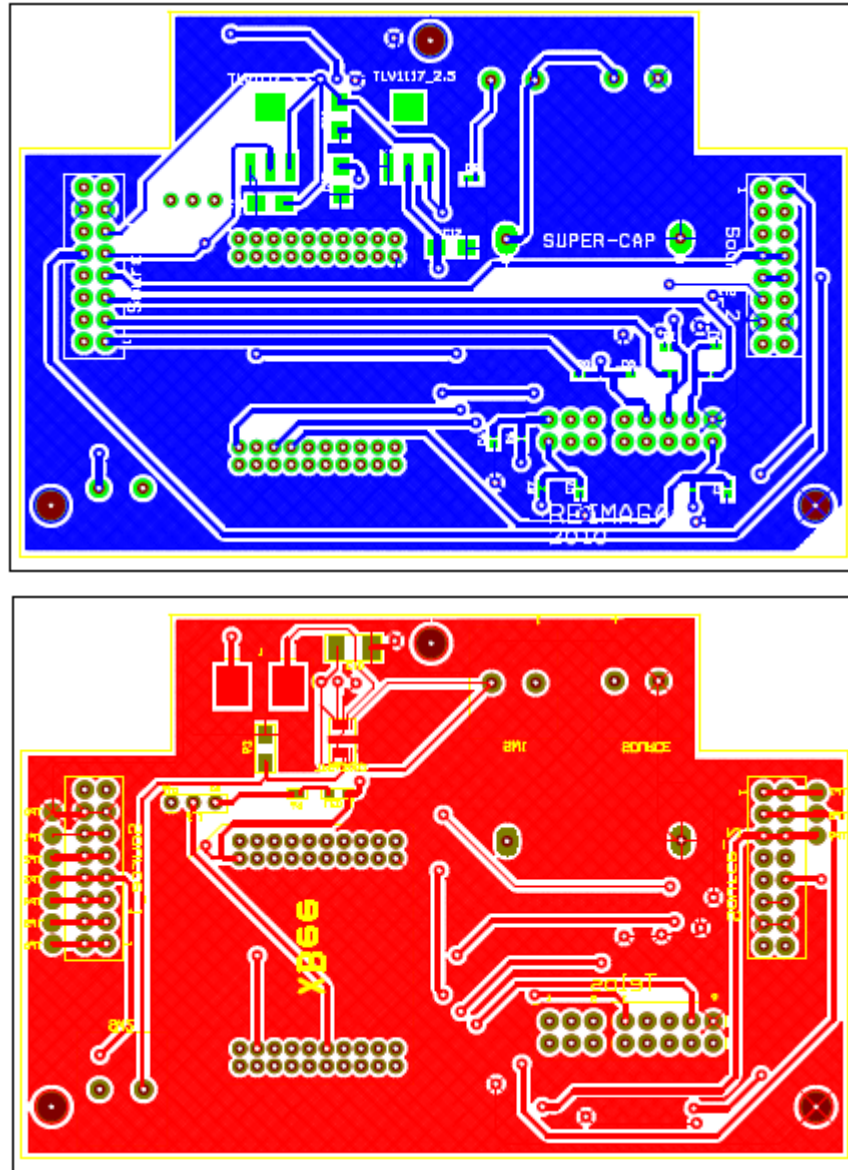


Figura 81. Layout tarjeta "Modulo tarjeta principal".

En la Figura 81 se muestra la Cara anterior (azul) y posterior (roja) de la tarjeta Main Board que contiene los módulos radiotransmisores y todo lo concerniente a la alimentación del sistema.



- Tarjeta “Modulo Sensores”

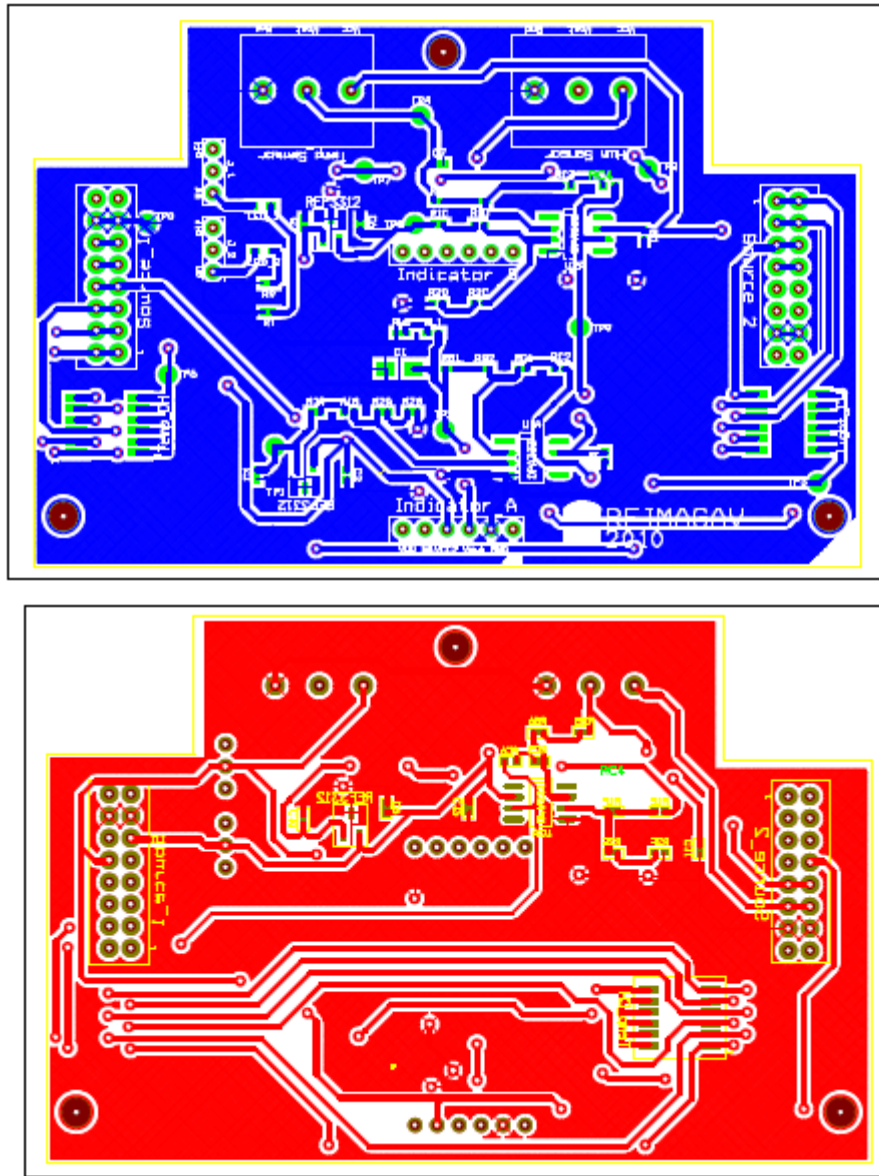


Figura 82. Layout tarjeta "Modulo sensores".

En la Figura 82 se muestra la cara anterior (azul) y posterior (roja) de la tarjeta Sensores que contiene las etapas de acondicionamiento de señal de los sensores Temperatura, Humedad y Luz.



- **Modulo "Indicador"**

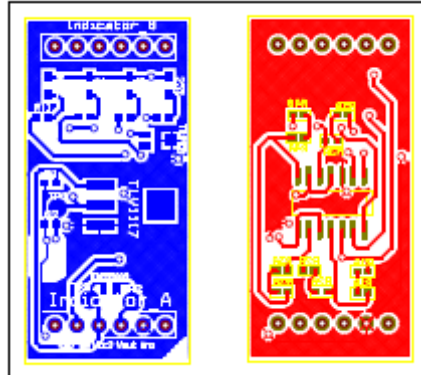


Figura 83. Layout de la tarjeta "Modulo indicador de nivel de batería".

En la Figura 83 se muestra la cara anterior (azul) y posterior (roja) de la tarjeta Indicador de batería que contiene la etapa de indicador de nivel de batería y el sensor de luz.



- Tarjeta Nodo para la medición de gases NH_3 y CO

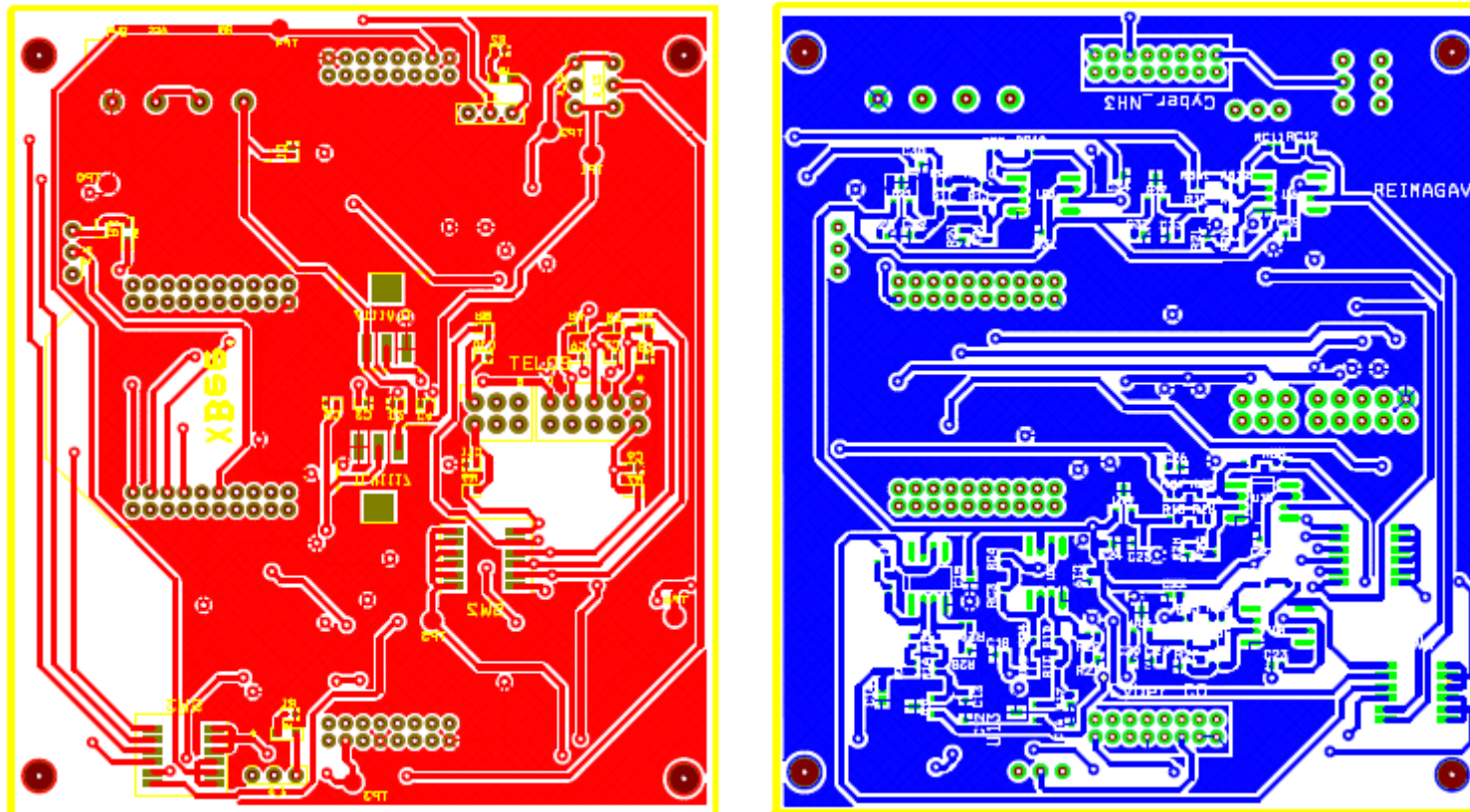


Figura 84. Layout de la tarjeta "Nodo Gases".



