



Universidad del Azuay

Facultad de Ciencia y Tecnología

Escuela de Ingeniería Electrónica

**Diseño de un Sistema de Ventilación para controlar la
humedad y temperatura dentro de un silo**

**Trabajo de graduación previo a la obtención del título de
Ingeniero Electrónico**

Autores: Ismael Orlando Carrera Vanegas
Adriana Ruth Segarra Narváez

Director: Ing. Santiago Orellana

Cuenca - Ecuador

2010

TRABAJO DE FIN DE GRADUACION

DISEÑO DE UN SISTEMA DE VENTILACIÓN PARA CONTROLAR LA HUMEDAD Y TEMPERATURA DENTRO DE UN SILO

Resumen

En la agricultura es importante la conservación de los granos en perfectas condiciones durante el almacenaje del mismo para mantener su calidad. Siendo el exceso de temperatura y humedad las causas principales del deterioro del grano. El uso de un sistema de ventilación con refrigeración artificial y de un sistema de termometría inalámbrico ZigBee impide el deterioro del grano o pérdidas por infestaciones controlando la temperatura dentro del silo. Permitiendo la identificación de cualquier problema dentro del mismo atacando oportunamente. Obteniendo un beneficio económico para el producto además de un grano en mejores condiciones para el consumidor final.

Abstract

It is important in agriculture to preserve grain in good conditions during storage to maintains the quality. Generally temperature and humidity are the main causes of grain damage. The use of an artificial ventilation cooling system and a ZigBee wireless thermometry system allows to identify any problem inside the silo, preventing grain damage and loss due to infestations by controlling the temperature. Main advantages of the system are: get a better grain, avoid losses during storage, energy saving, get a more natural and healthy grain for the consumer and economic benefits to the producer.

Resumen Ejecutivo

En el ámbito de la agricultura es muy importante la conservación de los granos en perfectas condiciones durante el almacenaje del mismo para mantener su calidad.

Al almacenar el grano, se tiene la oportunidad de esperar la mejor época para venderlo, obteniendo mayores ganancias económicas. De igual manera, de existir una sobreproducción del grano superando la capacidad de procesamiento de la planta, ya sea en la etapa de limpieza o secado, podemos almacenar el grano sobrante en lugar de desecharlo.

Las causas que pueden favorecer la modificación y deterioro del arroz se atribuyen esencialmente al exceso de temperatura y humedad del producto o de los locales en los que se almacena. Este factor provoca y aumenta el desarrollo de parásitos, promueve la proliferación de hongos y bacterias e inicia alteraciones enzimáticas hasta entonces latentes.

Por estas razones se propone el diseño de un sistema de ventilación con refrigeración artificial que mantenga los niveles de humedad y temperatura óptimos para la correcta conservación del grano sin que exista pérdida de peso o calidad del mismo. La refrigeración de granos consiste en modificar y acondicionar artificialmente el aire atmosférico entregándolo al granel una temperatura más baja que la ambiental.

Obteniendo así una reducción en la población de hongos e insectos, ya que no pueden reproducirse por debajo de los 15 °C, por lo que manteniendo los granos por debajo de esa temperatura se inhibe el crecimiento de los mismos. Así, el uso de insecticidas será solo de prevención, teniendo un ahorro económico considerable y además entregando un grano en mejor estado, con un mayor poder germinativo y sin contaminantes.

Mediante el uso de refrigeración artificial la duración del ciclo de enfriado es menor y permite independizarse de las condiciones climáticas externas. Estos equipos pueden funcionar aún con elevadas temperaturas, excesiva humedad o hasta con precipitaciones.

Los granos tienen muy baja conductibilidad térmica, lo cual es un inconveniente al momento de enfriarlos, pero una vez fríos es un beneficio porque la baja temperatura alcanzada en el granel perdura en el tiempo.

Para conocer las condiciones de temperatura y humedad dentro del silo, se propone un sistema de termometría inalámbrico ZigBee el cual nos permite identificar de una manera rápida y eficaz cualquier foco de calor o humedad. Al ser inalámbrico es fácilmente escalable y con mayor fiabilidad ya que se elimina la vulnerabilidad al daño físico de los cables y conectores asociados.

