

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MONITOREO
DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN LAS
CAMARAS DE SECADO ARTIFICIAL DE LA LADRILLERA SIGMA
LTDA**



“Formando líderes para la construcción de un nuevo país en paz”

CARLOS ANDRÉS APARICIO PEÑARANDA

Universidad de Pamplona
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Departamento de Ingenierías Eléctrica, Electrónica, Sistemas y
Telecomunicaciones
Ingeniería Electrónica
Pamplona, junio de 2017

**DISEÑO E IMPLEMENTACION DE UN SISTEMA DE MONITOREO
DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN LAS
CAMARAS DE SECADO ARTIFICIAL DE LA LADRILLERA SIGMA
LTDA**

CARLOS ANDRÉS APARICIO PEÑARANDA

Trabajo de grado presentado como requisito parcial para
optar al título de: Ingeniero Electrónico

Director
JULIO CESAR OSPINO

Universidad de Pamplona
Facultad de Ingenierías y Arquitectura
Departamento de Ingenierías Eléctrica, Electrónica, Sistemas y
Telecomunicaciones
Ingeniería Electrónica
Pamplona, junio de 2017

A mis Padres.

Tabla de contenido

1. INTRODUCCION	- 1 -
1.1 PROBLEMA Y JUSTIFICACION	- 2 -
1.2 OBJETIVOS	- 3 -
1.2.1. Objetivo General	- 3 -
1.2.2. Objetivos Específicos	- 3 -
2. MARCO TEORICO	- 4 -
2.1 ANTECEDENTES	- 4 -
2.2. SECADO	- 4 -
2.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL AIRE	- 7 -
2.2.1.1 HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (HR).	- 7 -
2.2.1.2 TEMPERATURA DEL AIRE(T).	- 8 -
2.2.2 PROCESO DE SECADO	- 9 -
2.2.2.1 Descripción general del proceso de secado	- 9 -
2.2.2.2 Condiciones externas.	- 9 -
2.2.2.3 Condiciones internas.	- 9 -
2.2.2.4 Mecanismos de secado	- 10 -
2.2.2.5 Cinética del secado.	- 10 -
2.2.2.6 Velocidad constante de secado.	- 11 -
2.2.2.7 Velocidad decreciente de secado.	- 12 -
2.2.2.8 Determinación del contenido de humedad.	- 12 -
2.2.2.9 Clasificación y selección de secadores.	- 13 -
3. DESARROLLO Y PROGRAMACION	- 14 -
3.1. Componentes del sistema.	- 14 -
3.2. Selección del sensor de temperatura y Humedad Relativa.	- 14 -
3.3. Selección de la Tarjeta de desarrollo	- 17 -
3.4. Diseño de la tarjeta de adaptación de la señal eléctrica	- 19 -
3.4.1. Cálculos de la señal de 4-20 mA a variables medidas	- 19 -
3.4.2. Implementación de la tarjeta de adaptación de la señal	- 24 -
3.4.3. Prueba de la tarjeta de adaptación de la señal	- 25 -
3.5. Implementación del sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa	- 29 -
3.6.1. Declaración de variables	- 34 -
3.6.2. Void setup	- 34 -
3.6.3. Void loop	- 35 -
4. ANALISIS Y RESULTADOS	- 40 -

4.1. Prueba Sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa	- 40 -
4.1.1. Margen de error	- 46 -
4.2. Limitantes	- 48 -
4.3. Análisis económico	- 48 -
4.4. Análisis Costo-beneficio-riesgo	- 49 -
5. CONCLUSIONES	- 50 -
5.1. Recomendaciones	- 50 -
6. BIBLIOGRAFÍA	- 51 -

Tabla de figuras

Figura 1. Ejemplo de curvas de secado y velocidad de secado	- 11 -
Figura 2. Sensor RIXEN TRH 303	- 16 -
Figura 3. Calibración y cableado en sitio del sensor Rixen TRH 303	- 16 -
Figura 4. Vista interior del circuito del sensor Rixen TRH 303.....	- 16 -
Figura 5. TIVA C TM4C123G	- 17 -
Figura 6.sketch Energia 1.6.10E18	- 18 -
Figura 7. Temperatura Vs Corriente.....	- 20 -
Figura 8. Humedad Relativa Vs Corriente.....	- 20 -
Figura 9. Temperatura Vs Voltaje	- 21 -
Figura 10. Humedad Relativa vs Voltaje	- 21 -
Figura 11. Temperatura Vs Conversión de valores del voltaje	- 22 -
Figura 12. Diagrama de cableado en Proteus del circuito de adaptación de la señal	- 23 -
Figura 13. Diseño de la tarjeta de adaptación de la señal en Proteus	- 24 -
Figura 14. Tarjeta de adaptación de la señal vista inferior	- 25 -
Figura 15. Prueba sensor a temperatura ambiente	- 27 -
Figura 16. Prueba sensor a Humedad Relativa ambiente	- 27 -
Figura 17. Prueba sensor de temperatura aumentando la temperatura	- 28 -
Figura 18. Prueba sensor de Humedad Relativa aumentando temperatura	- 28 -
Figura 19. Ubicación de los sensores Rixen TRH 303 en cada secadero	- 29 -
Figura 20. Sistema de monitoreo y Secaderos 4 y 6 vista frontal	- 30 -
Figura 21. Secadero 5 vista frontal.....	- 30 -
Figura 22. Ubicación del Sensor 1 dentro del secadero 4	- 31 -
Figura 23. Ubicación del Sensor 2 dentro del secadero 4	- 32 -
Figura 24. Sensor instalado en el secadero 4 vista superior.....	- 32 -
Figura 25. Diagrama de conexión del sensor Rixen TRH 303 con salida de corriente...	- 33 -
Figura 26. Esquema de la adaptación de la señal a la Tiva C	- 33 -
Figura 27. Declaración de variables	- 34 -
Figura 28. Declaración de variables	- 34 -
Figura 29. Esquema Final Sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa ..	- 39 -
Figura 30. Prueba 1 del secadero 6	- 40 -
Figura 31. Prueba 2 del secadero 6	- 41 -
Figura 32. Prueba 1 secadero 5.....	- 42 -
Figura 33. Prueba 2 secadero 5.....	- 43 -
Figura 34. Prueba 1 secadero 4.....	- 44 -
Figura 35. Prueba 2 Secadero 4.....	- 45 -
Figura 36. Instrumento Patrón Vs sistema de monitoreo	- 46 -

Tablas

Tabla 1. Tipos de secaderos más utilizados y sus características. [5]	- 7 -
Tabla 2. Especificaciones técnicas del Sensor RIXEN TRH 303	- 15 -
Tabla 3. <i>Valores tabla de registro Ladrillera Sigma Vs Datos obtenidos</i>	- 46 -
Tabla 4. Presupuesto del proyecto	- 48 -

Vivir no es sólo existir,
sino existir y crear,
saber gozar y sufrir
y no dormir sin soñar.
Descansar, es empezar a morir.”

Gregorio Marañón

AGRADECIMIENTOS

A Dios por darme la fuerza y sabiduría necesaria para llevar a feliz término este proyecto de vida.

A mi padre **RESURRECION APARICIO** (Q.E.P.D), a mi madre **ESPERANZA PEÑARANDA**, quienes desde pequeño con sus consejos ayudaron a mi formación, por ser esas personas que siempre me apoyaron en los momentos difíciles, por ser la motivación y un excelente ejemplo de vida para seguir siempre adelante, este triunfo es de ustedes. Eterna gratitud.

A mis hermanos **Iván** y **Argenis**, a mis sobrinos **Valentina**, **Jorge Iván**, **Juan Pablo** y **Sarita**, quienes siempre me impulsaron a continuar y seguir adelante, me apoyaron, nunca me hicieron sentir solo.

A **Julio César Ospino** mi director de trabajo de grado, por la confianza brindada para el desarrollo del proyecto, por todo el apoyo y confianza que siempre tuvo en mí, porque gracias a sus conocimientos he alcanzado una meta más.

Quiero también agradecerle de una forma muy especial al profesor **Jesús Eduardo Ortiz Sandoval** director del programa de Ingeniería Electrónica, quien siempre me brindó el apoyo incondicional en cuanto a las prestaciones de los servicios necesarios dentro de las instalaciones de la Universidad.

A la ladrillera **SIGMA L.T.D.A** por brindarme la oportunidad de llevar a cabo mis prácticas empresariales y formarme en el campo laboral.

Al Ingeniero **Víctor Mendoza**, al ingeniero y amigo **Faiver Moreno** por ser mis guías profesionales y quienes siempre estuvieron dispuestos a colaborar durante la realización del proyecto en la empresa.

A mis compañeros de estudio durante toda etapa de Universidad, en especial un agradecimiento a aquellos que formaron parte de los grupos de trabajo.

A mi familia, a mis profesores, a mis amigos, conocidos y a todas las personas que tal vez olvido en mencionar, mil y mil gracias por su apoyo y cariño.

1. INTRODUCCION

Este proyecto se inicia con la inspección de la ladrillera SIGMA LTDA y reconocimiento de las zonas de producción, posterior a esto se estudiará el proceso de fabricación de la tableta y ladrillo en la industria, además de los pasos a seguir para lograr un producto de calidad. Terminado esto, se hará una identificación y revisión de los registros de temperatura y humedad relativa que compone cada una de las cámaras de secado artificial de la empresa y se identificarán los agentes que pueden alterar dichos registros.

Una vez determinado el estado actual de la empresa con respecto a los registros de temperatura y humedad relativa, se realizará un análisis de los mismos y se iniciará con el diseño del sistema de monitoreo de la temperatura y humedad relativa que permitan obtener datos más confiables en las cámaras de secado artificial de la ladrillera SIGMA LTDA, los cuales van a favorecer el secado y por ende la producción de la ladrillera.

Una vez diseñado el sistema de monitoreo se procede a la elaboración e implementación del mismo luego de haber realizado las pruebas necesarias para la optimización del proceso de secado.

1.1 PROBLEMA Y JUSTIFICACION

La industria ladrillera tiene una amplia distribución a nivel del territorio colombiano, lo que representa una alta fuente de empleo y aporte al sistema económico de las regiones, es por esto que se hace necesario conocer acerca del funcionamiento de las mismas para así desarrollar procesos de producción rentables que permitan obtener productos de alta calidad.

Teniendo en cuenta que Norte de Santander es uno de los departamentos que se beneficia de esta industria y a pesar de esto todavía se cuenta con algunas ladrilleras artesanales que usan tecnologías obsoletas poco eficientes lo que afecta su producción; surgió la iniciativa de diseñar e implementar un sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa en las cámaras de secado artificial de la ladrillera SIGMA LTDA debido a que esta empresa no cuenta con dicho sistema, el cual ayudaría a elevar el margen costo-beneficio, al llevar un registro óptimo de dichas variables evitando daños(fisuras) en el producto que se encuentra en la cámara de secado, además protegiendo al operario de altas temperaturas y las consecuencias que esto deriva en su salud, debido a que debe ingresar a la cámara de secado y permanecer allí durante aproximadamente 10 minutos con el higrómetro para obtener las lecturas de dichas variables.

Como Ingeniero Electrónico el objeto de crear este sistema es contribuir a la optimización del proceso de producción desde el campo tecnológico.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo General

Desarrollar un sistema que permita a la ladrillera SIGMA LTDA el monitoreo en tiempo real de las variables de temperatura y humedad relativa presente en las cámaras de secado artificial.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Desarrollar la electrónica para el diseño e implementación del sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa de las cámaras de secado artificial de la ladrillera SIGMA LTDA.
- Implementar un sistema de adquisición para las variables monitoreadas y de control.
- Realizar el análisis costo-beneficio-riesgo, del sistema de monitoreo propuesto.
- Validar el sistema de las variables monitoreadas en las cámaras de secado artificial de la ladrillera SIGMA LTDA.

2. MARCO TEORICO

2.1 ANTECEDENTES

Sistema embebido para monitoreo de temperatura y humedad en invernadero basado en microcontrolador de 32 bits con conexión Ethernet [1]

En este proyecto se usa para la medición temperatura y humedad el sensor RHT03, además de una tarjeta de desarrollo mbed basada en el microcontrolador de 32 bits NXP-LPC1768 para la adquisición; la comunicación a internet es mediante un módulo Ethernet así el usuario desde cualquier parte del mundo que disponga conexión a internet pueda ver en tiempo real las variaciones de temperatura y humedad relativa en el invernadero haciendo muy práctico y de fácil manejo este sistema. Además, la visualización es por medio de una pantalla lcd.

Sistema de control de variables de temperatura y humedad relativa para el laboratorio de agromática del SENA Cartago [2]

Este proyecto se implementa en la ciudad de Cartago, para el cultivo de tomate Milano variedad Santa Clara, usando para la regulación de la temperatura y humedad relativa el sensor RHT03, la adquisición y procesamiento la realizan con una tarjeta Arduino Mega 2065, la visualización es por medio de un display lcd y además por conexión a internet vía wifi ya sea a un pc o dispositivo móvil por medio de un web Server remoto.

2.2. SECADO

El objeto del secado de los productos cerámicos además de la remoción del agua, la cual puede causar problemas durante la cocción, es el de endurecerlos con el propósito de permitir su endagado en el horno. El secado proporciona una materia prima de mayor calidad. La principal ventaja técnica que se obtiene de un correcto secado es la mayor resistencia mecánica, con la cual el ladrillo soporta mayores cargas de esfuerzos.