ANEXO D: VALORES DE TENSIÓN EN LOS TP

A modo de ejemplo se muestra como utilizar las tablas para calcular los puntos de prueba para la variable humedad. En la Figura 85 se puede ver los tres puntos correspondientes a esta variable. En el punto TP7 se ubica el voltaje de referencia, en el punto TP8 se ubica el voltaje del sensor y en el punto TP9 se ubica el voltaje de salida correspondiente a la etapa del diferenciador para la variable humedad.

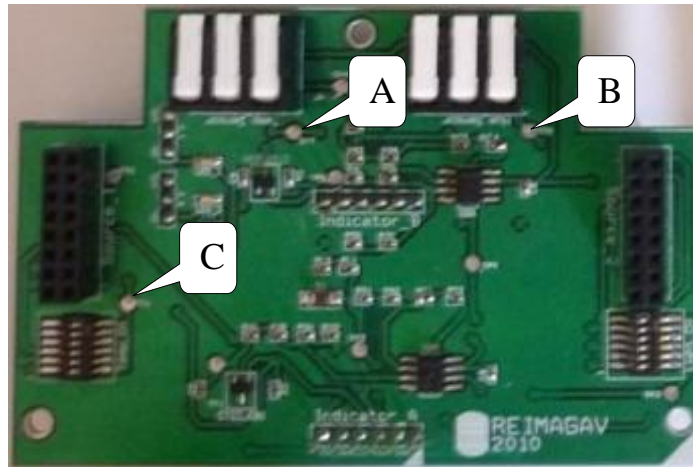


Figura 85 Puntos de prueba pertenecientes a la variable humedad

Después de identificar los tres puntos de prueba, se necesita saber en el instante en el cual se quiere hacer la lectura cuanto es la humedad relativa (para este caso se supone 65%HR) en el lugar de la prueba, con este dato se revisa la tabla 12 del Libro titulado “Implementación De La Red De Sensores Inalámbricos Para La Monitorización De Variables Físicas En Un Galpón Avícola”, en ella dice que en el TP7 debe pasar 1.25V y en la tabla 10 correspondiente a este anexo dice que a 65%HR el TP8 es de 2,857V y el TP9 es de 0,445V.

Con esta información se puede verificar si la etapa del diferenciador, etapa de alimentación y etapa de referencia correspondiente a la variable humedad están funcionando correctamente.

I. Modulo Sensores

Tabla 43. TP de la Variable Temperatura.

	TP4	TP9
TEMPERATURA	Voltaje (v)	Voltaje (v)
10	0,6	1,202084902
11	0,61	1,165277849
12	0,62	1,128470795
13	0,63	1,091663741
14	0,64	1,054856688
15	0,65	1,018049634



16	0,66	0,981242581
17	0,67	0,944435527
18	0,68	0,907628473
19	0,69	0,87082142
20	0,7	0,834014366
21	0,71	0,797207313
22	0,72	0,760400259
23	0,73	0,723593205
24	0,74	0,686786152
25	0,75	0,649979098
26	0,76	0,613172045
27	0,77	0,576364991
28	0,78	0,539557938
29	0,79	0,502750884
30	0,8	0,46594383
31	0,81	0,429136777
32	0,82	0,392329723
33	0,83	0,35552267
34	0,84	0,318715616
35	0,85	0,281908562
36	0,86	0,245101509
37	0,87	0,208294455
38	0,88	0,171487402
39	0,89	0,134680348
40	0,9	0,097873295

Tabla 44. TP de la Variable Humedad.

	TP8	TP6
<i>Humedad</i>	<i>Voltaje (v)</i>	<i>Voltaje(v)</i>
10	1,163	1,19961075
12	1,2246	1,17218882
14	1,2862	1,14476688
16	1,3478	1,11734495
18	1,4094	1,08992301
20	1,471	1,06250108
22	1,5326	1,03507914
24	1,5942	1,0076572
26	1,6558	0,98023527
28	1,7174	0,95281333



30	1,779	0,9253914
32	1,8406	0,89796946
34	1,9022	0,87054753
36	1,9638	0,84312559
38	2,0254	0,81570366
40	2,087	0,78828172
42	2,1486	0,76085978
44	2,2102	0,73343785
47	2,3026	0,69230495
49	2,3642	0,66488301
51	2,4258	0,63746108
53	2,4874	0,61003914
55	2,549	0,5826172
57	2,6106	0,55519527
59	2,6722	0,52777333
61	2,7338	0,5003514
63	2,7954	0,47292946
65	2,857	0,44550753
67	2,9186	0,41808559
69	2,9802	0,39066366
71	3,0418	0,36324172
74	3,1342	0,32210882
76	3,1958	0,29468688
78	3,2574	0,26726495
80	3,319	0,23984301
82	3,3806	0,21242108
84	3,4422	0,18499914
86	3,5038	0,1575772
88	3,5654	0,13015527
90	3,627	0,10273333

Tabla 45. TP de la Variable Intensidad Luminosa.

	TP2	TP3
Luz	Voltaje (v)	Voltaje (v)
0	0,009	1,192709419
10	0,013158	1,17086117
20	0,017316	1,149012922
30	0,021474	1,127164673
40	0,025632	1,105316425



50	0,02979	1,083468176
60	0,033948	1,061619928
70	0,038106	1,039771679
80	0,042264	1,017923431
90	0,046422	0,996075182
100	0,05058	0,974226934
110	0,054738	0,952378685
120	0,058896	0,930530437
130	0,063054	0,908682188
140	0,067212	0,88683394
150	0,07137	0,864985691
160	0,075528	0,843137443
170	0,079686	0,821289194
180	0,083844	0,799440946
190	0,088002	0,777592697
200	0,09216	0,755744449
210	0,096318	0,7338962
220	0,100476	0,712047952
230	0,104634	0,690199703
240	0,108792	0,668351455
250	0,11295	0,646503206
260	0,117108	0,624654958
270	0,121266	0,602806709
280	0,125424	0,580958461
290	0,129582	0,559110212
300	0,13374	0,537261964
310	0,137898	0,515413715
320	0,142056	0,493565467
330	0,146214	0,471717218
340	0,150372	0,44986897
350	0,15453	0,428020721
360	0,158688	0,406172473
370	0,162846	0,384324224
380	0,167004	0,362475976
390	0,171162	0,340627727
400	0,17532	0,318779479
460	0,200268	0,187689988
470	0,204426	0,165841739
480	0,208584	0,143993491



490	0,212742	0,122145242
500	0,2169	0,100296994

- **Nodo Gases**

Tabla 46. TP de la variable CO y NH₃ en el rango de 0-500 ppm.

CO y NH ₃	TP3 , TP4	TP5 , TP6
	Voltaje (v)	Voltaje (v)
0	0,8	1,193526339
10	0,864	1,171809773
20	0,928	1,150093206
30	0,992	1,128376639
40	1,056	1,106660072
50	1,12	1,084943505
60	1,184	1,063226938
70	1,248	1,041510371
80	1,312	1,019793805
90	1,376	0,998077238
100	1,44	0,976360671
110	1,504	0,954644104
120	1,568	0,932927537
130	1,632	0,91121097
140	1,696	0,889494403
150	1,76	0,867777836
160	1,824	0,84606127
170	1,888	0,824344703
180	1,952	0,802628136
190	2,016	0,780911569
200	2,08	0,759195002
210	2,144	0,737478435
220	2,208	0,715761868
230	2,272	0,694045302
240	2,336	0,672328735
250	2,4	0,650612168
260	2,464	0,628895601
270	2,528	0,607179034
280	2,592	0,585462467
290	2,656	0,5637459
300	2,72	0,542029333



310	2,784	0,520312767
320	2,848	0,4985962
330	2,912	0,476879633
340	2,976	0,455163066
350	3,04	0,433446499
360	3,104	0,411729932
370	3,168	0,390013365
380	3,232	0,368296799
390	3,296	0,346580232
400	3,36	0,324863665
460	3,744	0,194564264
470	3,808	0,172847697
480	3,872	0,15113113
490	3,936	0,129414563
500	4	0,107697996

Tabla 47. TP de la variable CO y NH3 en el rango de 0-100 ppm.

	TP3,TP4	TP5,TP6
CO y NH3	Voltaje (v)	Voltaje (v)
0	0,8	1,210809411
2	0,8128	1,188874287
4	0,8256	1,166939162
6	0,8384	1,145004038
8	0,8512	1,123068914
10	0,864	1,101133789
12	0,8768	1,079198665
14	0,8896	1,05726354
16	0,9024	1,035328416
18	0,9152	1,013393292
20	0,928	0,991458167
22	0,9408	0,969523043
24	0,9536	0,947587919
26	0,9664	0,925652794
28	0,9792	0,90371767
30	0,992	0,881782545
32	1,0048	0,859847421
34	1,0176	0,837912297
36	1,0304	0,815977172
38	1,0432	0,794042048



40	1,056	0,772106924
42	1,0688	0,750171799
44	1,0816	0,728236675
46	1,0944	0,70630155
48	1,1072	0,684366426
50	1,12	0,662431302
52	1,1328	0,640496177
54	1,1456	0,618561053
56	1,1584	0,596625929
58	1,1712	0,574690804
60	1,184	0,55275568
62	1,1968	0,530820555
64	1,2096	0,508885431
66	1,2224	0,486950307
68	1,2352	0,465015182
70	1,248	0,443080058
72	1,2608	0,421144934
74	1,2736	0,399209809
76	1,2864	0,377274685
78	1,2992	0,35533956
80	1,312	0,333404436
92	1,3888	0,20179369
94	1,4016	0,179858565
96	1,4144	0,157923441
98	1,4272	0,135988317
100	1,44	0,114053192

Tabla 48. TP de la variable CO y NH3 en el rango de 0-50 ppm.

CO y NH3	TP3,TP4	TP5,TP6
	Voltaje (v)	Voltaje (v)
0	0,8	1,188394781
1	0,8064	1,166367982
2	0,8128	1,144341183
3	0,8192	1,122314384
4	0,8256	1,100287585
5	0,832	1,078260786
6	0,8384	1,056233987
7	0,8448	1,034207188
8	0,8512	1,012180389



9	0,8576	0,99015359
10	0,864	0,968126791
11	0,8704	0,946099992
12	0,8768	0,924073193
13	0,8832	0,902046394
14	0,8896	0,880019595
15	0,896	0,857992796
16	0,9024	0,835965997
17	0,9088	0,813939198
18	0,9152	0,791912399
19	0,9216	0,7698856
20	0,928	0,747858801
21	0,9344	0,725832002
22	0,9408	0,703805203
23	0,9472	0,681778404
24	0,9536	0,659751605
25	0,96	0,637724806
26	0,9664	0,615698007
27	0,9728	0,593671208
28	0,9792	0,571644409
29	0,9856	0,54961761
30	0,992	0,527590811
31	0,9984	0,505564012
32	1,0048	0,483537213
33	1,0112	0,461510414
34	1,0176	0,439483615
35	1,024	0,417456816
36	1,0304	0,395430017
37	1,0368	0,373403218
38	1,0432	0,351376419
39	1,0496	0,32934962
40	1,056	0,307322821
46	1,0944	0,175162027
47	1,1008	0,153135228
48	1,1072	0,131108429
49	1,1136	0,10908163
50	1,12	0,087054831



ANEXO E PRUEBAS

Los nodos, 4 nodos de la fase I y 6 nodos de la fase 2 ver Figura 58, se distribuyen en un área encerrada del galpón de 12mx6m cada 2m en un área de 10mx2m y a una altura de 40 cm, ver Figura 59, un [higrómetro, un luxómetro y dos DATALOGGER], las aves de raza COBB tienen 5 días de edad.

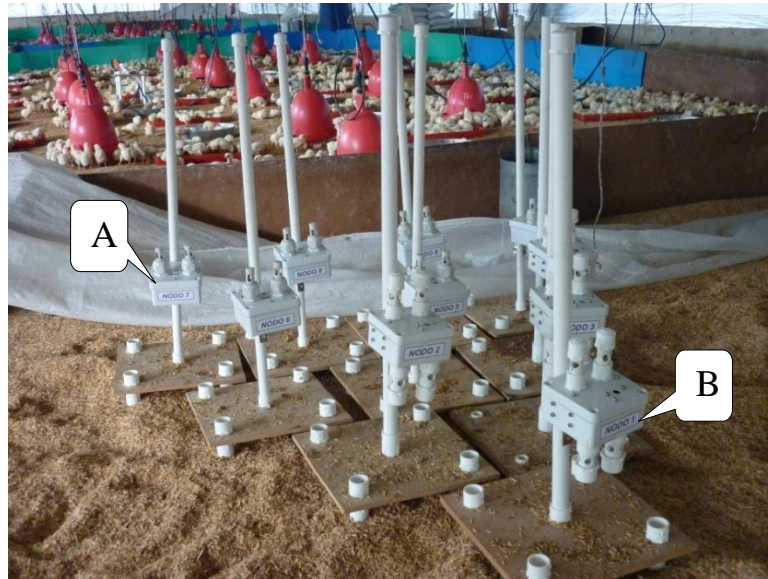


Figura 86. Disposición de los nodos en el galpón.
A) Nodos de la fase 2. B) Nodos de la fase I.

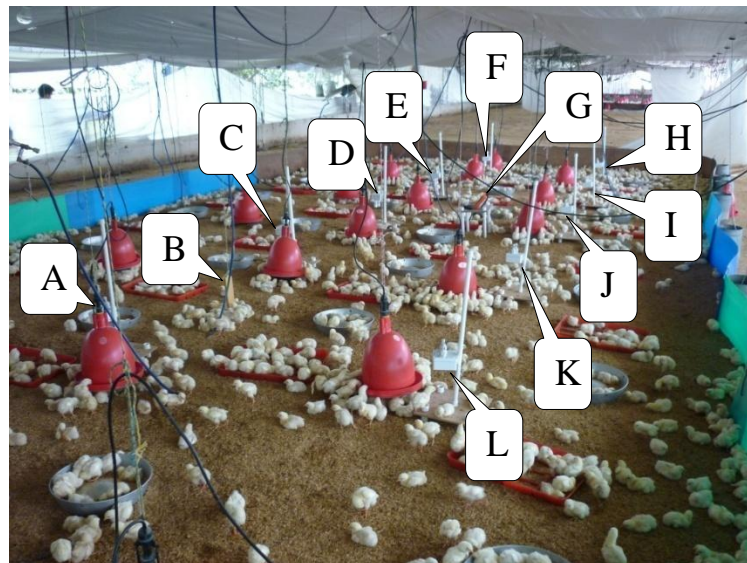


Figura 87. Nodos implementados utilizados en la prueba.
A) Nodo 1. B) Termómetro de alcohol. C) Nodo 2. D) Nodo 3. E) Nodo 4. F) Nodo 5.
G) Instrumentos de medida. H) Nodo 6. I) Nodo 7. J) Nodo 8. K) Nodo 9. L) Nodo 10.



Universidad
Industrial de
Santander

La prueba inicio a las 9:30 AM y termino a las 4:30 PM del día 13 de julio del 2010 la temperatura promedio estuvo en 26 C° y la humedad promedio fue de 81%.

Para la captura de los datos de los nodos se conectó por puerto USB un *TELOSB* el cual se utilizó para la captura de los datos enviados por los nodos y se hizo lectura de ellos utilizando el programa "Puerto" (ver sección 3.2.1). La información que arrojaba el higrómetro fue almacenada cada 10 minutos lo que permitió recolectar alrededor de 120 datos en total y por último se programaron los *DATALOGGER* para que cada 5 segundos se almacene la información de temperatura y humedad relativa.

- Graficas :

Los datos que se recolectaron en el transcurso de la prueba tanto de forma manual como por medio de la aplicación en java .fueron graficados para permitir hacer una comparación de las mediciones que arrojan los distintos equipos.



I. Temperatura

Tabla 49. Datos de temperatura obtenidos en la prueba.

<i>Hora</i>	<i>NODO 1</i>	<i>NODO 6</i>	<i>NODO 7</i>	<i>NODO 8</i>	<i>NODO 9</i>	<i>NODO 10</i>	<i>HIGRÓMETRO INTERNO</i>	<i>HIGRÓMETRO EXTERNO</i>	<i>DATALOGGER 1</i>	<i>DATALOGGER 2</i>
09:30	32	29	29	31	29	29	30	30,6	30,4	29,5
10:00	32	31	30	31	30	30	30,8	31,3	31,6	30,3
10:30	31	32	31	31	31	31	31,4	31,9	32,5	31
11:00	35	34	33	34	34	35	34,5	35,4	34,2	32,9
11:30	33	32	32	31	31	32	32,8	32,8	34,2	32,7
12:00	32	32	33	32	32	32	32,2	32,8	33,3	32,2
12:30	35	33	34	33	34	33	33,4	33,8	34,1	33,3
13:00	32	31	31	32	32	31	32,8	32,4	33,6	32,8
13:30	32	30	31	31	30	31	31,8	31,7	32,3	32,2
14:00	33	30	30	30	30	29	30,4	30,7	30,8	30,6
14:30	29	30	31	29	30	29	30,3	30,6	30,5	30,3
15:00	31	30	30	30	30	31	32,2	32,8	32,5	32
15:30	30	32	28	28	30	31	31,1	31,6	31,6	31,3
16:00	30	30	29	30	29	30	30,4	30,8	30,8	30,5
16:30	29	29	28	29	28	29	28,9	29,1	29,8	29,2