El contenido de agua total en la masa consiste de agua de contracción (entre las partículas) y de agua en los poros. La eliminación del agua de contracción lleva consigo la disminución del volumen del cuerpo, lo que aumenta las fuerzas de atracción de las partículas produciéndose una resistencia mayor en la arcilla seca, en comparación con su resistencia cuando está húmeda. La compacción excesiva debido al secado puede producir el agrietamiento y alabeo del ladrillo, si el secado es demasiado rápido.

En Ladrillera Sigma se utilizan el secado al aire libre o natural y, el secado artificial.

Primero el producto se transportan desde la sala de máquinas a un área cubierta que es la de secado natural para que se sequen a temperatura ambiente hasta contraer un 80% en crudo; este procedimiento de secado natural es el más antiguo y consiste en dejar los productos cerámicos en grandes áreas o al aire libre durante varios días, en un espacio techado, de paredes abiertas; además en ese tipo de secado, el tiempo de secado es en función de las condiciones climatológicas del lugar, porque la cantidad de vapor de agua que puede retirar el aire, depende de la humedad relativa, del grado de saturación y de la temperatura. Este procedimiento de secado es lento y se utiliza en pequeñas industrias.

Luego, los productos procesados se trasladan a un recinto cerrado llamado Cámara de secado artificial. Las cámaras de secado están provistas de postigos o ventilas que permiten la salida del aire húmedo ya servido y su reemplazo por aire ambiente más seco. El aire es el vehículo que transporta la humedad al exterior del ladrillo. Para que el aire efectúe su trabajo dentro de la cámara, debe poseer una presión suficiente que lo haga circular a cierta velocidad y le permita vencer los obstáculos que encuentra en su recorrido. Este efecto se logra por medio del viento en el secado natural y de manera más efectiva y controlable, por medio de ventiladores en el secado artificial.

Existen dos tipos de ventiladores que pueden utilizarse en las cámaras de secado, centrífugos y axiales. Los ventiladores centrífugos proporcionan bajos caudales a presiones estáticas altas y se componen de una carcasa metálica en forma de voluta o caracol, al interior de la cual gira una rueda compuesta de palas o aspas. Los ventiladores axiales tienen la forma de una hélice compuesta por varias aspas curvas que giran alrededor de un eje, la hélice se encuentra al interior de una carcasa en forma de cilindro. El secado del ladrillo necesita en general altos caudales y presiones estáticas bajas; por esta razón, y porque en principio son menos costosos que los centrífugos, es más corriente que se utilicen ventiladores axiales para trasegar el aire dentro de la cámara de secado. [3]

Para el secado artificial los productos se secan en hornos especiales a temperaturas de 85 a 96°C, con aire que tenga gran humedad que evita el secado excesivo en la superficie. La humedad del aire de secado y la temperatura para ese fin se adecuan de tal modo que la rapidez de evaporación del agua en la superficie sea casi igual a la difusión de agua desde la parte interior a la superficie del cuerpo; lo que permite el secado relativamente rápido, sin deterioro, agrietamiento y combaduras del material.

Para aminorar la contracción en el secado de arcillas muy plásticas estas se mezclan con arena fina. La eliminación del agua en los poros no produce

compacción, y puede llevarse a cabo con aire seco a 110°C, o a temperaturas mayores. Esto puede realizarse como una etapa del proceso de secado.

El aire caliente, al entrar en contacto con el producto cerámico húmedo, transfiere calor a su superficie, evaporando su humedad libre. La velocidad de secado depende de la saturación del aire, por lo cual debe renovarse continuamente. Hay que tener en cuenta que, si el secado es brusco, se establece un anormal gradiente de eliminación de humedad, el cual va acompañado de agrietamiento, deformaciones y contracción del material. [4]

Es necesario conocer una serie de características y propiedades físicas del aire para comprender este proceso, pero nosotros nos centraremos en las cuales se basa nuestro trabajo, la humedad relativa y la temperatura.

Los tipos de secaderos más utilizados y sus principales características se muestran en la tabla 1.

TIPO DE SECADERO	MATERIALES O PIEZAS TRATADOS NORMALMENTE	MÉTODO DE APLICACIÓN DEL CALOR	MÉTODO DE DESPLAZAMIENTO DE LOS MATERIALES	TIEMPO DE SECADO APROX.	TEMP MÁX. APROX (°C)
Túnel de calor perdido	Arcilla prensada	Directo o a través de un intercambiador de calor	Sobre carretillas metálicas ligeras	16h	75
	Baldosas en cajas		Sobre carretillas de horno de túnel	51h	
Túnel	Baldosas en paletas	Aire impulsado por soplante con control de recirculación	Tres líneas de 14 carretillas	24-36 h	
Estufa de entrada de pie	1) Baldosas apiladas 2) Aisladores en bruto 3) Moldes de escayola	Tubos bajo rejillas Conductos de distribución a nivel elevado (a veces provistos de ventiladores de recirculación)	Manual, sobre tableros	2-7 días	49
Estufa de alfareros (tipo antiguo)	Piezas de arcilla en moldes	Convección natural	Rotación manual, trabajo sobre tableros	24 h	49
Estufa de alfareros (tipo moderno)	Piezas de arcilla en moldes (principalmete vajilla llana)	Circulación impulsada por soplante con control de recirculación	Rotación manual, colocada una pieza cada vez	2-3 h	71

Secaderos de cámara (Carrier y tipos similares)	Aisladores torneados	Circulación impulsada por soplante con control de recirculación	Sobre estanterías móviles, unidades sobre ruedas o elevables.	40 h	88
	Moldes de escayola (alfarería)			2-6 h	71
Mesa giratoria (1)Múltiple	Tazas en moldes	Una boquilla en cada molde	Rotación manual	20 min	71
	Tazas en moldes			Rotación manual	15 min
(2)Simple		Chorro de aire caliente dirigido hacia abajo			
Cinta transportadora	1) Trazas después del tratamiento	Chorro de aire caliente dirigido hacia abajo, recirculado	Accionado a motor	30 min	77
	2) China vidriada por inmersión, clase especial	Radiadores encima y debajo de la cinta	Accionado a motor	15 min	-----
	3) Platos y tazas pequeñas	Radiadores y soplante	Accionado a motor	3-4 min	-----
Transportador de cadena (Secaderos de cangilones)	1) Piezas vidriadas por inmersión	Radiación y convección natural	Accionado a motor	16 h	105
	2) Piezas vidriadas por inmersión (hasta 20,3 centímetros, llanas)	Circulación con soplante y recirculación, con inyección de aire dentro de las piezas si es preciso	Accionado a motor	15 min	60
	3) Piezas llanas y hondas en moldes	Circulación con soplante y recirculación, con inyección de aire dentro de las piezas si es preciso	Accionado a motor	Tazas 20 min	77

Tabla 1. Tipos de secaderos más utilizados y sus características. [5]

Tomado de : <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Procesos/ceramica.pdf>

2.2.1 CARACTERÍSTICAS DEL AIRE

2.2.1.1 HUMEDAD RELATIVA DEL AIRE (HR). El aire ambiente contiene agua en forma de vapor. La humedad relativa HR indica el contenido de vapor de agua, es decir, la humedad del aire y depende de la presión atmosférica y de la temperatura

del lugar, las cuales varían dentro de ciertos límites para un lugar determinado; por esta razón se calcula una HR promedio.

En el proceso de secado el aire se comporta como una esponja; entre más seco, mayor su capacidad para absorber vapor de agua, hasta llegar a un tope máximo de contenido de agua.

La medición de HR puede hacerse por medio de un higrómetro o, en forma más accesible, por medio del aparato elemental llamado sicrómetro.

El higrómetro es un aparato calibrado para medir la cantidad de vapor de agua contenida en el aire y entregar una lectura de HR en porcentaje.

El sicrómetro consta de un par de termómetros, uno de ellos tiene cubierto el bulbo de mercurio con una gasa humedecida en permanencia con agua destilada y registra la temperatura de bulbo húmedo. El segundo termómetro no presenta ningún aditamento especial y mide la temperatura de bulbo seco. La diferencia entre las temperaturas de ambos termómetros se llama depresión sicrométrica y permite calcular la humedad relativa HR correspondiente. [3]

2.2.1.2 TEMPERATURA DEL AIRE(T). A medida que aumenta la temperatura del aire, también aumenta su capacidad para secar o absorber humedad. Para aumentar la temperatura del aire es necesario suministrar energía. Las fuentes corrientes de energía son: carbón, ACPM, gas natural, electricidad, energía solar utilizada directamente sobre el ladrillo o captada por colectores solares que calientan el aire suministrado a una cámara de secado.

Se considera seco el ladrillo cuando ha perdido toda el agua libre y parte del agua higroscópica, hasta llegar a un contenido de humedad de equilibrio (CHE) con la humedad relativa del aire ambiente.

Para un lugar con temperatura y humedad relativa determinadas existe entonces un contenido de humedad de equilibrio del ladrillo que es el valor mínimo al cual puede mantenerse, en ese lugar, el contenido de humedad CH del material (Tabla 1. Contenido de humedad de equilibrio(CHE) de ciudades de Colombia). La diferencia entre la temperatura de bulbo húmedo permite conocer la HR y CHE correspondiente.

Al perder toda el agua higroscópica se conoce como Arcilla Anhidra y el contenido de humedad es nulo.

El contenido de humedad CH se define como la relación, medida en porcentaje %, entre el peso del agua contenida y el peso de la arcilla anhidra o sin agua.

La diferencia entre el peso húmedo y el peso anhidro es el peso de agua que contiene el material. [6]

2.2.2 PROCESO DE SECADO

2.2.2.1 Descripción general del proceso de secado

El secado se describe como un proceso de eliminación de sustancias volátiles (humedad) para producir un producto sólido y seco. La humedad se presenta como una solución líquida dentro del sólido, es decir, en la microestructura del mismo. Cuando un sólido húmedo es sometido a secado térmico, dos procesos ocurrirán simultáneamente:

- habrá transferencia de energía (comúnmente como calor) de los alrededores para evaporar la humedad de la superficie. (Proceso 1)

- habrá transferencia de la humedad interna hacia la superficie del sólido. (Proceso 2)

La velocidad a la cual el secado es realizado está determinada por la velocidad a la cual los dos procesos, mencionados anteriormente, se llevan a cabo. La transferencia de energía, en forma de calor, de los alrededores hacia el sólido húmedo puede ocurrir como resultado de convección, conducción y/o radiación y en algunos casos se puede presentar una combinación de estos efectos.

2.2.2.2 Condiciones externas.

Este caso se refiere al proceso 1, donde, la eliminación de agua en forma de vapor de la superficie del material, depende de las condiciones externas tales como: temperatura, humedad y flujo del aire, área de la superficie expuesta y presión. Estas condiciones son importantes durante las etapas iniciales de secado cuando la humedad de la superficie está siendo removida. En algunos materiales puede haber encogimiento, excesiva evaporación en la superficie, después de que la humedad inicial ha sido removida dando lugar a altos gradientes de humedad del interior a la superficie. Este fenómeno es causado por el sobre secado y encogimiento y consecuentemente a las altas tensiones dentro del material, dando como resultado agrietamiento y deformación.

2.2.2.3 Condiciones internas.

El movimiento de humedad dentro del sólido es una función de la naturaleza física dentro del sólido, la temperatura y su contenido de humedad. En una operación de secado cualquiera de estos procesos puede ser el factor que determine la velocidad de secado.

A partir de la transferencia de calor hacia un sólido húmedo, un gradiente de temperatura se desarrolla dentro del sólido mientras la evaporación de la humedad

ocurre en la superficie. La evaporación produce una migración de humedad desde adentro del sólido hacia la superficie, la cual ocurre a través de uno o más mecanismos, normalmente, difusión, flujo capilar, presión interna causada por el encogimiento durante el secado.

2.2.2.4 Mecanismos de secado

Hay dos métodos para remover la humedad:

- Evaporación. Esta ocurre cuando la presión del vapor de la humedad en la superficie del sólido es igual a la presión atmosférica. Esto se debe al aumento de temperatura de la humedad hasta el punto de ebullición. Si el material que está siendo secado es sensible al calor, entonces la temperatura a la cual la evaporación ocurre, la temperatura puede ser disminuida, bajando la presión (evaporación al vacío). Si la presión disminuye más allá del punto triple, entonces la fase líquida no puede existir y la humedad en el producto es congelada.
- Vaporización. El secado es llevado a cabo por convección, pasando aire caliente sobre el producto. El aire es enfriado por el producto y la humedad es transferida hacia el aire. En este caso la presión del vapor de la humedad sobre el sólido es menor que la presión atmosférica. [7]

2.2.2.5 Cinética del secado.

Si un lote de polvo o granos húmedo es secado en un lecho fluidizado y el contenido de Humedad X (definido como peso de agua por unidad de peso de sólido seco) es determinado como una función de tiempo t , la curva resultante de X contra t será igual a la Curva de la figura 1. Esta es convencionalmente dividida en dos partes, el primero llamado periodo de velocidad constante de secado y el segundo velocidad decreciente de secado. El contenido de humedad en el punto de transición entre los dos periodos es llamado contenido crítico de humedad X_{cr} . Si el secado continúa más tiempo, X se aproximará al contenido de humedad X_e , correspondiente a la humedad de equilibrio. En cualquier punto de la curva, la cantidad de humedad removible permanente ($X - X_e$) se conoce como el contenido de humedad libre.

En la Figura 1. Se podrá observar un ejemplo de curvas de secado y velocidad de secado.

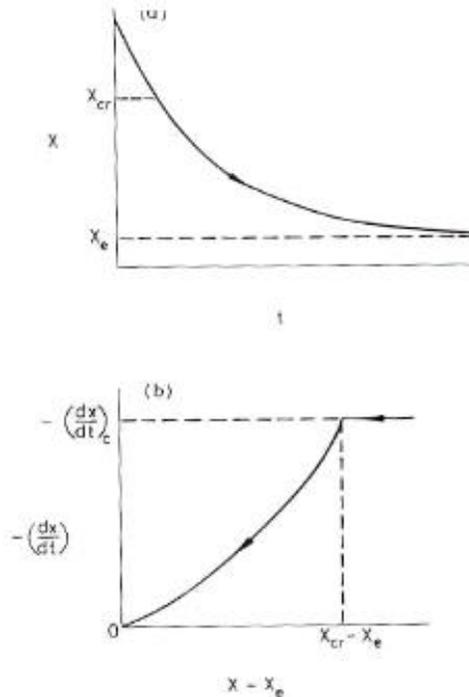


Figura 1. Ejemplo de curvas de secado y velocidad de secado

Tomado de:

http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/cabrera_v_a/capitulo5.pdf [8]

La velocidad de secado, $-dX/dt$, puede ser determinada en cualquier punto derivando la curva de X contra t . Una gráfica de $-dX/dt$ contra el contenido de

Humedad libre ($X - X_e$) es una forma alterna de representar el secado característico de un material tal y como se muestra en la figura 1.1b.

Como un método aproximado, el periodo de velocidad constante puede ser considerado como correspondiente a la humedad removida de la superficie de las partículas, mientras que el periodo de velocidad decreciente corresponde a la eliminación de la humedad interna.

2.2.2.6 Velocidad constante de secado.

La superficie contiene humedad, la vaporización se lleva a cabo a partir de ahí. En esta etapa de secado se lleva a cabo la difusión del vapor del agua a través de la interface aire/humedad y la velocidad a la cual la superficie por difusión es eliminada. Hacia el final del periodo constante, la humedad tuvo que ser transportada del interior del sólido hacia la superficie por fuerzas capilares. Cuando el promedio del contenido de humedad ha alcanzado el contenido de humedad crítico X_{cr} , la película de humedad en la superficie ha sido tan reducida por evaporación que más allá del secado causa distorsiones más allá de la superficie, entonces, el proceso se controla por las resistencias exteriores.

2.2.2.7 Velocidad decreciente de secado.

La velocidad a la cual la humedad puede pasar a través del sólido como resultado de la concentración de gradientes entre las partes más profundas y la superficie es el paso a controlar. Dado que, la profundidad media del nivel de humedad incrementa progresivamente y la conductividad de calor de las zonas externas secas es muy pequeña, la velocidad de secado es cada vez más influenciada por la conducción de calor. Sin embargo, si el producto seco tiene una densidad alta y cavidad pequeña con poros pequeños, el secado es determinado no tanto por la conducción de calor, pero, si por una resistencia alta a la difusión dentro del producto. Como la concentración de humedad disminuye por el secado, la velocidad de movimiento de humedad interna también disminuye.

2.2.2.8 Determinación del contenido de humedad.

- **Métodos directos:**

Estos consisten esencialmente en la determinación del contenido de humedad de una muestra de secado llevada a cabo en un horno de secado con o sin soplado a través de aire, o por secado en una cámara de vacío o en su defecto en un desecador de vacío. La muestra de material tiene que ser preparada en cada caso de la siguiente manera: el material es desintegrado en piezas de 1-2 mm³, y una muestra con masa de 4-5 g es colocada dentro de un previamente secado y pesado contenedor de vidrio, el cual es colocado dentro de la cámara de secado y secar a 102-105 °C. La medida de la masa es llevada a cabo a temperatura ambiente, no sin antes dejar que la muestra sea enfriada en el desecador.

El proceso de secado puede considerarse completo cuando la diferencia entre el valor obtenido por el contenido de humedad del material en dos medidas consecutivas no exceda $\pm 0.05\%$. La literatura indica que este proceso es más rápido cuando se lleva a cabo a 130-150 °C. Sin embargo, investigaciones probaron los resultados obtenidos de esta manera pueden variar 0.5-1.0%. Así, el método rápido parece ser conveniente solo para determinación aproximada del contenido de humedad del material.

- **Métodos indirectos:**

En el caso particular de las industrias, el contenido de humedad presente en el material tiene que ser determinado por métodos más rápidos que los métodos directos. Ejemplos de métodos indirectos son los siguientes: métodos eléctricos de los cuales tres han llegado a ser muy difundidos: determinación de humedad basado en el cambio de la resistencia DC, medida de capacitancia electrostática (constante dieléctrica del material), y la medición de las pérdidas en un campo de AC. Otros métodos rápidos son los métodos químicos desarrollados principalmente para la mayoría de los casos, cuando la humedad es agua, tal

es el caso del análisis de Kart-Fischer basado en reacción química del yodo en la presencia de agua, y el método de extracción el cual es llevado a cabo con etanol.

2.2.2.9 Clasificación y selección de secadores.

La selección del contenido final de humedad es principalmente dictada por los requerimientos de almacenamiento y estabilidad. El contenido final de humedad determina el tiempo de secado y las condiciones requeridas para el proceso. Los gradientes de humedad interna dentro de las partículas y la variación del contenido de humedad entre las partículas son importantes. Las restricciones de temperatura pueden aumentar a causa de la degradación térmica, cambios de fase, decoloración y manchas, flamabilidad de polvos, entre otros factores. La sensibilidad térmica fija la temperatura máxima a la cual la sustancia puede ser expuesta durante el tiempo de secado.

La primera subdivisión está basada en métodos de transferencia de calor:

- Conducción de calor.
- Convección de calor.
- Radiación de calor.
- Calefacción dieléctrica.

La siguiente subdivisión está basada en el tipo de recipiente secador:

- Bandeja.
- Tambor rotatorio.
- Lecho fluidizado.
- Neumático
- Spray. [8]

3. DESARROLLO Y PROGRAMACION

3.1. Componentes del sistema.

En general, hay tres elementos principales comunes en la mayoría de los sistemas de medición. El primero de ellos es el elemento de detección (sensor). El objetivo del elemento de detección es responder a la magnitud (cambios en la magnitud), de la variable que se esté midiendo. La respuesta del sensor toma la forma de una señal de salida cuya magnitud es proporcional a la magnitud de la variable que se esté midiendo.

El segundo elemento es el acondicionador de señal. Este elemento recibe la señal de salida del elemento de detección y la modifica mediante amplificación o por conformación adecuada de la onda. Cuando la señal sale del acondicionador de señal, debe estar en forma adecuada para mostrarse o para registrarse.

El tercer elemento de los sistemas de medición es el dispositivo de despliegue o de registro. [9]

El sistema diseñado e implementado consta de un sensor de temperatura de resistencia metálica o Resistance Temperature Detector (RTD), un sensor de humedad de condensador de película delgada, una tarjeta de adaptación de la señal de voltaje basado en el conversor análogo - digital de la tarjeta de desarrollo Tiva C TM4C123G (microcontrolador), un teclado para seleccionar el secadero, un display lcd para la visualización y un módulo de relé para la activación y control de la alarma.

3.2. Selección del sensor de temperatura y Humedad Relativa.

Para convertir y medir una magnitud no eléctrica en eléctrica se debe hacer el uso de un transductor adecuado, siendo de vital importancia conocer el rango de las magnitudes que se van a trabajar.

El sensor de temperatura (RTD), se basa en el principio según el cual la resistencia de todos los metales depende de la temperatura. La elección del platino en los RTD de máxima calidad, permite realizar medidas más exactas y estables.

El fundamento de las RTD es la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. En un conductor, el número de electrones disponibles para la conducción no cambia apreciablemente con la temperatura, pero si ésta aumenta, las vibraciones de los átomos alrededor de sus posiciones de equilibrio son mayores, y así dispersan en forma más eficaz a los electrones y reducen su velocidad media. Esto implica un coeficiente de temperatura positivo, es decir, un aumento de la resistencia con la temperatura (PALLAS. 1998).

Los sensores capacitivos (polímero orgánico capacitivo) es diseñados normalmente con platos paralelos con electrodos porosos o con filamentos entrelazados en el sustrato. El material dieléctrico absorbe o elimina vapor de agua del ambiente con los cambios del nivel de humedad. Los cambios resultantes en la constante dieléctrica causan una variación en el valor de la capacidad del dispositivo por lo

que resulta una impedancia que varía con la humedad. Un cambio en la constante dieléctrica de aproximadamente el 30% corresponde a una variación de 0-100% en la humedad relativa. El material sensor es muy delgado para alcanzar grandes cambios en la señal con la humedad. Esto permite al vapor de agua entrar y salir fácilmente y el secado rápido para la sencilla calibración del sensor. Este tipo de sensor es especialmente apropiado para ambiente de alta temperatura porque el coeficiente de temperatura es bajo y el polímero dieléctrico puede soportar altas temperaturas. Los sensores capacitivos son también apropiados para aplicaciones que requieran un alto grado de sensibilidad a niveles bajos de humedad, donde proveen una respuesta relativamente rápida. A valores de humedad superiores al 85% sin embargo el sensor tiene una tendencia a saturar y se transforma en no lineal. [10]

De acuerdo a lo anterior, además que la empresa cuenta que un número significativos de estos sensores, se escoge el sensor TRH 303 de RIXEN que se observa en la Figura 2, el cual está compuesto por una RTD y un condensador de película delgada y tiene las especificaciones (ver Tabla 2.). Además se usa para su conexión con la tarjeta de desarrollo cable calibre 20.

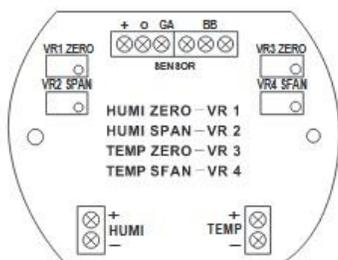
MARCA	RIXEN
REFERENCIA	TRH 303
RANGO DE MEDICION	0 ~ 100% RH
PRECISION	± 2% RH, ±0.2°C (A 24 VDC)
ESTABILIDAD A LARGO PLAZO	MAS QUE 1% DE RH POR AÑO
COMPENSACION DE TEMPERATURA	± 0.008% RH / °C (EFECTO A 0% RH)
RESPUESTA	<15 seg (90% A +25°C) MOVIMIENTO AL AIRE +0.5 MS
SENSORES	HUMEDAD: CONDENSADOR DE PELICULA DELGADA. TEMPERATURA: RTD PT100A, IEC751, DIN43760 .
SALIDA DE CORRIENTE	SALIDA DE CORRIENTE: HUMEDAD 4 A 20 mA 2 HILOS TEMPERATURA 4 A 20mA 2 HILOS SALIDA DE VOLTAJE: 0 a 1V, 0 A 5V, 0 A 10V ó 1 A 5V SELECCIONABLE.
AJUSTE FINO	CERO Y SPAN AJUSTABLE POR UN POTENCIOMETRO APARTE
FUENTE DE PODER	12 ~ 40 VDC
CARCAZA/PROTECCION	ABS CAJA DE PLASTICO IMPERMEABLE IP65 (NEMA 4)
GLANDULA	NAILON IMPERMEABLE, CASQUILLO DEL CABLE: 5 – 10mm

Tabla 2. Especificaciones técnicas del Sensor RIXEN TRH 303



Figura 2. Sensor RIXEN TRH 303

■ On-Site Calibration & Wiring



Humidity Calibration :

VR 1ZERO Humidity
 VR 2SPAN Humidity

Temperature Calibration :

VR 3ZERO Temperature
 VR 4SPAN Temperature

Figura 3. Calibración y cableado en sitio del sensor Rixen TRH 303



Figura 4. Vista interior del circuito del sensor Rixen TRH 303

3.3. Selección de la Tarjeta de desarrollo

Teniendo en cuenta su facilidad de uso y programación, bajo costo y excelentes prestaciones; como son sus 12 conversores analógicos-digitales de 12 bits, frecuencia de muestro de 1 MSPS que puede modificarse según el usuario lo desee, un número considerable de salidas digitales; para el desarrollo del sistema de monitoreo se escoge la Tiva C Series TM4C123G (Figura 5.), la cual se programará en Energía en su versión 1.6.10E18 cuya interfaz la podemos ver en la Figura 6.

Tiva C Series TM4C123G LaunchPad Kit de Evaluación es una plataforma de evaluación de bajo costo para microcontroladores ARM® Cortex™-M4F de Texas Instruments. El diseño de la TM4C123G LaunchPad pone de relieve el microcontrolador TM4C123GH6PM con una interfaz de dispositivo USB 2.0 y módulo de hibernación.