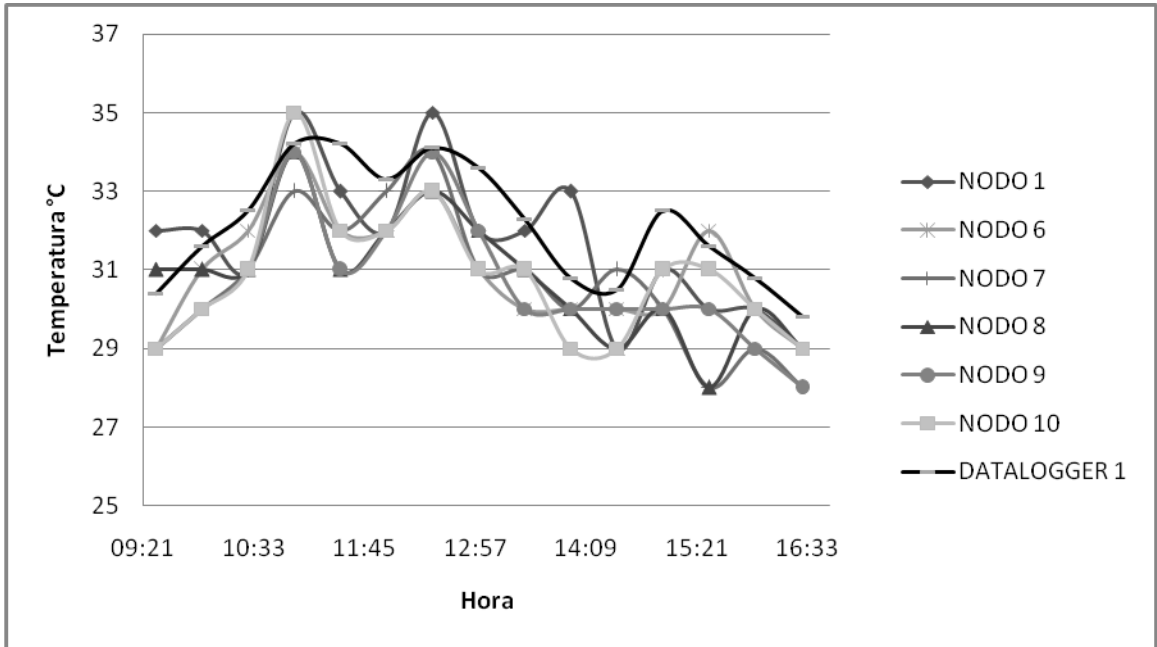


Figura 88 Nodos vs DATALOGGER 1

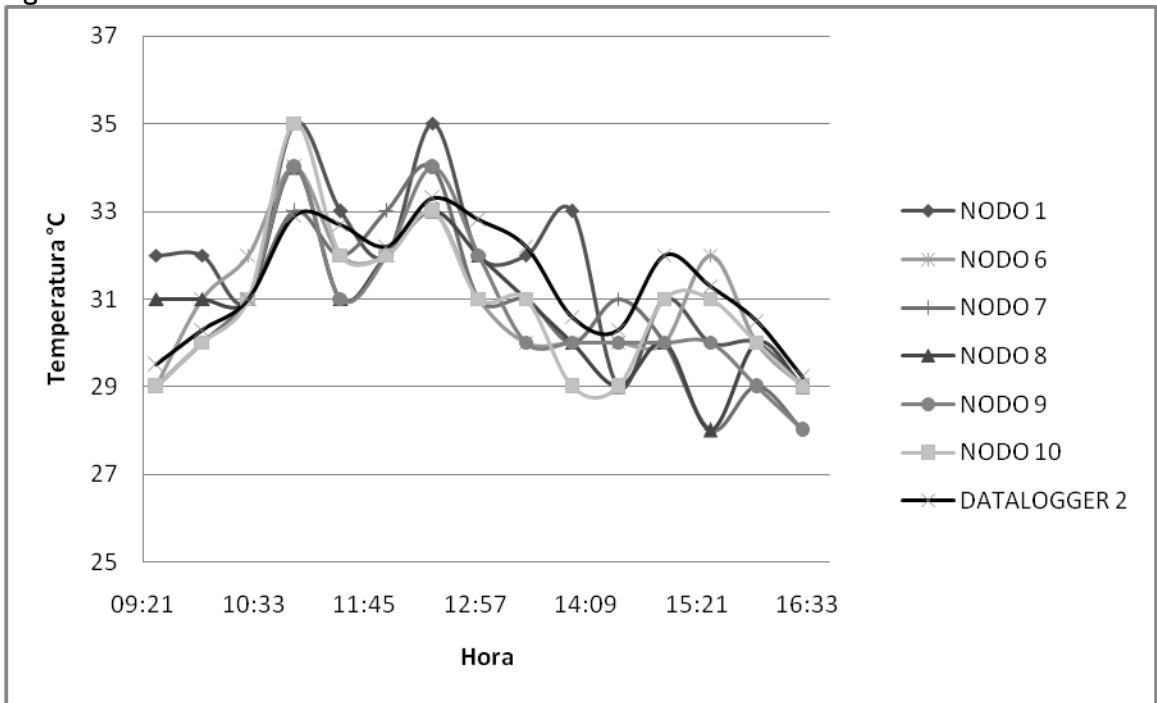


Figura 89. Nodos vs DATALOGGER 2.

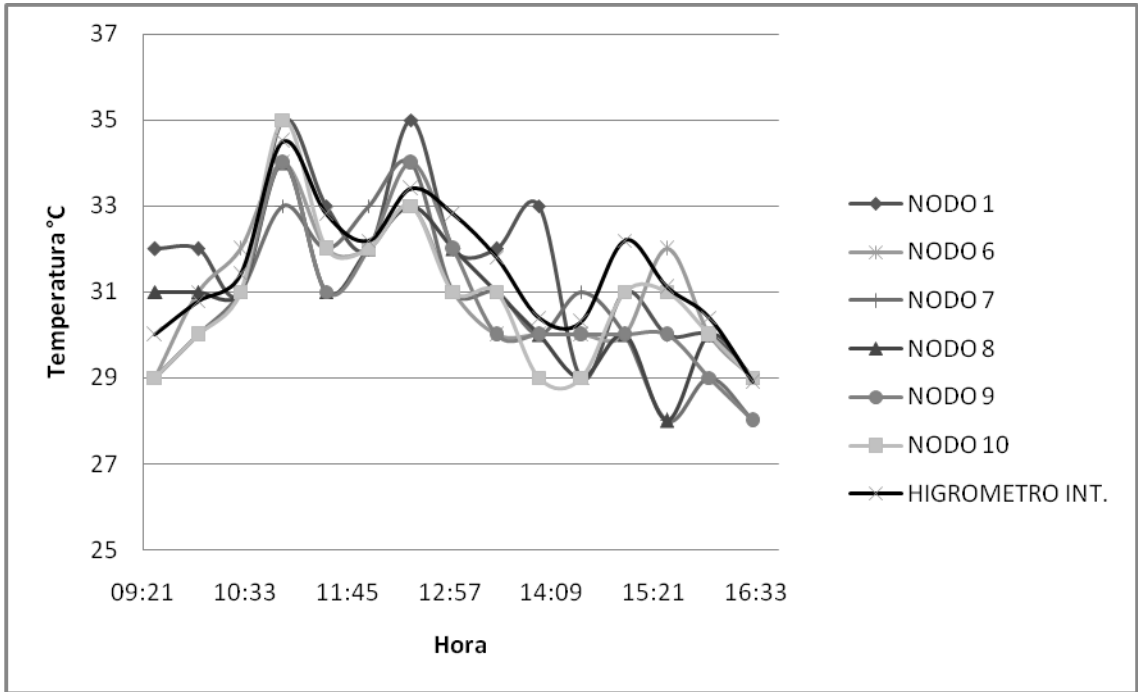


Figura 90. Nodos vs Higrómetro (Sensor Interno).

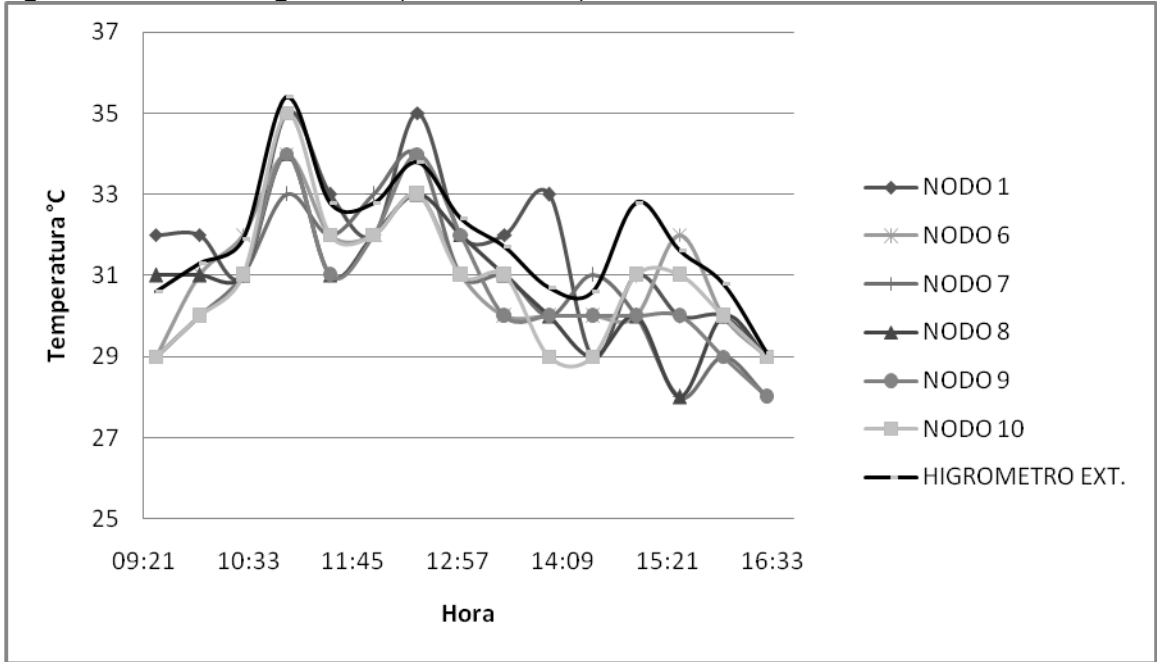


Figura 91. Nodos vs Higrómetro (Sensor Externo).



- **Humedad**

Tabla 50. Datos de humedad obtenidos en la prueba

<i>Hora</i>	<i>NODO 1</i>	<i>NODO 6</i>	<i>NODO 7</i>	<i>NODO 8</i>	<i>NODO 9</i>	<i>NODO 10</i>	<i>HIGRÓMETRO INTERNO</i>	<i>HIGRÓMETRO EXTERNO</i>	<i>DATALOGGER 1</i>	<i>DATALOGGER 2</i>
09:30	66	64	66	63	64	68	65	62	62	63,3
10:00	60	60	57	62	64	59	60	59	59	63,7
10:30	58	59	59	58	54	59	58	57,7	57,7	63
11:00	55	53	55	57	60	53	53	55,8	55,8	62,4
11:30	49	49	52	52	52	50	51	52,7	52,7	57,7
12:00	48	49	50	54	49	52	50	52,9	52,9	57,1
12:30	50	50	52	54	44	47	49	53,1	53,1	56,8
13:00	47	52	52	54	46	49	50	53,3	53,3	56,7
13:30	51	49	54	54	46	49	49	53,7	53,7	54,9
14:00	52	55	54	55	53	57	55	59,4	59,4	59,4
14:30	56	56	57	55	51	59	56	61,1	61,1	60,4
15:00	51	58	58	59	50	53	53	56,7	56,7	58,3
15:30	56	58	60	56	54	56	54	60,2	60,2	59,3
16:00	58	62	57	60	57	57	57	60,7	60,7	60,5
16:30	58	65	59	65	57	61	61	64,5	64,5	63,8

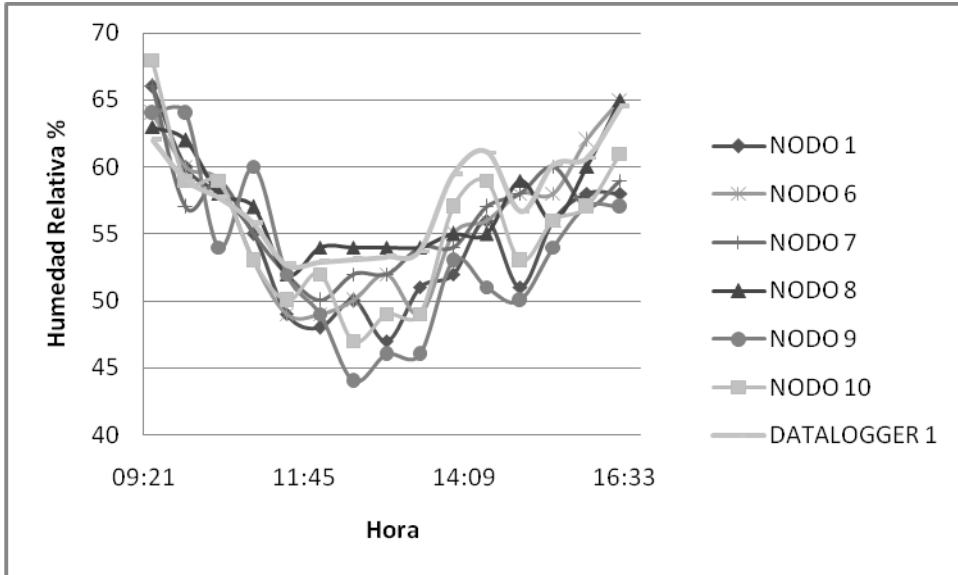


Figura 92. Nodos vs DATALOGGER 1.