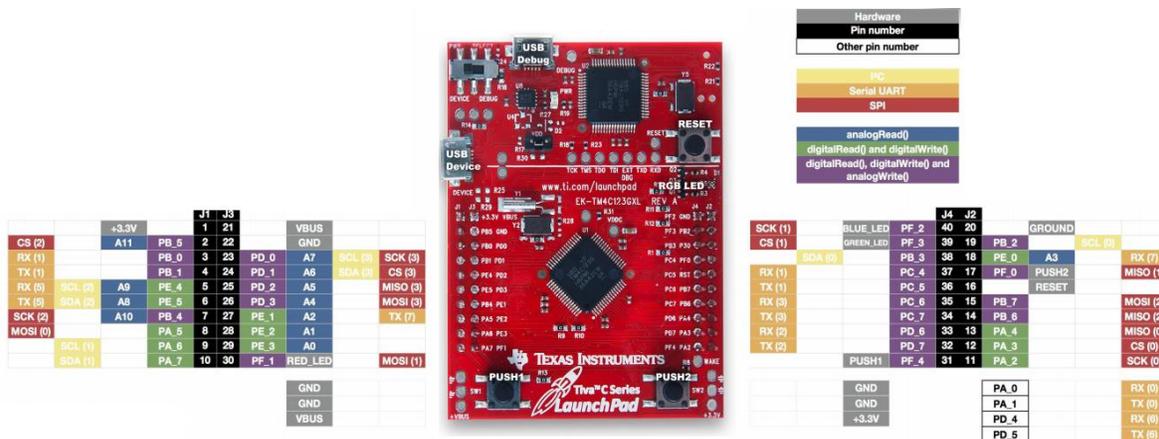


Figura 5. TIVA C TM4C123G

Características:

El Tiva C Series TM4C123G LaunchPad Kit de Evaluación ofrece las siguientes características:

- Microcontrolador Tiva C Series TM4C123GH6
 - 80MHz
 - 256 KB flash
 - 32 KB de RAM
 - 2-KB EEPROM
 - En el chip ROM con controladores y gestores de arranque
 - 2x 12CH ADCs de 12 bits (1 MSPS)
 - canales 16x Motion PWM
 - 24x Temporizador / Captura / Comparación / PWM
 - comparadores analógicos 3x
 - 4x SPI / SSI, I2C 4x, 8x UART
 - USB Host / Device / OTG

- 2x CAN
- el modo de hibernación de baja energía
- 43x GPIO pines
- Conector Micro USB AB
 - Configuración predeterminada del modo de dispositivo
 - Host/OTG modes supportable
- LED RGB
- Dos interruptores de usuario (*application/wake*)
- Interfaz de depuración (ICDI)
- Fuentes de alimentación seleccionables:
 - *ICDI*
 - *USB device*
- Interruptor de reinicio
- Aplicación de prueba con Led RGB precargada [11]

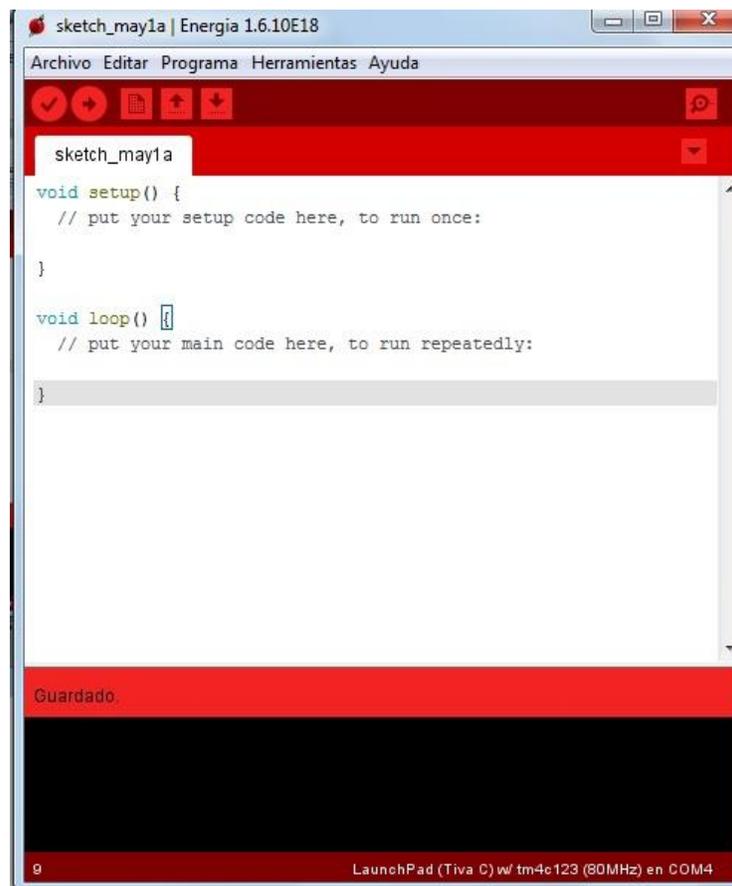


Figura 6.sketch Energia 1.6.10E18

Energía es una plataforma de creación de prototipos de electrónica de código abierto, iniciada por Robert Wessels en enero de 2012 con el objetivo de llevar el marco de Arrayado y Arduino al lanzamiento de Texas Instruments MSP430 basado en LaunchPad. El IDE de Energía es multiplataforma y compatible con Mac OS, Windows y Linux. Energía utiliza el compilador mspgcc de Peter Bigot y se basa en el framework Wiring and Arduino. Energía incluye un entorno de desarrollo integrado (IDE) que se basa en Processing. Energía es también un marco portátil / capa de abstracción que puede utilizarse en otros IDEs populares. Utilice un entorno basado en navegador web con CCS Cloud en dev.ti.com. Los plug-ins e integraciones de Energía de la comunidad están disponibles para Xcode, Visual Studio y Code Composer Studio.

La fundación de Energía y Arduino es el marco de cableado que desarrolla Hernando Barragan. El marco está cuidadosamente creado con diseñadores y artistas en mente para fomentar una comunidad donde tanto los principiantes como los expertos de todo el mundo comparten ideas, conocimiento y su experiencia colectiva. El equipo de Energía adopta la filosofía de aprender haciendo y se esfuerza por facilitar el trabajo directo con el hardware. Los ingenieros, empresarios, fabricantes y estudiantes profesionales pueden beneficiarse de la facilidad de uso que Energía aporta al microcontrolador.

Energía comenzó a traer el marco de cableado y Arduino a la Texas Instruments MSP430 LaunchPad. Texas Instruments ofrece un MSP430, MSP432, TM4C, C2000 y CC3200 LaunchPad. El LaunchPad es una placa de microcontrolador de bajo costo fabricada por Texas Instruments. La última versión de Energía es compatible con la mayoría de las ofertas de productos de LaunchPad. También se admiten kits adicionales de la comunidad de RedBearLab. [12]

3.4. Diseño de la tarjeta de adaptación de la señal eléctrica

Para el diseño de la tarjeta de adaptación de la señal eléctrica, el cálculo se basó en el nivel máximo de voltaje soportado por la entrada analógica de la Tiva C, el cual es de 3.3V y usando la salida de corriente de cada uno de los sensores. Esta conversión se hace a través de una resistencia de 150 Ω , aplicando ley de ohm para obtener el voltaje máximo deseado. El voltaje máximo será de 3V, buscando no sobrepasar el límite de voltaje soportado por la entrada analógica.

3.4.1. Cálculos de la señal de 4-20 mA a variables medidas

Típicamente, un valor de 4 miliamperios de corriente representa 0% de medida, y un valor de 20 miliamperios representa un 100% de la medida, y cualquier otro valor entre 4 y 20 miliamperios representa un porcentaje entre 0% y 100%.

Se calibra el transmisor de temperatura a 4-20mA para medir rango de 0 a 100 °C o de 0 a 100%, podríamos representar los valores de corriente y temperatura o humedad relativa como en los siguientes gráficos de las Figuras 7. y Figura 8.:

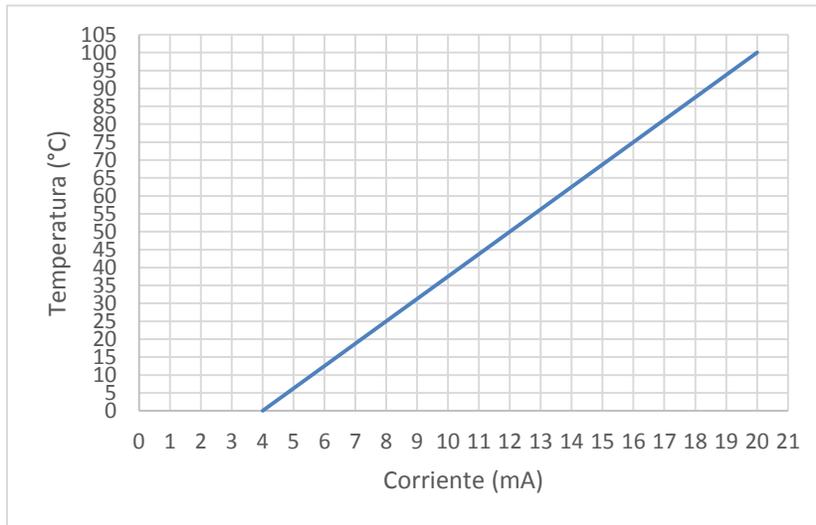


Figura 7. Temperatura Vs Corriente.

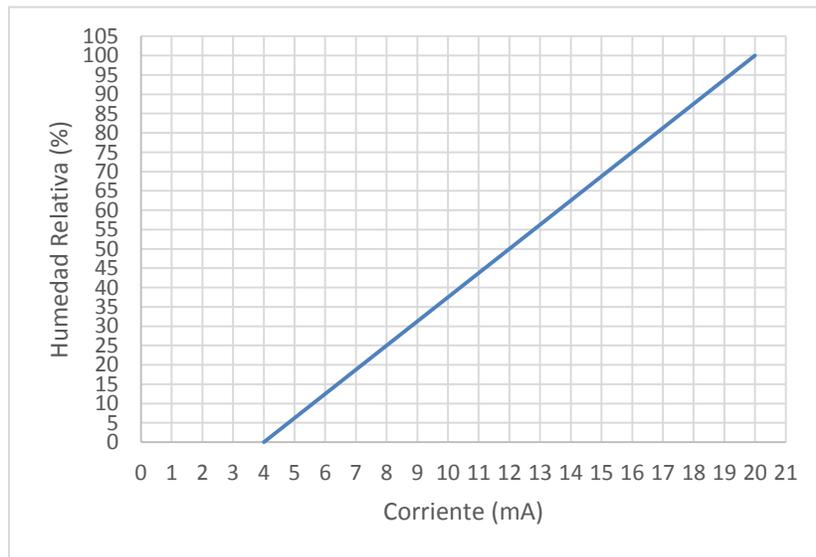


Figura 8. Humedad Relativa Vs Corriente

Aplicando ley de ohm y usando una resistencia de 150Ω en la salida de corriente de cada sensor (Temperatura y Humedad Relativa) para convertirla a voltaje, obtenemos las gráficas de la Figura 9. y Figura 10.

$$V1 = 4mA * 150\Omega = 0,6 V \quad (1)$$

$$V2 = 20mA * 150\Omega = 3 V \quad (2)$$

Donde: $V1 = \text{Rango m\u00ednimo de Voltaje.}$

$V2 = \text{Rango m\u00e1ximo de Voltaje.}$

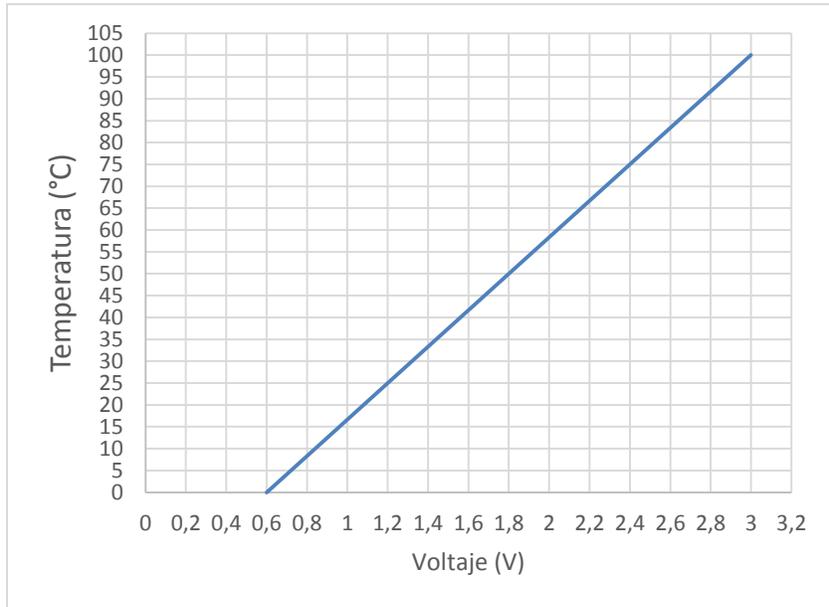


Figura 9. Temperatura Vs Voltaje

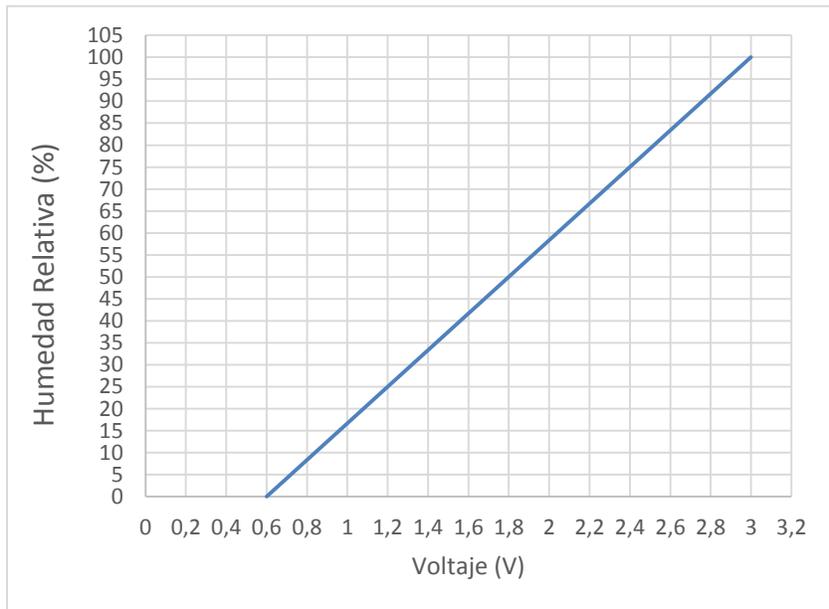


Figura 10. Humedad Relativa vs Voltaje

Luego se calcula la ecuaci\u00f3n de la recta para poder determinar la ecuaci\u00f3n que determinar\u00e1 el valor real de la medici\u00f3n del sensor.