Figura 93. Nodos vs DATALOGGER 2.

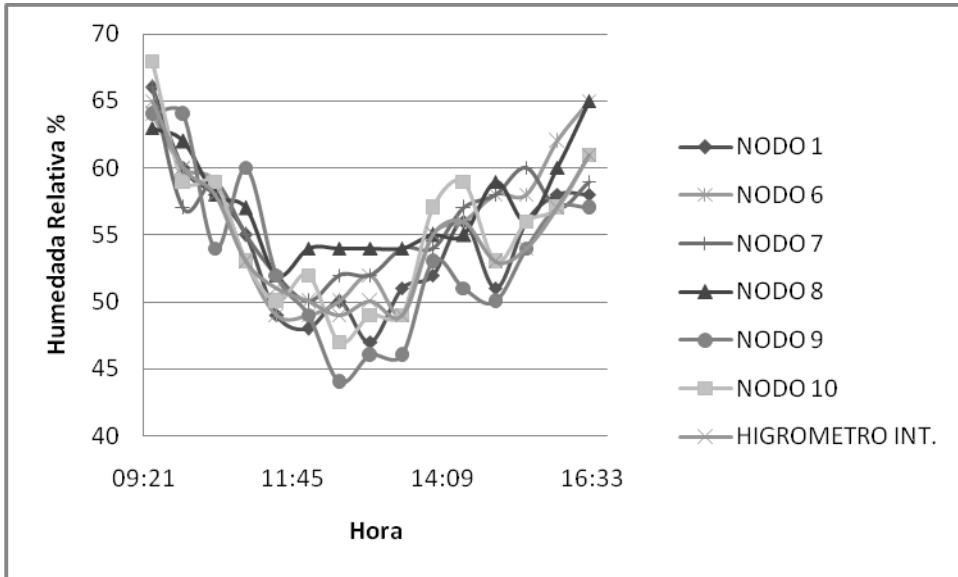


Figura 94. Nodos vs Higrómetro (Sensor Interno).

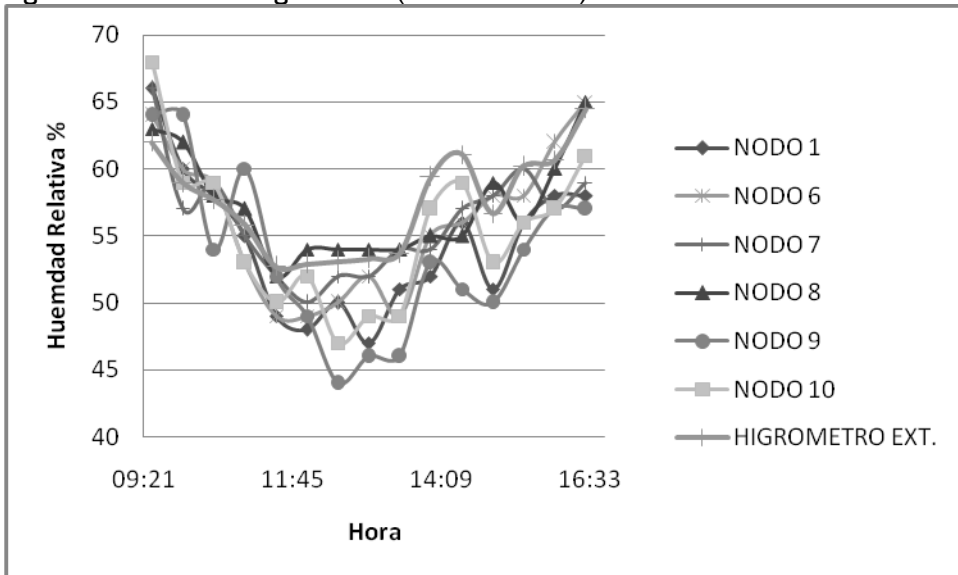


Figura 95. Nodos vs Higrómetro (Sensor Externo).



• Nivel de Luz

Tabla 51. Datos de luz obtenidos de la prueba.

Hora	NODO 1	NODO 6	NODO 7	NODO 8	NODO 9	NODO 10	LUXÓMETRO
09:30	64	22	169	160	95	118	95
10:00	34	30	52	120	110	60	85
10:30	57	137	101	150	114	94	95,2
11:00	131	136	87	220	132	181	156
11:30	72	146	112	184	156	103	156
12:00	99	160	100	160	123	119	158,7
12:30	110	180	155	153	123	186	179,6
13:00	81	120	130	147	120	161	115,2
13:30	77	110	136	173	153	207	169,8
14:00	281	210	257	120	146	145	131,7
14:30	71	120	150	135	167	203	122,1
15:00	77	169	140	215	249	269	202,7
15:30	71	156	120	187	154	178	176,6
16:00	102	112	111	168	183	141	120
16:30	73	64,5	83	93	170	62	57,2

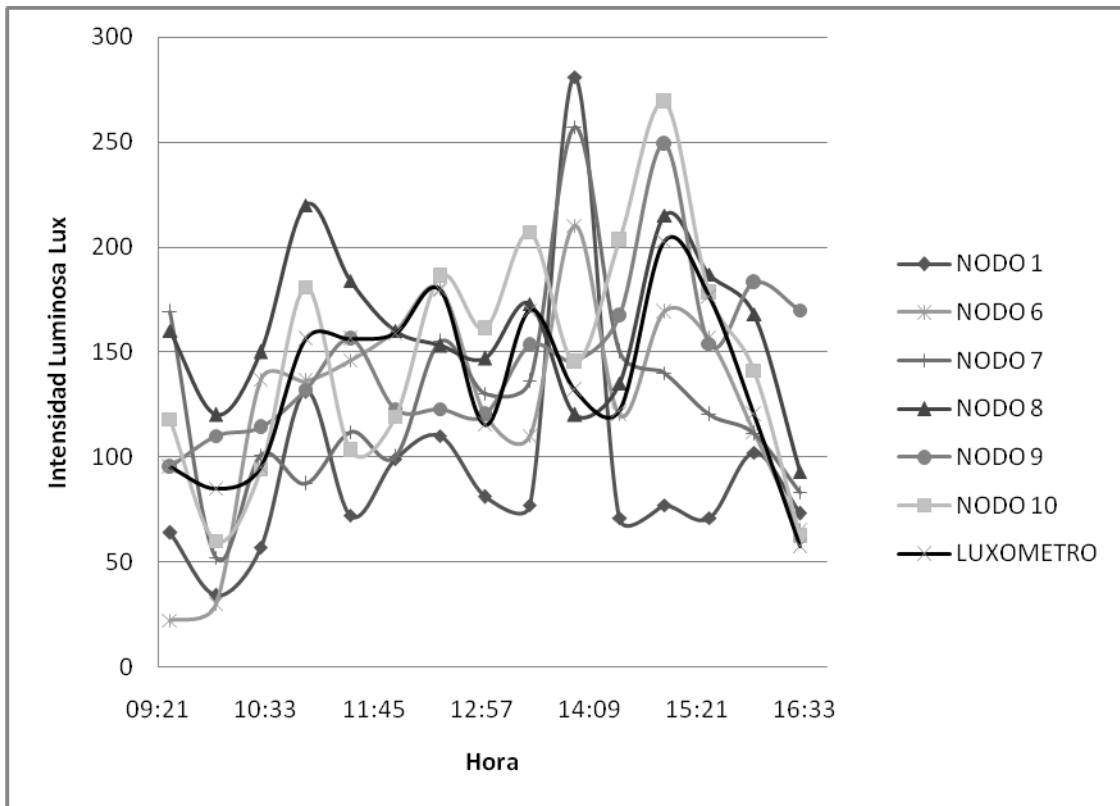


Figura 96. Nodos vs Luxómetro.



ANEXO E: PROGRAMAS DESARROLLADOS

1. DSM2: este programa esta compuesto por tres archivos. DSMC.h, DSMC.nc y Makefile

DSMC.h

```
/*
 * Copyright (c) 2006 Moteiv Corporation
 * All rights reserved.
 *
 * This file is distributed under the terms in the attached MOTEIV-LICENSE
 * file. If you do not find these files, copies can be found at
 * http://www.moteiv.com/MOTEIV-LICENSE.txt and by emailing info@moteiv.com.
 */

#include "DSM.h"

configuration DSMC {
}
implementation {
  components Main
    , MultiHop
    , DSMM
    , TimerC
    , LedsC
    , InternalTempC
    , InternalVoltageC
    , ADCC
  ;

  Main.StdControl -> MultiHop;
  Main.StdControl -> TimerC;
  Main.StdControl -> InternalTempC;
  Main.StdControl -> InternalVoltageC;
  Main.StdControl -> DSMM;

  // muestra periodica de un sensor
  DSMM.Timer    -> TimerC.Timer[unique("Timer")];
  DSMM.TimerBlink -> TimerC.Timer[unique("Timer")];
  DSMM.TempADC   -> InternalTempC;
  DSMM.VoltageADC -> InternalVoltageC;

  // Enviar mensaje de datos
  DSMM.SendDSMMsg -> MultiHop.Send[AM_DSMMMSG];
```



```
// monitor de trafico e la transmision
DSMM.SnoopDSMMsg -> MultiHop.Intercept[AM_DSMMMSG];

// Obtener estadistica sobre la operacion actual
// DSMM.RouteControl -> multihop;
// DSMM.RouteStatistics -> multihop;
DSMM.ADCCControlSM -> ADCC;
DSMM.XADC0 -> ADCC.ADC[TOS_ADC_ADC0_PORT];
DSMM.XADC1 -> ADCC.ADC[TOS_ADC_ADC1_PORT];
DSMM.XADC2 -> ADCC.ADC[TOS_ADC_ADC2_PORT];
DSMM.XADC3 -> ADCC.ADC[TOS_ADC_ADC3_PORT];
DSMM.XADC6 -> ADCC.ADC[TOS_ADC_ADC6_PORT];
DSMM.XADC7 -> ADCC.ADC[TOS_ADC_ADC7_PORT];

// pretty LEDs
DSMM.Leds -> LedsC;
}

DSMC.nc
/*
 * Copyright (c) 2006 Moteiv Corporation
 * All rights reserved.
 *
 * This file is distributed under the terms in the attached MOTEIV-LICENSE
 * file. If you do not find these files, copies can be found at
 * http://www.moteiv.com/MOTEIV-LICENSE.txt and by emailing info@moteiv.com.
 */

#include "DSM.h"
#include "circularQueue.h"

/**
 * Implementation of the Delta application as described by the Delta
 * configuration.
 *
 * @author Joe Polastre, Moteiv Corporation <info@moteiv.com>
 */
module DSMM {
  provides {
    interface StdControl;
  }
  uses {
    interface Send as SendDSMMsg;
    interface Intercept as SnoopDSMMsg;
  }
}
```



```
interface ADC      as TempADC;
interface ADC      as VoltageADC;
interface ADC      as XADC0;
interface ADC      as XADC1;
interface ADC      as XADC2;
interface ADC      as XADC3;
interface ADC      as XADC6;
interface ADC      as XADC7;
interface ADCControl as ADCControlSM;
interface Timer;
interface Timer    as TimerBlink;
interface Leds;
}
}
implementation {

    /***** VARIABLES *****/

    uint16_t m_adc_inTemp;
    uint16_t m_adc_inVoltage;
    uint16_t m_xadc0;
    uint16_t m_xadc1;
    uint16_t m_xadc2;
    uint16_t m_xadc3;
    uint16_t m_xadc6;
    uint16_t m_xadc7;
    uint32_t m_seqno;
    TOS_Msg msg[DSM_QUEUE_SIZE];
    CircularQueue_t queue;

    /***** HELPER FUNCTIONS *****/

    task void sendData() {
        uint16_t _length;
        int i;

        // uint16_t neighbors[MHOP_PARENT_SIZE];
        // uint16_t quality[MHOP_PARENT_SIZE];

        if (cqueue_pushBack( &queue ) == SUCCESS) {
            DSMMsg* dmsg = (DSMMsg*)call SendDSMMsg.getBuffer(&msg[queue.back],
            &_length);

            atomic dmsg->readingTemp  = m_adc_inTemp;
        }
    }
}
```



```
atomic dmsg->readingVoltage = m_adc_inVoltage;
atomic dmsg->readingXADC0 = m_xadc0;
atomic dmsg->readingXADC1 = m_xadc1;
atomic dmsg->readingXADC2 = m_xadc2;
atomic dmsg->readingXADC3 = m_xadc3;
atomic dmsg->readingXADC6 = m_xadc6;
atomic dmsg->readingXADC7 = m_xadc7;

dmsg ->seqno = m_seqno;

if(call SendDSMMsg.send(&dmsg[queue.back], sizeof(DSMMsg))
    == SUCCESS) {call Leds.redOn();}
else {cqueue_popBack( &queue);}
}
m_seqno++;
}

void blinkBlue() {
    call Leds.yellowOn();
    call TimerBlink.start(TIMER_ONE_SHOT, 20);
}

/***** STD CONTROL *****/

command result_t StdControl.init() {

    result_t init_ok;
    cqueue_init( &queue, DSM_QUEUE_SIZE );
    init_ok = call ADCControlSM.init();

    // puertos de enlace a canales ADC

    call ADCControlSM.bindPort(TOS_ADC_ADC0_PORT,
TOSH_ACTUAL_ADC_ADC0_PORT);
    call ADCControlSM.bindPort(TOS_ADC_ADC1_PORT,
TOSH_ACTUAL_ADC_ADC1_PORT);
    call ADCControlSM.bindPort(TOS_ADC_ADC2_PORT,
TOSH_ACTUAL_ADC_ADC2_PORT);
    call ADCControlSM.bindPort(TOS_ADC_ADC3_PORT,
TOSH_ACTUAL_ADC_ADC3_PORT);
    call ADCControlSM.bindPort(TOS_ADC_ADC6_PORT,
TOSH_ACTUAL_ADC_ADC6_PORT);
    call ADCControlSM.bindPort(TOS_ADC_ADC7_PORT,
TOSH_ACTUAL_ADC_ADC7_PORT);
```



```
return SUCCESS;
}

command result_t StdControl.start() {
call Timer.start( TIMER_REPEAT, DSM_TIME );
return SUCCESS;
}

command result_t StdControl.stop() {
return SUCCESS;
}

/***** TIMER *****/

event result_t Timer.fired() {
call XADC0.getData();
return SUCCESS;
}

event result_t TimerBlink.fired() {
call Leds.yellowOff();
return SUCCESS;
}

/***** ADC *****/

async event result_t XADC0.dataReady(uint16_t data) {
atomic m_xadc0 = data;
call XADC1.getData();
return SUCCESS;
}

async event result_t XADC1.dataReady(uint16_t data) {
atomic m_xadc1 = data;
call XADC2.getData();
return SUCCESS;
}

async event result_t XADC2.dataReady(uint16_t data) {
atomic m_xadc2 = data;
call XADC3.getData();
return SUCCESS;
}
}
```



```
async event result_t XADC3.dataReady(uint16_t data) {
    atomic m_xadc3 = data;
    call XADC6.getData();
    return SUCCESS;
}

async event result_t XADC6.dataReady(uint16_t data) {
    atomic m_xadc6 = data;
    call XADC7.getData();
    return SUCCESS;
}

async event result_t XADC7.dataReady(uint16_t data) {
    atomic m_xadc7 = data;
    call VoltageADC.getData();
    return SUCCESS;
}

async event result_t VoltageADC.dataReady(uint16_t data) {
    m_adc_inVoltage = data;
    call TempADC.getData();
    return SUCCESS;
}

async event result_t TempADC.dataReady(uint16_t data) {
    m_adc_inTemp = data;
    post sendData();
    return SUCCESS;
}

/***** SEND *****/
event result_t SendDSMMsg.sendDone(TOS_MsgPtr _msg, result_t _success) {
    cqueue_popFront( &queue );
    if (cqueue_isEmpty( &queue )) {
        call Leds.redOff();
    }
    return SUCCESS;
}

/***** SEND *****/
event result_t SnoopDSMMsg.intercept(TOS_MsgPtr _msg, void* payload, uint16_t
payloadLen) {
    blinkBlue();
    return SUCCESS;
}
```