$$x = \frac{V*(2^n-1)}{VT} \quad (3)$$

Donde:

$x = x1$ y $x2$

$x1 =$ valor mínimo

$x2 =$ valor máximo

$V =$ Rango de Voltaje máximo y mínimo

$n =$ número de bits del conversor analógico de la Tiva C

$VT =$ Voltaje Máximo soportado por el conversor analógico de la Tiva C

$$x1 = \frac{V1*(2^n-1)}{VT} = \frac{0.6V*(2^{12}-1)}{3.3V} = 744,5 \approx 744 \quad (4)$$

$$x2 = \frac{V2*(2^n-1)}{VT} = \frac{3V*(2^{12}-1)}{3.3V} = 3722,7 \approx 3723 \quad (5)$$

Tras obtener los nuevos puntos en el eje x y teniendo la temperatura o humedad en el eje y (las dos tienen el mismo rango 0 a 100) cuya Figura 11. nos la enseña, en este caso vamos hacer el cálculo para la temperatura (la humedad relativa es igual), calculamos la pendiente de la recta y la ecuación de la recta (ecu. (6)):

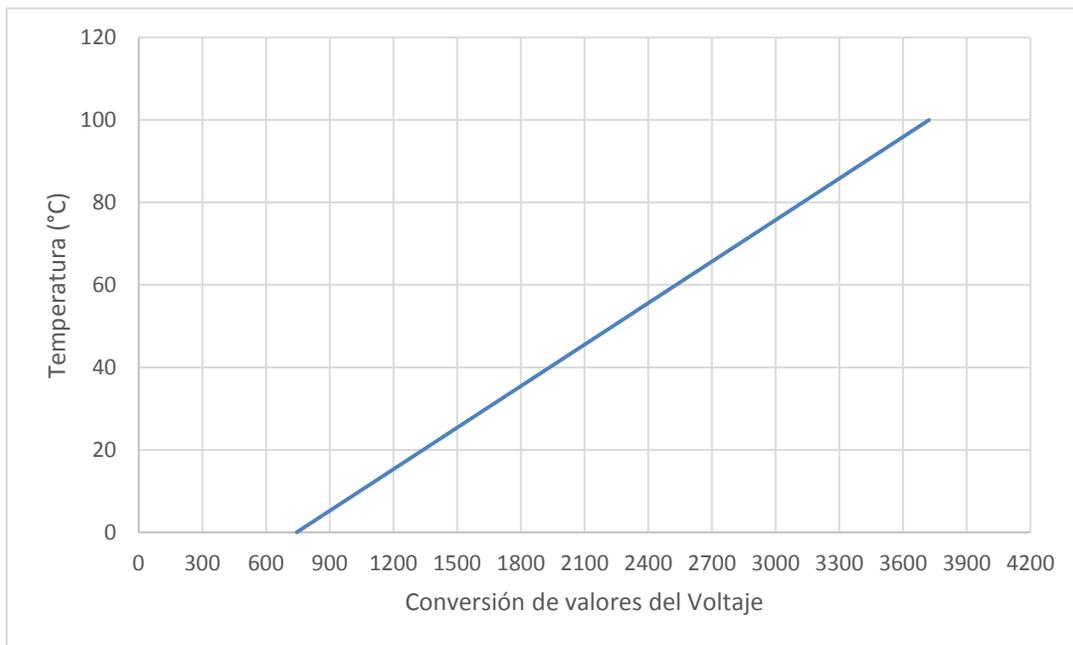


Figura 11. Temperatura Vs Conversión de valores del voltaje

$$m = \frac{y2-y1}{x2-x1} = \frac{100^{\circ}C-0}{3723-744} = 0,033^{\circ}C \quad (6)$$

Conociendo $x1$, siendo el punto de intercepción 744, la ecuación de la recta queda de la siguiente forma:

Convirtiendo el intercepto a la misma escala de medición,

$$b = -744 * 0,033 \text{ } ^\circ\text{C} = -24,55 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (7)$$

$$Z = ms + b \quad (8)$$

$$Z = 0,033s \text{ } (^\circ\text{C}) - 24,55 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (9)$$

Donde $s = \text{valor de Voltaje leído por el sensor.}$

De esta manera obtenemos nuestra ecuación final para realizar la conversión analógica a digital.

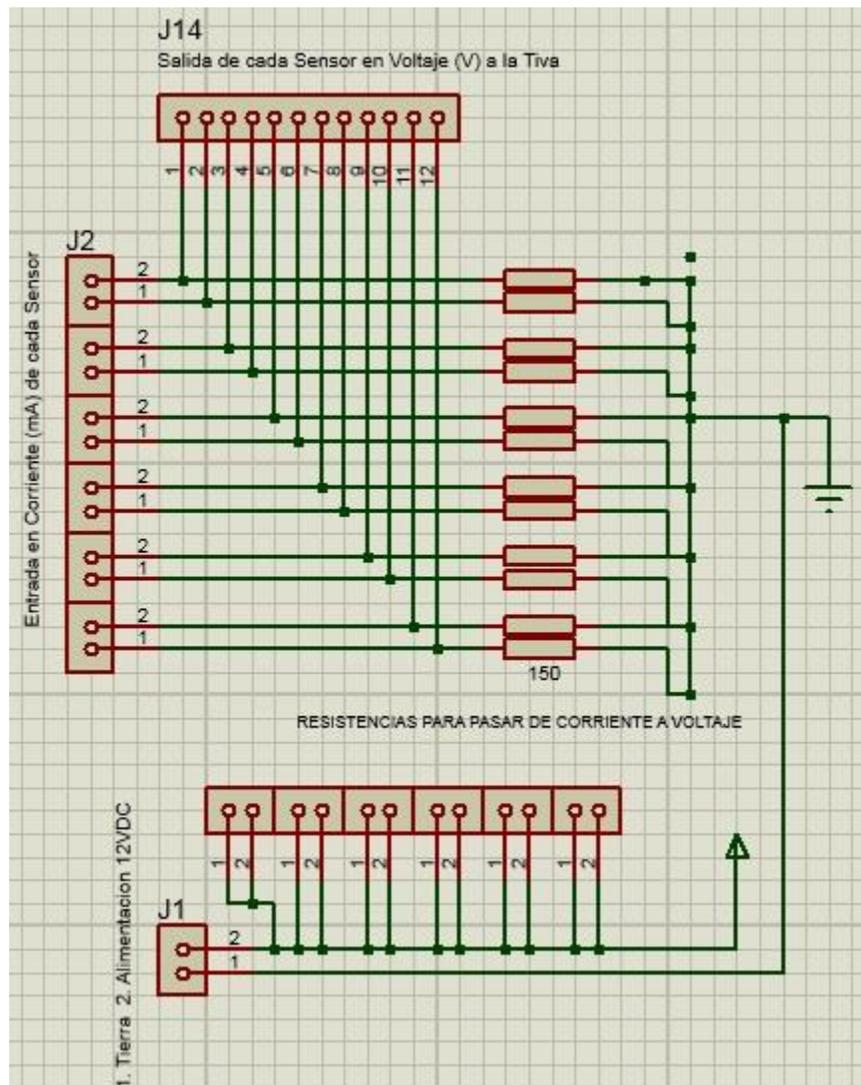


Figura 12. Diagrama de cableado en Proteus del circuito de adaptación de la señal

En La Figura 12. Observamos el diagrama de cableado en Proteus del circuito de adaptación de la señal luego de realizar los respectivos cálculos matemáticos.

3.4.2. Implementación de la tarjeta de adaptación de la señal

Se diseña en Proteus el PCB (Ver figura 13.), el cual tendrá entradas para 12 sensores, 12 salidas para los pines analógicos de la Tiva C, resistencias de 150Ω para convertir la señal de salida de corriente a voltaje, además las respectivas conexiones para la alimentación de los sensores.