Universidad
Industrial de
Santander

```
}  
}
```

MaKefile

```
VALID_PLATFORMS = t telos telosa telosb tmote tmoteinvent  
VALID_TARGETS = $(VALID_PLATFORMS) clean help  
ifeq ($(filter $(VALID_TARGETS),$(MAKECMDGOALS)),)  
$(error ERROR: Invalid platform! Valid platforms: $(VALID_PLATFORMS))  
endif  
  
MOTEIV_DIR ?= ../../  
COMP = $(if $(filter-out tmoteinvent,$(PLATFORM)),TmoteSky,TmoteInvent)  
  
COMPONENT = DSMC  
  
ifeq ($(filter lowpower,$(MAKECMDGOALS)),lowpower)  
IDENT_PROGRAM_NAME = DSMLowpower  
endif  
  
CFLAGS += -DTOSH_DATA_LENGTH=40 -DMHOP_DEFAULT_QUEUE_SIZE=50  
  
include $(MAKERULES)  
  
    • Programa Puerto  
  
// PROGRAMA PUERTO  
// Autores:Jacqueline Sanchez Mesa  
// Oscar Mauricio Rueda Tristancho  
// Fecha:Agosto 2010  
  
package puerto;  
import java.io.FileNotFoundException;  
import java.io.FileOutputStream;  
import java.io.IOException;  
import java.io.InputStream;  
import java.io.PrintWriter;  
import java.util.Calendar;  
import java.util.Enumeration;  
import java.util.GregorianCalendar;  
import librerias.*;  
//import java.util.logging.Level;
```



```
//import java.util.logging.Logger;
import javax.comm.*;
//import javax.swing.JOptionPane;

/**
 *
 * @author CPS
 */
public class Main implements SerialPortEventListener{
int hora, minutos, segundos;
static Conex objConexion=new Conex();
String dia, mes, año;
String fechacompleta,horacompleta=new String();
static Enumeration listaDePuertos;
static CommPortIdentifier idPuertos;
static SerialPort puerto;
static InputStream flujoEntrada;
byte [] datos = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
                 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
                 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
                 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
                 0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ;

int [] datos2 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
                0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
                0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
                0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,
                0,0,0,0,0,0,0,0,0,0};

double [] TEM1 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ,HUM1 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ,LUZ1 =
{0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ;
double [] TEM2 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} , HUM2 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},LUZ2 =
{0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ;
double [] TEM3 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} , HUM3 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},LUZ3 =
{0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ;
double [] TEM4 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ,HUM4 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ,LUZ4 =
{0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ;
double [] TEM5 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ,HUM5 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ,LUZ5 =
{0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ;
double [] TEM6 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ,HUM6 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ,LUZ6 =
{0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ;
double [] TEM7 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} , HUM7 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ,LUZ7 =
{0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ;
double [] TEM8 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ,HUM8 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ,LUZ8 =
{0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ;
```



```
double [] TEM9 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ,HUM9 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},LUZ9 =
{0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ;
double [] TEM10 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0}, HUM10 = {0,0,0,0,0,0,0,0,0,0},LUZ10 =
{0,0,0,0,0,0,0,0,0,0} ;
double dato_Vtelos=0;
double datocanal_0=0,datocanal_1=0;
double
datocanal_2=0,datocanal_3=0,datocanal_4=0,datocanal_5=0,datocanal_6=0,datocanal_7=0
;
double temp=0,Hum=0,Hum1=0,Hum2=0,Hum28=0,luz=0,CO=0,NH3=0;
int con1 = 0,con2 = 0,con3 = 0,con4 = 0,con5 = 0,con6 = 0,con7 = 0;
int con8 = 0,con9 = 0,con10 =0,ok=0,tramaok=0,muestra=0;
String datosHexa=null,trama=null;
float rssi=40;
PrintWriter archivo;
```

```
public void serialEvent (SerialPortEvent e)
{
    switch (e.getEventType())
    {
        case SerialPortEvent.DATA_AVAILABLE:
            try
            {
                flujoEntrada.read(datos, 0, 47); // tamaño de trama
                int print=1;
                for ( int i=0; i<48; i++)
                {
                    datos2[i] = datos[i];
                    if (datos2[i]<0)
                        datos2[i] = datos2[i] + 256;
                    if(i==0){
                        if (datos2[0]==126)
                            datosHexa =datos2[i]+" "; // para quitar null
                        else { i=48;
                            print=0 ;}
                    }
                    else if (i==1)
                        { if (datos2[1]==66)
                            datosHexa=datosHexa+datos2[i]+" ";
                        }
                    else {i=48;
                        print=0; }
                }
                else if (i==2)
                    { if (datos2[2]==30)
                        datosHexa=datosHexa+datos2[i]+" ";
                    }
            }
        }
    }
}
```



```
        else {i=48;
              print=0; }
    }
    else if (i==3)
    { if (datos2[3]==1)
      datosHexa=datosHexa+datos2[i]+" ";
      else {i=48;
            print=0; }
    }
    else if (i==4)
    { if (datos2[4]==8)
      datosHexa=datosHexa+datos2[i]+" ";
    else {i=48;
          print=0; }
    }
    else if (i==6)
    { if (datos2[6]==255)
      datosHexa=datosHexa+datos2[i]+" ";
    else {i=48;
          print=0; }
    }
    else if (i==7)
    { if (datos2[7]==255)
      datosHexa=datosHexa+datos2[i]+" ";
    else {i=48;
          print=0;}
    }
    else if (i==8)
    { if (datos2[8]==255)
      datosHexa=datosHexa+datos2[i]+" ";
    else {i=48;
          print=0; }
    }

    else if (i==9)
    {
      if (datos2[9]==255)
        datosHexa=datosHexa+datos2[i]+" ";
    else {i=48;
          print=0; }
    }
    else if (i==10)
    { if (datos2[10]==8)
      datosHexa=datosHexa+datos2[i]+" ";
      else {i=48;
```



```
        print=0; }
    }
    else if (i==11)
    { if (datos2[11]==125)
        datosHexa=datosHexa+datos2[i]+" ";
    else {i=48;
        print=0; }
    }
    else if (i==12)
    { if (datos2[12]==93)
        datosHexa=datosHexa+datos2[i]+" ";
    else {i=48;
        print=0; }
    }
    else if (i==21)
    { if (datos2[21]==252)
        datosHexa=datosHexa+datos2[i]+" ";
    else {i=48;
        print=0;
        }
    }
    else if (i==22)
    { if (datos2[22]==33)
        datosHexa=datosHexa+datos2[i]+" ";
    else {i=48;
        print=0; }
    }
    else
        datosHexa=datosHexa+datos2[i]+" ";
    }
    if (print ==1 ){
        if ( datosHexa != null){
            System.out.println("datos =" + datosHexa);
            System.out.println("datosADC =" + datos2 [30]+" "+datos2[29]+" "+ datos2 [32]+"
            "+datos2[31]+" "+datos2[34]+" "+datos2 [33]+" "+datos2[36]+" "+datos2[35]+"
            "+datos2 [38]+" "+datos2[37]+" "+datos2 [40]+" "+datos2[39]+" "+datos2 [42]+"
            "+datos2[41]);

            String Vtelos_2 = (Integer.toBinaryString(datos2[30]));
            String Vtelos_1 = (Integer.toBinaryString(datos2[29]));
            int longitud_Vtelos_1 = Vtelos_1.length();//longitud del 1 byte del ADC0

            // se completa el byte para concatenar adecuadamente
            While(longitud_Vtelos_1 < 8) {
                Vtelos_1 ="0"+ Vtelos_1;
```



```
longitud_Vtelos_1=longitud_Vtelos_1+1;}
```

```
String ADC0_2 = (Integer.toBinaryString(datos2[32]));
```

```
String ADC0_1 = (Integer.toBinaryString(datos2[31]));
```

```
int longitud_ADC0_1 = ADC0_1.length();// longitud del 1 byte del ADC0
```

```
while(longitud_ADC0_1 < 8) { // se completa el byte para concatenar
```

```
ADC0_1 =("0"+ ADC0_1);
```

```
longitud_ADC0_1=longitud_ADC0_1+1;
```

```
}
```

```
String ADC1_2 = (Integer.toBinaryString(datos2[34]));
```

```
String ADC1_1 = (Integer.toBinaryString(datos2[33]));
```

```
int longitud_ADC1_1 = ADC1_1.length();
```

```
while(longitud_ADC1_1 < 8) {ADC1_1 =("0"+ ADC1_1);
```

```
longitud_ADC1_1=longitud_ADC1_1+1;
```

```
}
```

```
String ADC2_2 = (Integer.toBinaryString(datos2[36]));
```

```
String ADC2_1 = ( Integer.toBinaryString(datos2[35]));
```

```
int longitud_ADC2_1 = ADC2_1.length();
```

```
while(longitud_ADC2_1 < 8) { ADC2_1 =("0"+ ADC2_1);
```

```
longitud_ADC2_1=longitud_ADC2_1+1;
```

```
}
```

```
String ADC3_2 = (Integer.toBinaryString(datos2[38]));
```

```
String ADC3_1 = (Integer.toBinaryString(datos2[37]));
```

```
int longitud_ADC3_1 = ADC3_1.length();
```

```
while(longitud_ADC3_1 < 8) {ADC3_1 =("0"+ ADC3_1);
```

```
longitud_ADC3_1=longitud_ADC3_1+1;
```

```
}
```

```
String ADC6_2 = (Integer.toBinaryString(datos2[40]));
```

```
String ADC6_1 = (Integer.toBinaryString(datos2[39]));
```

```
int longitud_ADC6_1 = ADC6_1.length();
```

```
while(longitud_ADC6_1 < 8) {ADC6_1 =("0"+ ADC6_1);
```

```
longitud_ADC6_1=longitud_ADC6_1+1;
```

```
}
```

```
String ADC7_2 = (Integer.toBinaryString(datos2[42]));
```

```
String ADC7_1 = (Integer.toBinaryString(datos2[41]));
```

```
int longitud_ADC7_1 = ADC7_1.length();
```

```
while(longitud_ADC7_1 < 8) {ADC7_1 =("0"+ ADC7_1);
```

```
longitud_ADC7_1=longitud_ADC7_1+1;
```

```
}