En las Figura 14. observamos la tarjeta de adaptación en su vista inferior

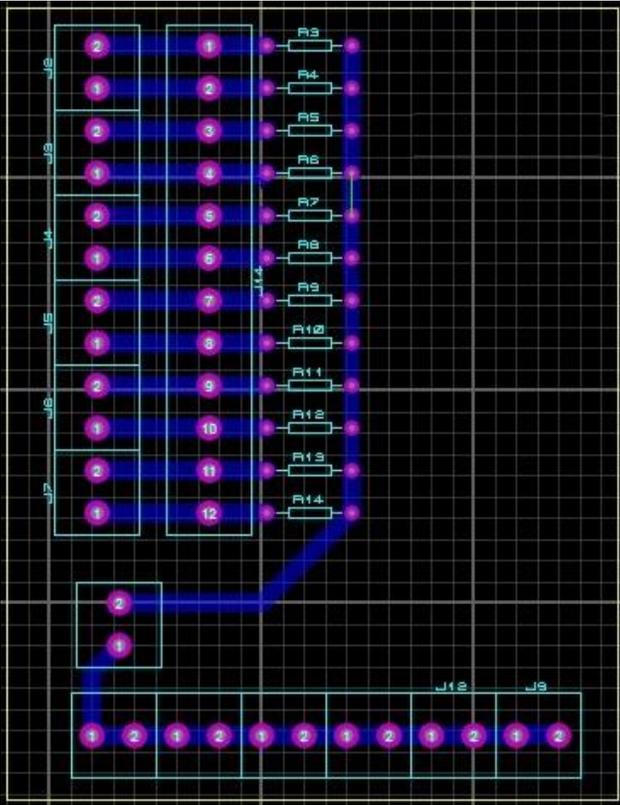


Figura 13. Diseño de la tarjeta de adaptación de la señal en Proteus

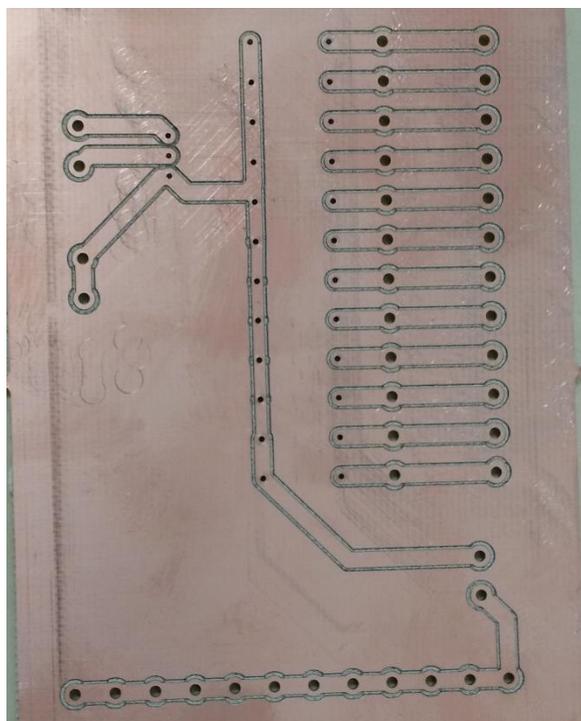


Figura 14. Tarjeta de adaptación de la señal vista inferior

3.4.3. Prueba de la tarjeta de adaptación de la señal

El código que se muestra a continuación, se realizó para las pruebas de las señales recibidas por los sensores y visualizar en la lcd 2x16. Se usa la librería LiquidCrystal para la lcd y para el teclado la librería Keypad. Los resultados de esta prueba, se pueden ver en la Figura 15 y Figura 16. para temperatura y humedad relativa ambiente, en la Figura 19. y Figura 18. al aumentar la temperatura.

```
#include <LiquidCrystal.h>    // libreria lcd
#include <Keypad.h>          // libreria teclado

const byte Filas = 4;       //Cuatro filas
const byte Cols = 4;       //Cuatro columnas

byte Pins_Filas[] = {PD_6, PC_7, PC_6, PC_5}; //Pines Tiva c para las filas
byte Pins_Cols[] = { PC_4, PB_3, PF_3, PF_2}; // Pines Tiva c para las columnas
char Teclas [ Filas ][ Cols ] =
{
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'7','8','9','C'},
  {'*','0','#','D'}
};

Keypad Teclado1 = Keypad(makeKeymap(Teclas), Pins_Filas, Pins_Cols, Filas, Cols);
LiquidCrystal lcd (PB_7,PD_7,PB_6,PA_4,PA_3,PA_2); // Pines de conexion de la lcd

int entra1(PE_1),entra2(PD_3),i,j,entemp1,entemp2;
float sensor1,promtemp1,contemp1,temp1,sensor2,promtemp2,contemp2,temp2;
```

```

int prueba;
void setup() {

  lcd.begin(16, 2); // inicializa la lcd
}

void loop() {

  contemp1=0;
  contemp2=0;

  char pulsacion = Teclado1.getKey() ; // Da el valor pulsado en el teclado a la variable
  if (pulsacion != 0){ // Si el valor es 0 es que no se ha pulsado nada

    if (pulsacion == '1'){
      prueba=1; // con el teclado selecciono la prueba que deseo hacer
    }

    if (pulsacion == '2'){
      prueba=2; //prueba sensor humedad Relativa
    }
  }

  if(prueba==1){ //prueba sensor temperatura
    lcd.clear(); // borro la lcd
    for (i=0;i<100;i=i+1){ // se leen 100 veces el sensor
      sensor1=analogRead(entra1); // almacena la lectura del sensor de temperatura en la
      variable (el dato es en decimal)
      temp1=(sensor1*0.033)-24.55; // formula del sensor de temperatura
      contemp1=contemp1+temp1; //contador del sensor de temperatura
    }
    promtemp1=contemp1/100; // promedio de las veces que se lee el sensor el dato es en
    decimal
    entemp1=promtemp1; // convierto de decimal a entero el dato
    lcd.setCursor(0, 0); // se inicia la lcd en la posición cero de la fila 0
    lcd.print("PRUEBA SENSOR TEMP"); // imprime en la lcd
    lcd.setCursor(0, 1); // se inicia la lcd en la posición cero de la fila 1
    lcd.print("TEMP="+String(entemp1)+(char)223+" C"); // imprime= Temp + Variable de
    temperatura + el caracter especial (°) +
    delay(60); //tiempo de visualizacion
    prueba=1; // el programa queda en prueba 1
  }

  if(prueba==2){ //prueba sensor Humedad Relativa
    lcd.clear(); // igual que el anterior
    for (j=0;j<100;j=j+1){
      sensor2=analogRead(entra2);
      temp2=(sensor2*0.033)-24.55;
      contemp2=contemp2+temp2;
    }

    promtemp2=(contemp2/100);
    entemp2=promtemp2;
    lcd.setCursor(0, 0);
    lcd.print("PRUEBA SENSOR HR");
    lcd.setCursor(0, 1);
  }
}

```

```
lcd.print(" HR= "+String(entemp2)+" %"); // imprime= HR + variable de humedad + %  
delay(55);  
prueba=2;  
}
```



Figura 15. Prueba sensor a temperatura ambiente



Figura 16. Prueba sensor a Humedad Relativa ambiente



Figura 17. Prueba sensor de temperatura aumentando la temperatura



Figura 18. Prueba sensor de Humedad Relativa aumentando temperatura

3.5. Implementación del sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa

Luego de realizar la prueba de funcionamiento de los sensores RIXEN TRH 303 a utilizar nos disponemos a la implementación del sistema.

La ubicación de los sensores en los secaderos es parte fundamental para obtener una medición exacta, para ello se opta por instalar dos sensores en cada secadero a monitorear para una mayor calidad en los datos obtenidos ya que la temperatura en las cámaras de secado no es homogénea, promediando estas dos lecturas en puntos distintos se intenta corregir esto. Cada secadero tiene unas dimensiones de 20.5m de largo x 5.5m de ancho x 2.9m de alto, los sensores se instalaron en diagonal por la parte superior en cada secadero a una distancia de 5m de largo y 1.20m de ancho, como lo muestra la Figura 19.

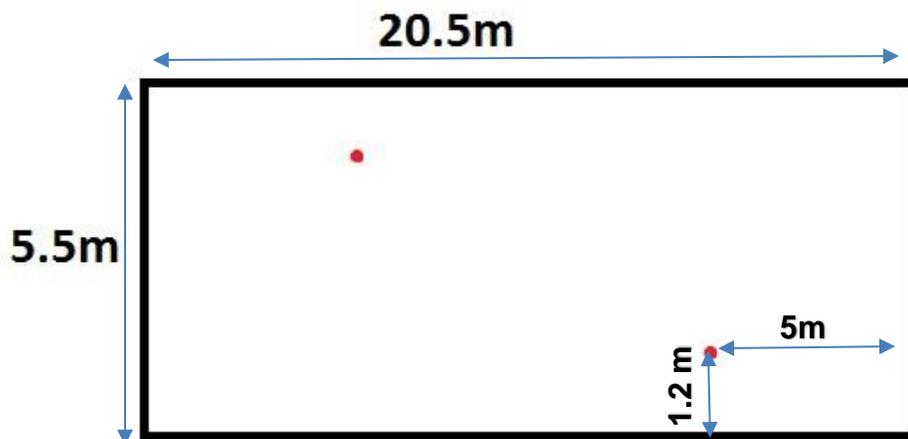


Figura 19. Ubicación de los sensores Rixen TRH 303 en cada secadero

La Figura 20. Nos deja ver la ubicación del Sistema de monitoreo luego de su implementación, junto a los secaderos 4 y 6; mientras la Figura 21. Nos enseña el secadero 5.

La Figura 22. y Figura 23. Muestran la ubicación de los sensores dentro del secadero 4.

La Figura 24. Es una toma superior del secadero 4, donde se observa la ubicación del sensor.



Figura 20. Sistema de monitoreo y Secaderos 4 y 6 vista frontal



Figura 21. Secadero 5 vista frontal

SENSOR 1 DENTRO DEL SECADERO 4



Figura 22. Ubicación del Sensor 1 dentro del secadero 4

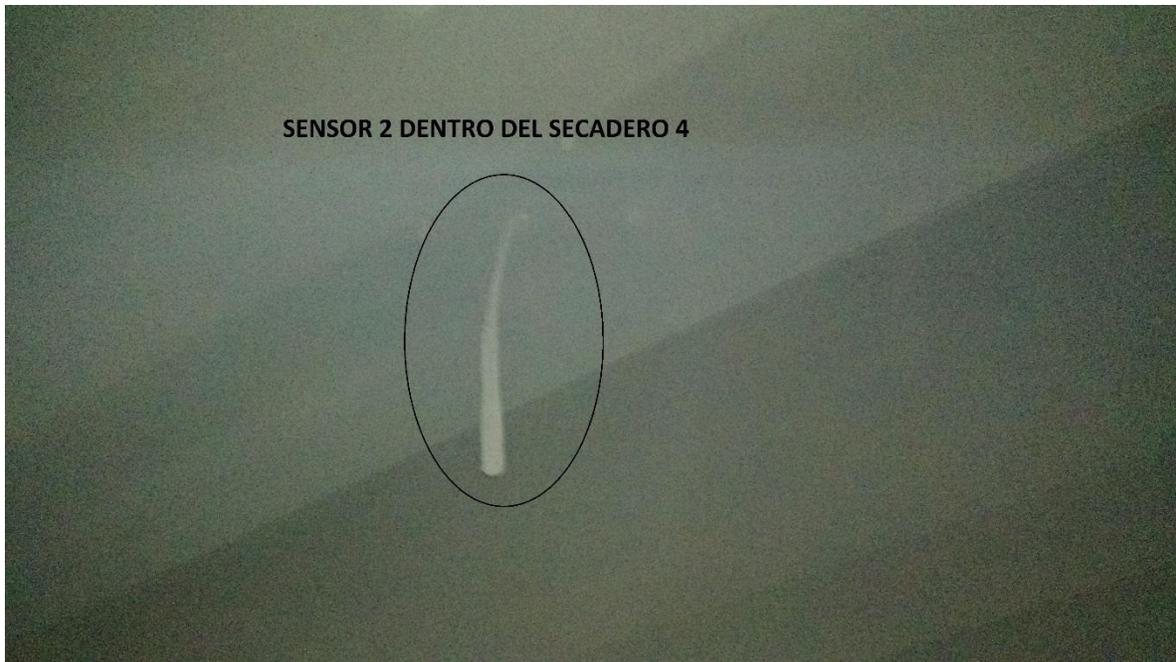


Figura 23. Ubicación del Sensor 2 dentro del secadero 4



Figura 24. Sensor instalado en el secadero 4 vista superior

A continuación, Figura 25. se muestra el diagrama de conexión del sensor Rixen TRH 303 con salida de corriente.

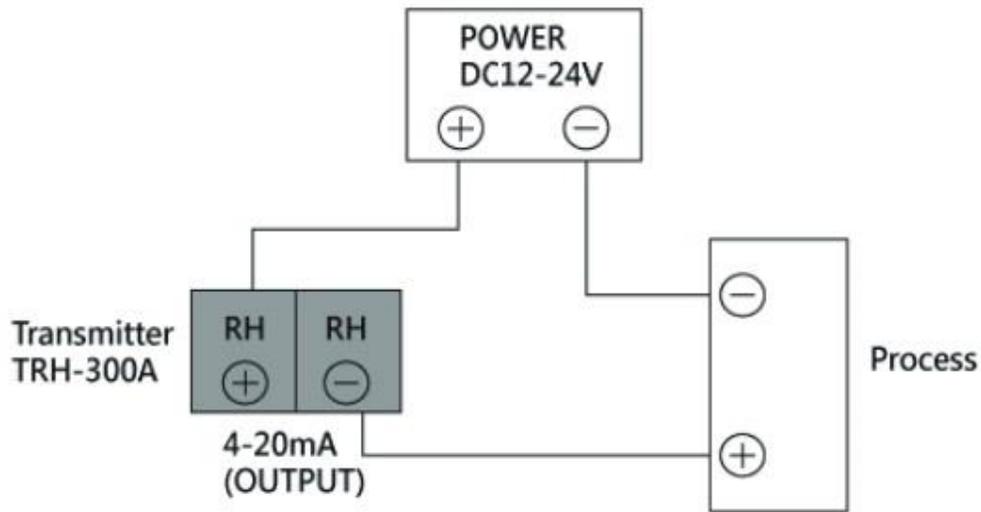


Figura 25. Diagrama de conexión del sensor Rixen TRH 303 con salida de corriente

La salida del sensor en corriente va a la entrada de la Figura 26. Donde por medio de la resistencia a tierra se convierte en salida de Voltaje la cual es la que va conectada a la Tiva C.

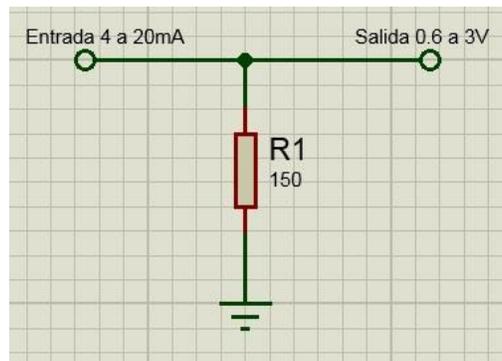
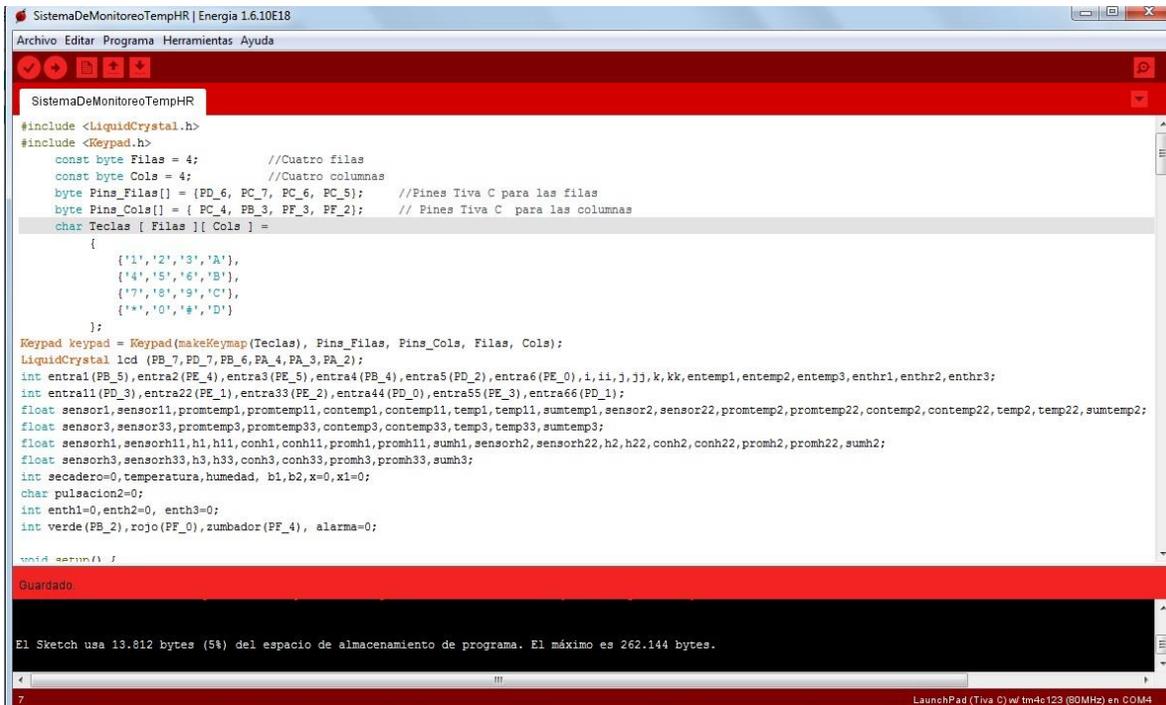


Figura 26. Esquema de la adaptación de la señal a la Tiva C

Luego de las conexiones respectivas de cada uno de los sensores de cada secadero a la tarjeta de adaptación y de esta a la Tiva c, además del teclado, módulo de relé que manejará los botones de inicio, control de alarma (zumbador y botón de alarma), se procede a la programación del sistema de monitoreo.

3.6. Programación del sistema de monitoreo

3.6.1. Declaración de variables



```
SistemaDeMonitoreoTempHR | Energia 1.6.10E18
Archivo Editar Programa Herramientas Ayuda

SistemaDeMonitoreoTempHR
#include <LiquidCrystal.h>
#include <Keypad.h>
const byte Filas = 4; //Cuatro filas
const byte Cols = 4; //Cuatro columnas
byte Pines_Filas[] = {PC_6, PC_7, PC_6, PC_5}; //Pines Tiva C para las filas
byte Pines_Cols[] = {PC_4, FB_3, PF_3, PF_2}; // Pines Tiva C para las columnas
char Teclas [ Filas ][ Cols ] =
{
  {'1','2','3','A'},
  {'4','5','6','B'},
  {'7','8','9','C'},
  {'*','0','#','D'}
};
Keypad keypad = Keypad(makeKeymap(Teclas), Pines_Filas, Pines_Cols, Filas, Cols);
LiquidCrystal lcd (PB_7,PD_7,PB_6,PA_4,PA_3,PA_2);
int entra1(PB_5),entra2(PF_4),entra3(PF_5),entra4(PB_4),entra5(PD_2),entra6(PF_0),i,ii,j,ii,k,kk,entemp1,entemp2,entemp3,enthr1,enthr2,enthr3;
int entra11(PD_3),entra22(PF_1),entra33(PF_2),entra44(PD_0),entra55(PF_3),entra66(PD_1);
float sensor1,sensor11,promtemp1,promtemp11,contemp1,contemp11,temp1,temp11,sumtemp1,sumtemp11,sensor2,sensor22,promtemp2,promtemp22,contemp2,contemp22,temp2,temp22,sumtemp2;
float sensor3,sensor33,promtemp3,promtemp33,contemp3,contemp33,temp3,temp33,sumtemp3;
float sensorh1,sensorh11,h1,h11,conh1,conh11,promh1,promh11,sumh1,sensorh2,sensorh22,h2,h22,conh2,conh22,promh2,promh22,sumh2;
float sensorh3,sensorh33,h3,h33,conh3,conh33,promh3,promh33,sumh3;
int secadero=0,temperatura,humedad, b1,b2,x=0,x1=0;
char pulsacion2=0;
int enth1=0,enth2=0, enth3=0;
int verde(PF_2),rojo(PF_0),zumbador(PF_4), alarma=0;

void setup() {
  Guardado

El Sketch usa 13.812 bytes (5%) del espacio de almacenamiento de programa. El máximo es 262.144 bytes.
LaunchPad (Tiva C) w/ tm4c123 (80MHz) en COM4
```

Figura 27. Declaración de variables

En la Figura 27. Vemos como se inicializan las librerías del teclado y lcd, luego se configuran los pines del teclado y se definen la cantidad de filas y columnas, se declaran los pines de la lcd, también las variables a usar, los pines del botón de inicio y los de la alarma (zumbador y botón de alarma)

3.6.2. Void setup

La función **setup()** se invoca una sola vez cuando el programa empieza. Se utiliza para inicializar los modos de trabajo de los pins, o el puerto serie. Debe ser incluido en un programa, aunque no haya declaración que ejecutar. Así mismo se puede utilizar para establecer el estado inicial de las salidas de la placa.

Se inicializa la lcd, luego se borra toda, imprimimos la pantalla de bienvenida, configuramos los pines de los botones de inicio y alarma (zumbador y botón de alarma) como salidas digitales y se deja encendido el botón de inicio, el botón de alarma en apagado. (Ver Figura 28.)

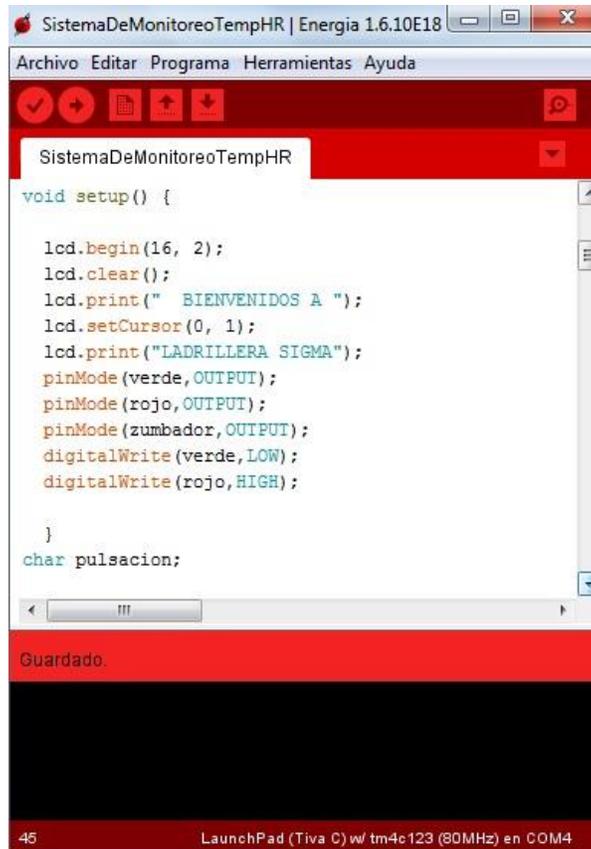


Figura 29. Void Setup

3.6.3. Void loop

Se inician las variables que van alojar los datos en cero, luego se inicializa el teclado y se revisa que tecla es la pulsada, las opciones son 4,5 y 6 para cada secadero respectivamente, 0 para volver a la pantalla inicial y * para desactivar la alarma.

```
void loop() {
  contemp1=0;
  contemp2=0;
  contemp3=0;
  contemp11=0;
  contemp22=0;
  contemp33=0;
  conh1=0;
  conh11=0;
  conh2=0;
  conh22=0;
  conh3=0;
  conh33=0;

  pulsacion = keypad.getKey() ;
  if (pulsacion != 0){ // Si el valor es 0 es que no se ha pulsado nada
    if (pulsacion == '0'){
      secadero=0;
      b1=1;
    }
  }
}
```

```

    if (pulsacion == '4'){
        secadero=4;
    }
    if (pulsacion == '5'){
        secadero=5;
    }
    if (pulsacion == '6'){
        secadero=6;
    }
    if (pulsacion == '*'){
        alarma=0;
    }
    lcd.clear();
    lcd.print(" SECADERO 00");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("T=");
    lcd.setCursor(5, 1);
    lcd.print((char)223);
    lcd.print("C ");
    lcd.print(" HR=  %");
}

```

Luego se verifica que tecla se pulsó, si se pulsa el 0 se vuelve a imprimir la pantalla de bienvenida, si se pulsa el 4,5 o 6 el programa hace lo siguiente:

Se toman 100 veces las muestras leídas por cada sensor de temperatura (se instalaron 2 sensores por secadero), esos resultados se multiplican por la ecuación **(9)** y se promedian. Como son valores flotantes, se convierten a enteros. Lo mismo se hace con los sensores de humedad.

La visualización solamente se toman los valores enteros obtenidos y se enseñan por la lcd.

```

if(secadero==0 && b1==1){
    lcd.begin(16, 2);
    lcd.clear();
    lcd.print(" BIENVENIDOS A ");
    lcd.setCursor(0, 1);
    lcd.print("LADRILLERA SIGMA");
    b1=0;
}

```

```

if(secadero==4){ //secadero 4
//TEMPERATURA 1
for (i=0;i<100;i=i+1){
    sensor1=analogRead(entra1);
    sensor11=analogRead(entra2);
    temp1=(sensor1*0.033)-24.55;
    temp11=(sensor11*0.033)-24.55;
    contemp1=contemp1+temp1;
    contemp11=contemp11+temp11;
}
promtemp1=contemp1/100;
promtemp11=contemp11/100;

```

```

sumtemp1=(promtemp1+promtemp11)/2;
entemp1=sumtemp1;

//HUMEDAD 1
for (ii=0;ii<100;ii=ii+1){
  sensorh1=analogRead(entra11);
  sensorh11=analogRead(entra22);
  h1=(sensorh1*0.033)-24.55;
  h11=(sensorh11*0.033)-24.55;
  conh1=conh1+h1;
  conh11=conh11+h11;
}
promh1=conh1/100;
promh11=conh11/100;
sumh1=(promh1+promh11)/2;
enth1=sumh1;

//VISUAIZACION
lcd.setCursor(13, 0);
lcd.print("4");
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print(" ");
lcd.setCursor(2, 1);
lcd.print(String(entemp1));
lcd.setCursor(12, 1);
lcd.print(String(enth1));
}

if(secadero==5){      // SECADERO 5

  //TEMPERATURA 2
  for (j=0;j<100;j=j+1){
    sensor2=analogRead(entra3);
    sensor22=analogRead(entra4);
    temp2=(sensor2*0.033)-24.55;
    temp22=(sensor22*0.033)-24.55;
    contemp2=contemp2+temp2;
    contemp22=contemp22+temp22;
  }
  promtemp22=(contemp22/100);
  promtemp2=(contemp2/100);
  sumtemp2=(promtemp2+promtemp22)/2;
  entemp2=sumtemp2;

  //HUMEDAD 2
  for (jj=0;jj<100;jj=jj+1){
    sensorh2=analogRead(entra33);
    sensorh22=analogRead(entra44);
    h2=(sensorh2*0.033)-24.55;
    h22=(sensorh22*0.033)-24.55;
    conh2=conh2+h2;
    conh22=conh22+h22;
  }
  promh2=conh2/100;
  promh22=conh22/100;
  sumh2=(promh2+promh22)/2;
}

```

```

sumh2=promh2;
enth2=sumh2;

    //VISUAIZACION
    lcd.setCursor(13, 0);
    lcd.print("5");
    //lcd.setCursor(7, 1);
    //lcd.print(String(entemp1));
    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print(String(entemp2));
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print(String(enth2));
}

if(secadero==6){
    //TEMPERATURA 3
    for (k=0;k<100;k=k+1){
        sensor3=analogRead(entra5);
        sensor33=analogRead(entra6);
        temp3=(sensor3*0.033)-24.55;
        temp33=(sensor33*0.033)-24.55;
        contemp3=contemp3+temp3;
        contemp33=contemp33+temp33;
    }
    promtemp33=(contemp33/100);
    promtemp3=(contemp3/500);
    sumtemp3=(promtemp3+promtemp33)/2;
    entemp3=sumtemp3;

    //HUMEDAD 3
    for (kk=0;kk<100;kk=kk+1){
        sensorh3=analogRead(entra55);
        sensorh22=analogRead(entra66);
        h3=(sensorh3*0.033)-24.55;
        h22=(sensorh22*0.033)-24.55;
        conh3=conh3+h3;
        conh22=conh22+h22;
    }
    promh3=conh3/100;
    promh22=conh22/100;
    sumh2=(promh2+promh22)/2;
    sumh3=promh3;
    enth3=sumh3;

    //VISUAIZACION
    lcd.setCursor(13, 0);
    lcd.print("6");
    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print(" ");
    lcd.setCursor(2, 1);
    lcd.print(String(entemp3));
    lcd.setCursor(12, 1);
    lcd.print(String(enth3));
}

```

La alarma es un condicional, la cual se iniciará si alguna de las temperaturas dentro de cada secadero > 75 °C o si la Humedad relativa > 60%. Si se cumple alguna de estas condiciones se enciende la luz roja dando la señal de alerta, esta advertencia cambia solamente cuando ninguna de las anteriores condiciones se cumpla. El zumbador también enciende al cumplirse cualquiera de esas condiciones y se desactiva con la tecla *. El esquema final implementado en Proteus lo vemos en la Figura 29.

```
// ALARMA

if (entemp1>75 || entemp2>75 || entemp3>75 || enth1>60 || enth2>60 || enth3>60){
  digitalWrite(rojo,LOW);
  if (alarma==1){
    digitalWrite(zumbador,LOW);
  }
  else{
    digitalWrite(zumbador,HIGH);
  }
}
else {
  alarma=1;
  digitalWrite(rojo,HIGH);
  digitalWrite(zumbador,HIGH);
}
```