```

```
String Vtelos_binary = (Vtelos_2+Vtelos_1);
```

```
String ADC0_binary = (ADC0_2+ADC0_1); //concatenar
```



```
String ADC1_binary = (ADC1_2+ADC1_1);  
String ADC2_binary = (ADC2_2+ADC2_1);  
String ADC3_binary = (ADC3_2+ADC3_1);  
String ADC6_binary = (ADC6_2+ADC6_1);  
String ADC7_binary = (ADC7_2+ADC7_1);
```

```
double Vtelos_int =Integer.parseInt(Vtelos_binary,2);  
double ADC0_int =Integer.parseInt(ADC0_binary,2);//pasar de  
double ADC1_int =Integer.parseInt(ADC1_binary,2);// String a  
double ADC2_int =Integer.parseInt(ADC2_binary,2);// double  
double ADC3_int =Integer.parseInt(ADC3_binary,2);  
double ADC6_int =Integer.parseInt(ADC6_binary,2);  
double ADC7_int =Integer.parseInt(ADC7_binary,2);
```

```
//Pasando datos a mili voltios
```

```
if (datos2[13]==5 ||datos2[13]==6 ||datos2[13]==7 ||datos2[13]==8  
||datos2[13]==9||datos2[13]==10)
```

```
{ dato_Vtelos = (Vtelos_int /(4095) )*2500;  
  datocanal_0 = (ADC0_int /(4095) )*2500;  
  datocanal_1 = (ADC1_int /(4095) )*2500;  
  datocanal_2 = (ADC2_int /(4095) )*2500;  
  datocanal_3 = (ADC3_int /(4095) )*2500;  
  datocanal_6 = (ADC6_int /(4095) )*2500;  
  datocanal_7 = (ADC7_int /(4095) )*2500;  
}
```

```
else { dato_Vtelos = (Vtelos_int /(4095))*3300;  
  datocanal_0 = (ADC0_int /(4095) )*3300;  
  datocanal_1 = (ADC1_int /(4095) )*3300;  
  datocanal_2 = (ADC2_int /(4095) )*3300;  
  datocanal_3 = (ADC3_int /(4095) )*3300;  
  datocanal_6 = (ADC6_int /(4095) )*3300;  
  datocanal_7 = (ADC7_int /(4095) )*3300;  
}
```

```
// valores en milivoltios de cada canal
```

```
System.out.println("Vinterno ="+"("+datos2[13]+")"+ dato_Vtelos+"mV");
```

```
System.out.println("canal_0(TEMPERATURA) ="+"("+datos2[13]+")"+  
datocanal_0+"mV");
```

```
System.out.println("canal_1(NH3)="+"("+datos2[13]+")"+ datocanal_1+"mV");
```

```
System.out.println("canal_2(CO) ="+"("+datos2[13]+")"+ datocanal_2+"mV");
```

```
System.out.println("canal6(HUMEDAD)="+"("+datos2[13]+")"+ datocanal_6+"mV");
```

```
System.out.println("canal7(LUZ)="+"("+datos2[13]+")"+ datocanal_7+"mV");
```

```
// valores en unidades reales de cada nodo
```



```
if (datos2[13]==1){
temp=((datocanal_0/1000)-1.5145)/(-0.0275)-1;
Hum=(datocanal_6/1000-1.2683)/-0.0102+5;//0.026h+0.904 //
Hum1=(datocanal_6/1000-1.2185)/- 0.0086;//vsen=0.022h+1.031//
Hum2=(datocanal_6/1000-1.2185)/-0.0082;//vsen=0.021h+1.031
luz=((datocanal_7/1000-1.1941)/-0.0002365)/24-50;
    }

else {
temp=(datocanal_0/1000)*-27.1687+41.9178;//nodo nuevo
Hum2=(datocanal_6/1000)*(-72.7536)+97.2513;
Hum28=(datocanal_1/1000)*(-72.7536)+97.2513;
luz=545.8956-(datocanal_7/1000)*457.6938;
CO=109.1580-89.8734*(datocanal_2/1000); // rango de 0-100 ppm
NH3=53.9522-45.3992*(datocanal_1/1000); //rang0 0-50 ppm
}
if (temp>0 && Hum2>0 && Hum2<100 && temp<50 )
{
if (datos2[13]==1)
{TEM1[con1]=temp;
HUM1[con1]=Hum2;
LUZ1[con1]=luz;
con1=con1+1;
}
else if (datos2[13]==2)
{TEM2[con2]=temp;
HUM2[con2]=Hum2;
LUZ2[con2]=luz;
con2=con2+1;
}
else if (datos2[13]==3)
{TEM3[con3]=temp;
HUM3[con3]=Hum2;
LUZ3[con3]=luz;
con3=con3+1;
}
else if (datos2[13]==4)
{TEM4[con4]=temp;
HUM4[con4]=Hum2;
LUZ4[con4]=luz;
con4=con4+1;
}
else if (datos2[13]==5)
{TEM5[con5]=temp;
HUM5[con5]=Hum2;
LUZ5[con5]=luz;
```



```
        con5=con5+1;
    }
    else if (datos2[13]==6)
    { TEM6[con6]=temp;
      HUM6[con6]=Hum2;
      LUZ6[con6]=luz;
      con6=con6+1;
    }
    else if (datos2[13]==7)
    { TEM7[con7]=temp;
      HUM7[con7]=Hum2;
      LUZ7[con7]=luz;
      con7=con7+1;
    }
    else if (datos2[13]==8)
    { TEM8[con8]=temp;
      HUM8[con8]=Hum28;
      LUZ8[con8]=luz;
      con8=con8+1;
    }
    else if (datos2[13]==9)
    { TEM9[con9]=temp;
      HUM9[con9]=Hum2;
      LUZ9[con9]=luz;
      con9=con9+1;
    } else if (datos2[13]==10)
    { TEM10[con10]=temp;
      HUM10[con10]=Hum2;
      LUZ10[con10]=luz;
      con10=con10+1;
    }
    else
    { //escribir error
    }
    }
    if( con1==5) // promedio que se hace es de 3
    { temp=0;
      Hum2=0;
      luz=0;
    for (con1=0;con1<6;con1++)
    { temp=TEM1[con1]+temp;
      Hum2=HUM1[con1]+Hum2;
      luz=LUZ1[con1]+luz;
    }
    temp=temp/5;
```



```
Hum2=Hum2/5;
luz=luz/5;
if (luz<0)
{luz=-luz;}
System.out.println("TEMPERATURA="+(""+datos2[13]+")"+ temp+ "C");
System.out.println("Humedad2="+(""+datos2[13]+")"+ Hum2+ "%HR");
System.out.println("LUZ="+(""+datos2[13]+")"+ luz+"Lux");
con1=0;
ok=1;
}
else if( con2==5)
{ temp=0;
Hum2=0;
luz=0;
for (con2=0;con2<6;con2++)
{temp=TEM2[con2]+temp;
Hum2=HUM2[con2]+Hum2;
luz=LUZ2[con2]+luz;
}
temp=temp/5;
Hum2=Hum2/5;
luz=luz/5;
if (luz<0)
{luz=-luz;}
System.out.println("TEMPERATURA="+(""+datos2[13]+")"+ temp+ "C");
System.out.println("Humedad2="+(""+datos2[13]+")"+ Hum2+ "%HR");
System.out.println("LUZ="+(""+datos2[13]+")"+ luz+"Lux");
con2=0;
ok=1;}
else if( con3==5)
{ temp=0;
Hum2=0;
luz=0;
for (con3=0;con3<6;con3++)
{temp=TEM3[con3]+temp;
Hum2=HUM3[con3]+Hum2;
luz=LUZ3[con3]+luz;
}
temp=temp/5;
Hum2=Hum2/5;
luz=luz/5;
if (luz<0)
{luz=-luz;}
System.out.println("TEMPERATURA="+(""+datos2[13]+")"+ temp+ "C");
```



```
System.out.println("Humedad2="+(""+datos2[13]+")"+ Hum2+ "%HR");
System.out.println("LUZ="+(""+datos2[13]+")"+ luz+"Lux");
con3=0;
ok=1;}

else if( con4==5)
{ temp=0;
Hum2=0;
luz=0;
for (con4=0;con4<6;con4++)
{ temp=TEM4[con4]+temp;
Hum2=HUM4[con4]+Hum2;
luz=LUZ4[con4]+luz;
}
temp=temp/5;
Hum2=Hum2/5;
luz=luz/5;
if (luz<0)
{luz=-luz;}

System.out.println("TEMPERATURA="+(""+datos2[13]+")"+ temp+ "C");
System.out.println("Humedad2="+(""+datos2[13]+")"+ Hum2+ "%HR");
System.out.println("LUZ="+(""+datos2[13]+")"+ luz+"Lux");
con4=0;
ok=1;
}

else if( con5==5)
{ temp=0;
Hum2=0;
luz=0;
for (con5=0;con5<6;con5++)
{ temp=TEM5[con5]+temp;
Hum2=HUM5[con5]+Hum2;
luz=LUZ5[con5]+luz;
}
temp=temp/5+6;
Hum2=Hum2/5;
luz=luz/5;
if (luz<0)
{luz=-luz;}

System.out.println("TEMPERATURA="+(""+datos2[13]+")"+ temp+ "C");
System.out.println("Humedad2="+(""+datos2[13]+")"+ Hum2+ "%HR");
System.out.println("LUZ="+(""+datos2[13]+")"+ luz+"Lux");
con5=0;
```



```
        ok=1;
    }

    else if( con6==5)
    { temp=0;
      Hum2=0;
      luz=0;
      for (con6=0;con6<6;con6++)
      {temp=TEM5[con6]+temp;
       Hum2=HUM5[con6]+Hum2;
       luz=LUZ5[con6]+luz;}
      temp=temp/5;
      Hum2=Hum2/5;
      luz=luz/5;
      if (luz<0)
      {luz=-luz;}

      System.out.println("TEMPERATURA="+(""+datos2[13]+")"+ temp+ "C");
      System.out.println("Humedad2="+(""+datos2[13]+")"+ Hum2+ "%HR");
      System.out.println("LUZ="+(""+datos2[13]+")"+ luz+"Lux");
      con6=0;
      ok=1;
    }

    else  if( con7==5)
    { temp=0;
      Hum2=0;
      luz=0;
      for (con7=0;con7<6;con7++)
      {temp=TEM7[con7]+temp;
       Hum2=HUM7[con7]+Hum2;
       luz=LUZ7[con7]+luz;
      }
      temp=temp/5;
      Hum2=Hum2/5;
      luz=luz/5;
      if (luz<0)
      {luz=-luz;}

      System.out.println("TEMPERATURA="+(""+datos2[13]+")"+ temp+ "C");
      System.out.println("Humedad2="+(""+datos2[13]+")"+ Hum2+ "%HR");
      System.out.println("LUZ="+(""+datos2[13]+")"+ luz+"Lux");
      con7=0;
      ok=1;
    }
    else if( con8==5)
```



```
{ temp=0;
  Hum28=0;
  luz=0;
  for (con8=0;con8<6;con8++)
  {temp=TEM8[con8]+temp;
  Hum28=HUM8[con8]+Hum28;
  luz=LUZ8[con8]+luz;
  }
  temp=temp/5+2;
  Hum28=Hum28/5;
  luz=luz/5+15;
  if (luz<0)
  {luz=-luz;}

System.out.println("TEMPERATURA="+(""+datos2[13]+")"+ temp+ "C");
System.out.println("Humedad2="+(""+datos2[13]+")"+ Hum28+ "%HR");
System.out.println("LUZ="+(""+datos2[13]+")"+ luz+"Lux");
  con8=0;
  Hum2=Hum28;
  ok=1;
  }

else  if( con9==5)
  { temp=0;
  Hum2=0;
  luz=0;

  for (con9=0;con9<6;con9++)
  {temp=TEM9[con9]+temp;
  Hum2=HUM9[con9]+Hum2;
  luz=LUZ9[con9]+luz;
  }
  temp=temp/5;
  Hum2=Hum2/5-8;
  luz=luz/5;
  if (luz<0)
  {luz=-luz;}

System.out.println("TEMPERATURA="+(""+datos2[13]+")"+ temp+ "C");
System.out.println("Humedad2="+(""+datos2[13]+")"+ Hum2+ "%HR");
System.out.println("LUZ="+(""+datos2[13]+")"+ luz+"Lux");
  con9=0;
  ok=1;
  }
```




```
Float.toString((float)datocanal_6),
Float.toString((float)temp),
Float.toString((float)Hum),
Float.toString((float)Hum1),
Float.toString((float)Hum2),
Float.toString((float)luz ));

archivo.flush();
muestra=muestra+1;
    ok=0;
    }
    }
}
datosHexa=null; }
catch(IOException ex)
    {System.out.println(ex);
    }
}

/**
 * @param args the command line arguments
 */
public static void main(String[] args) {
    // TODO code application logic here
    Main aplicacion = new Main();
}

public Main (){
    lectura();
    archivo();
}

public void lectura ()
{
    listaDePuertos=CommPortIdentifier.getPortIdentifiers();
idPuertos = (CommPortIdentifier) listaDePuertos.nextElement();
    while (listaDePuertos.hasMoreElements())
    { listaDePuertos.nextElement();
        if (idPuertos.getPortType() == CommPortIdentifier.PORT_SERIAL)
        { System.out.println(idPuertos.getName());
            if (idPuertos.getName().equals("COM3"))
            { try
                { puerto = (SerialPort) idPuertos.open("Puerto", 2000);
                    flujoEntrada = puerto.getInputStream();
```



```
puerto.addListener(this);
puerto.notifyOnDataAvailable(true);

puerto.setSerialPortParams(57600, SerialPort.DATABITS_8,
SerialPort.STOPBITS_1, SerialPort.PARITY_NONE);
//puerto.setInputBufferSize(36); }
catch (Exception ex)
{ System.out.println(ex);

    }
    }
    }
}

public void archivo()
{
try { // String name = JOptionPane.showInputDialog ( "Ingrese nomobre de archivo");
archivo = new PrintWriter(new FileOutputStream("prueba_AGOSTO1-2010_toma6.txt"));
archivo.format("%s\t%s\t%s\t%s\t%s\r\n",
Integer.toString(muestra),
Float.toString((float) 0),
Float.toString((float) 1),
Float.toString((float) 2),
Float.toString((float) 3));
archivo.flush();
muestra=muestra+1;
}
catch (FileNotFoundException ex) { System.out.println("exception:"+ex); }
}
}
```