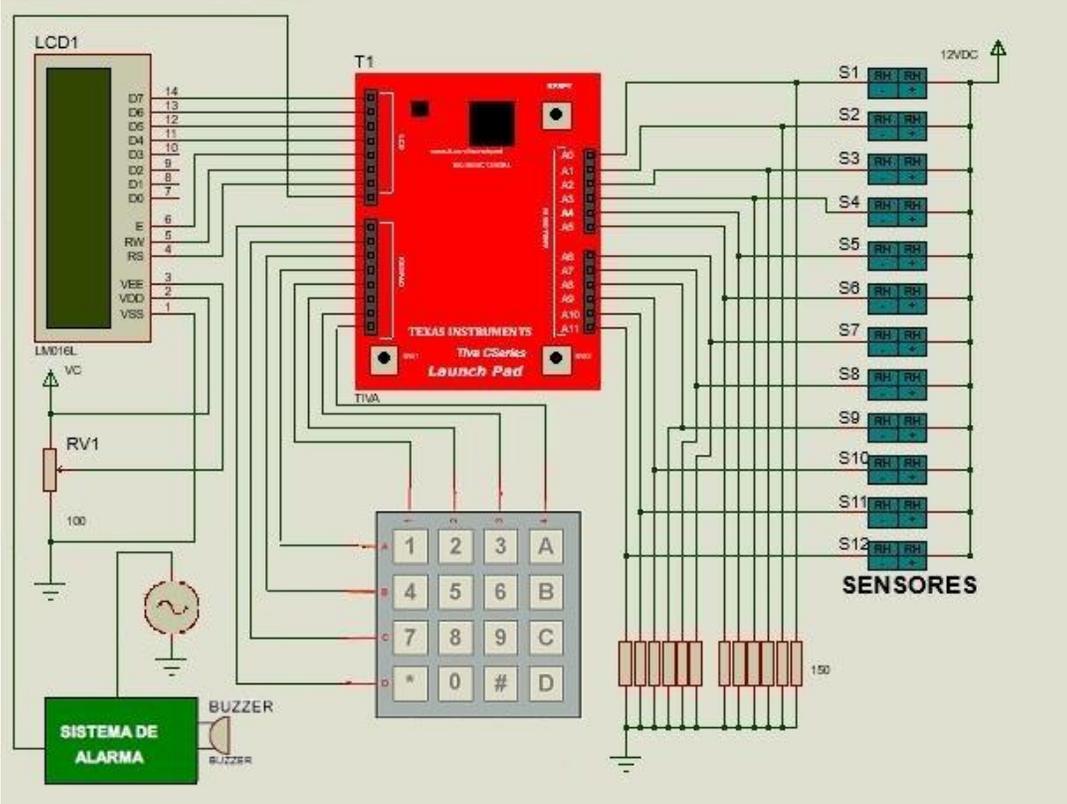


Figura 29. Esquema Final Sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa

4. ANALISIS Y RESULTADOS

4.1. Prueba Sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa

En la ladrillera Sigma LTDA ubicada en el municipio de los Patios, Norte de Santander, se realizaron las pruebas con el sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa para las cámaras de secado 4, 5 y 6 ubicados allí. En las siguientes imágenes (Figuras 30. A 35.) se observan dichas pruebas.



Figura 30. Prueba 1 del secadero 6



Figura 31. Prueba 2 del secadero 6



Figura 32. Prueba 1 secadero 5



Figura 33. Prueba 2 secadero 5



Figura 34. Prueba 1 secadero 4



Figura 35. Prueba 2 Secadero 4

Todas estas mediciones fueron corroboradas por el Higrómetro que utiliza la empresa SIGMA LTDA en las cámaras de secado, estos valores son llevados en unas tablas de registro mediante el proceso realizado en las cámaras de secado artificial. (Ver Tabla 3.) de la sección 4.1.1.

En la Figura 36. observamos una medición del Higrómetro como instrumento patrón de nuestras mediciones.



Figura 36. Instrumento Patrón Vs sistema de monitoreo

La Figura 36. fue tomada luego de tener el Higrómetro en la cámara de secado número 4, salir rápidamente de ella y comprobar con el valor dado por nuestro sistema de monitoreo implementado.

4.1.1. Margen de error

La Tabla 3. Muestra los resultados de las mediciones realizadas por el sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa; comparada con las tablas de registros que lleva la ladrillera Sigma mediante el proceso de secado artificial. Estas mediciones se realizaron a temperatura ambiente y con aumento de temperatura dentro de las cámaras de secado, esto para su posterior análisis del margen de error.

N° de Cámara de Secado	Temperatura (°C) Tabla de Registros	Humedad relativa (%) Tabla de Registros	Temperatura (°C) Sistema de monitoreo	Humedad Relativa (%) Sistema de monitoreo
4	50	30	50	30
4	33	60	33	61
5	35	52	35	51
5	35	45	35	45
6	50	30	50	30
6	33	62	33	63

Tabla 3. Valores tabla de registro Ladrillera Sigma Vs Datos obtenidos

$$\%e = \frac{\text{Valor exacto} - \text{Valor aproximado}}{\text{Valor exacto}} \quad (10)$$

SECADERO 4.

$$\%et1 = \frac{50 - 50}{50} = 0\%$$

$$\%eHr1 = \frac{30 - 30}{30} = 0\%$$

$$\%et2 = \frac{33 - 33}{33} = 0\%$$

$$\%eHr2 = \frac{60 - 61}{60} = 1,66\% \quad (11)$$

SECADERO 5.

$$\%et1 = \frac{35 - 35}{35} = 0\%$$

$$\%eHr1 = \frac{52 - 51}{52} = 1,66\%$$

$$\%et2 = \frac{35 - 35}{35} = 0\%$$

$$\%eHr2 = \frac{45 - 45}{45} = 0\% \quad (12)$$

SECADERO 6.

$$\%et1 = \frac{50 - 50}{50} = 0\%$$

$$\%eHr1 = \frac{30 - 30}{30} = 0\%$$

$$\%et2 = \frac{33 - 33}{33} = 0\%$$

$$\%eHr2 = \frac{62 - 63}{45} = 1,66\% \quad (13)$$

4.2. Limitantes

En el diseño de nuestro sistema de monitoreo de temperatura y humedad relativa en las cámaras de secado artificial de la ladrillera SIGMA LTDA, la tarjeta Tiva series C TM4123G solo nos permite la captura de 12 muestras obtenidas por los sensores de temperatura y humedad relativa, conllevando esto al poder monitorear solamente 3 cámaras de secado.

La falta de un operario especializado y de una oficina adecuada con los requisitos mínimos nos impide el uso de una interfaz hombre maquina (HMI) para el sistema.

4.3. Análisis económico

El costo económico de este proyecto se muestra a continuación en las siguientes tablas:

NOMBRE	CANTIDAD	COSTO (\$)
Tarjeta Tiva Series C TM4C123G	1	80.000
Tarjeta de adquisición	1	60.000
Módulo relé 4 salidas	1	20.000
Piloto led	2	9.600
Caja empalme 30x30x15 cm	1	40.000
Interruptor Breaker	1	12.000
Tomacorriente doble	1	3.000
Caja 4x2 PVC	1	500
Lámina acrílica 3mm 30 x 20 cm	1	8.000
Sensores Rixen TRH 303	12	1.200.000
Cable calibre 20 de 4 hilos x 100m	1	190.000
Pantalla Lcd 2x16	1	13.000
Teclado Matricial 4x4 de membrana	1	13.000
Fuente de poder 12VDC	1	20.000
Cargador 5VDC	1	20.000
Sticker 31x31 cm	1	20.000
Cable Duplex calibre 16 x metro	5	6.000
Zumbador	1	12.000
Cables de conexión (Jumper)	80	16.000
Tornillos con tuercas	14	1.400
Chazos metálicos	3	1.500
Broca ½ Pulgada	1	3.000
Transporte	1	352.000
Mano de obra	1	5.000.000
Total		7.101.000

Tabla 4. Presupuesto del proyecto

El presupuesto total para la construcción de este sistema monitoreo de temperatura y humedad relativa tiene un costo total de: **\$7.101.000** (Siete millones ciento un mil pesos colombianos) en materiales y mano de obra.

4.4. Análisis Costo-beneficio-riesgo

El costo de implementación del proyecto es de \$ **7.101.000**

El tiempo estimado de funcionamiento del proyecto sin llevar a cabo ninguna otra inversión es de 3 años, debido a la alta calidad de los componentes utilizados en su realización, análisis de hoja de datos, frecuencia de funcionamiento y su tiempo de uso.

El Beneficio se estima en **\$5.500.000** por año, en los factores de mejoramiento del producto evitando agrietamientos debido a la monitorización constante de estas variables y a su sistema de alarma, reduciendo un accidente laboral ya que tocaría capacitar a un nuevo operario para esta labor y estos gastos correrían por la empresa.

$$\frac{\text{Beneficio anual}}{\text{costo total}} = \frac{\$5.500.000}{\$ 7.101.000} = 0,774 \quad (14)$$

En 3 años el beneficio será de:

$$\frac{\text{Beneficio en 3 años}}{\text{costo total}} = 0,774 \times 3 = 2,32 \quad (15)$$

Esto quiere decir que, por cada peso invertido, en 3 años su valor aumentara en 2,32 pesos.

El riesgo que nuestro sistema deje de funcionar va estar latente, uno de las eventuales causas para que esto ocurra sería una falla en el fluido eléctrico, otra sería la avería de uno de los componentes del sistema siendo las dos muy poco probables. Además, estas fallas serian parciales conllevando a retomar la forma que se usaba anteriormente para llevar a cabo dichas mediciones.

5. CONCLUSIONES

Se desarrolló la electrónica necesaria para el diseño e implementación del sistema de monitoreo haciendo uso de un análisis matemático para la obtención de la ecuación de conversión de la magnitud no eléctrica a eléctrica para luego por medio de la ley de ohm y usando una resistencia de 150 Ω a tierra para la conversión de la señal de corriente a voltaje dentro del rango de conversión del ADC por la Tiva C TM4C123G.

Se implementó el sistema de adquisición y se diseñó con la ayuda de herramientas computacionales las cuales nos facilitan este proceso siendo de gran utilidad para el desarrollo en la industria.

Se analizó que con la implementación del sistema la relación beneficio/costo en 3 años, satisface la ecuación $\frac{\text{Beneficio}}{\text{costo total}} > 1$, por lo tanto, el proyecto es rentable durante este tiempo de funcionamiento, donde por cada peso invertido, en 3 años su valor aumentara en 2,32 pesos. El riesgo de que el sistema deje de funcionar estará a la orden del día, en caso tal que suceda, la solución más practica seria retornar al antiguo método de medición mientras se soluciona el inconveniente

Se validó el sistema de monitoreo en las cámaras de secado obteniendo un margen de error del máximo del 1.66% cuando la temperatura o humedad relativa superó los 50°C ó 50% y el error mínimo del 0% se dio cuando la temperatura o humedad relativa fue inferior a 50°C ó 50%.

5.1. Recomendaciones

El cableado de los sensores fue realizado por la empresa Sigma Ltda., como se puede observar en la Figura 24. este cableado no cuenta con la normatividad vigente del Manual Código eléctrico colombiano (NTC 2050) o de la ANSI, en cuanto a la protección con canalización del cableado.

6. BIBLIOGRAFÍA

- [1] D. Cruz, J. Ariza, E. Molina y I. Olivos, Sistema embebido para monitoreo de temperatura y humedad en invernadero basado en microcontrolador de 32 bits con conexión Ethernet, Puebla, 2013.
- [2] R. Cárdenas, D. Velásquez y C. Rodríguez, Sistema de control de variables de temperatura y humedad relativa para el laboratorio de agromática del SENA Cartago, 2015.
- [3] T. Mendoza, Diseño de un sistema de secado artificial para la producción de la ladrillera la victoria, CARTAGENA DE INDIAS, 2000.
- [4] F. Moreno, Diseño y cálculo de un sistema de control y monitoreo de los consumos de corriente en los motores de los secaderos de la ladrillera sigma., Cucuta, 2013.
- [5] U. A. d. Occidente, «si3ea.gov.co,» [En línea]. Available: <http://www.si3ea.gov.co/Portals/0/Gie/Procesos/ceramica.pdf>. [Último acceso: 16 05 2017].
- [6] O. Araujo y W. Ferreira, Utilización de las Cenizas del Carbón en la elaboración de ladrillos para construcción, 1978.
- [7] J. P. Beancur y J. F. Gelves, Diagnóstico de los procesos de secado, cocción y manejo ambiental en las empresas productoras de tableta vidriada de la zona metropolitana de san José de Cúcuta, cucuta, 2006.
- [8] «catarina.udlap.mx,» [En línea]. Available: http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/cabrera_v_a/capitulo5.pdf. [Último acceso: 16 05 2017].
- [9] O. Bernal, A. Cháves, E. Ospina y W. Gómez, «Dispositivo para monitoreo de temperatura, humedad y Ph en sistemas de lombricultura,» pp. 2-5.
- [10] R. Meza, Implementación de una cámara Isohigrométrica para la calibración de higrómetros analógicos y digitales, Lima, 2015.
- [11] [En línea]. Available: <https://www.ti.com/ww/en/launchpad/launchpads-connected-ek-tm4c123gxl.html>.
- [12] «energia,» [En línea]. Available: <http://energia.nu/>.
- [13] J. Montoya, «Tecniambiental,» 2009. [En línea]. Available: www.tecniambiental.com.

- [14] N. Blanco, Diseño de un sistema de monitoreo de variables temperatura y humedad, Bucaramanga, 2012.
- [15] J. Rodriguez, Diseño de un sistema inalámbrico para el monitoreo en tiempo real de temperatura y humedad relativa bajo invernadero, Bogotá, 2006.
- [16] F. Blanco y J. Daza, Optimización del proceso de producción de la Ladrillera La Victoria, Cartagena, 1998.
- [17] H. Dubbel, MAnnual del constructor de máquinas, Barcelona: Labor, 1977.
- [18] V. Faires, Diseño de elementos de máquinas, Aragón: Montanev y Simón, 1970.
- [19] E. Figueroa y J. Martinez, Diseño de un Horno para la cocción de ladrillo cerámicos utilizando gas natural como combustibles, Cartagena, 2000.
- [20] R. Treybal, Operaciones de transferencia de masa, Ciudad de México: McGraw-Hill, 1988.