Se presentarán los datos del proyecto en un sistema SCADA, en un panel gráfico y de fácil utilización, el cuál controlará el funcionamiento del sistema de refrigeración y proveyendo un interfaz entre el sistema y el usuario.

Las ventajas que se obtendrán de la implementación del sistema se pueden resumir en la obtención de un mejor grano, evitar pérdidas por mal acondicionamiento durante el almacenamiento, ahorro económico por la disminución del uso de químicos haciendo del grano un producto más apreciado en el mercado.

1. Fundamentación del proyecto

En este apartado se dará una descripción del proyecto basado en sus antecedentes y justificación. Se definirán los objetivos que se desean alcanzar.

1.1. Planteamiento del tema y definición del alcance

Se realizará el Diseño de un Sistema de Ventilación para controlar la humedad y temperatura dentro de un silo de arroz. Para la transmisión de datos entre los sensores y actuadores del sistema se utilizará tecnología inalámbrica ZigBee y se centralizará la información en un sistema SCADA.

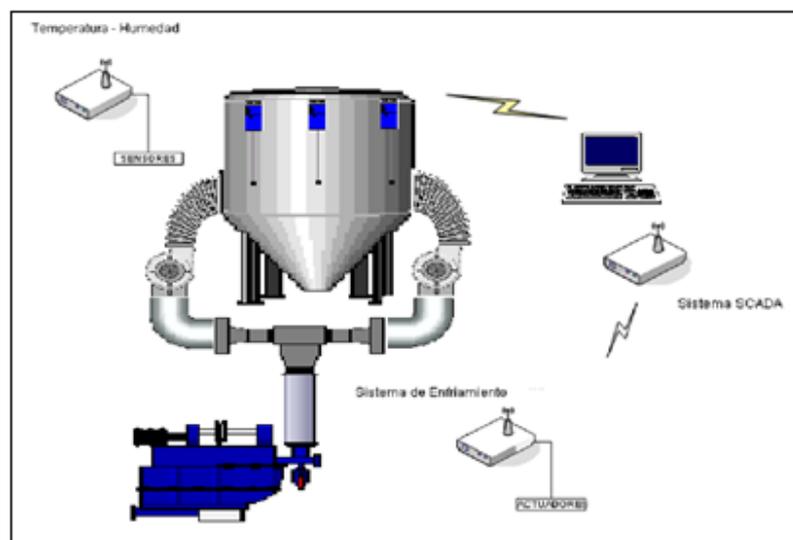


Figura 1. Esquema del Control para un Silo.

Como se muestra en la Figura 1, el diseño del sistema está enmarcado en tres áreas:

Sensores y actuadores.- Se realizará la investigación teórica sobre las características técnicas de los sensores y actuadores que se utilizarán en el sistema.

Sistema SCADA.- Se diseñará el panel frontal del SCADA y se definirá las funciones que debe cumplir para controlar la humedad y temperatura dentro del silo.

Red ZigBee.- Se diseñará la red para comunicar a las diferentes áreas del sistema. Realizando la investigación técnica de los dispositivos elegidos.

1.2. Antecedentes

En el ámbito de la agricultura es muy importante la conservación de los granos en perfectas condiciones durante el almacenaje del mismo para mantener su calidad.

En Ecuador tenemos dos épocas de cosecha: la de invierno y verano. Periodos donde hay una sobreoferta abaratando los precios de los granos, provocando comúnmente pérdidas al agricultor. El gobierno para solventar este problema mediante su organismo Unidad Nacional de Almacenamiento (UNA) tiene plantas de acopio ubicadas en la costa del país.

Al almacenar el grano se tiene la oportunidad de esperar la mejor época para venderlo, obteniendo mayores ganancias económicas. De igual manera, de existir una sobreproducción del grano superando la capacidad de procesamiento de la planta, ya sea en la etapa de limpieza o secado, podemos almacenar el grano sobrante en lugar de desecharlo.

El arroz se almacena con cáscara con cierto contenido de humedad (normalmente el 14%), continúa la respiración perfeccionando la maduración que se completa tanto más, cuanto más largo es el período de reposo o de envejecimiento.

Las causas que pueden favorecer la modificación y deterioro del arroz se atribuyen esencialmente al exceso de temperatura y humedad del producto o de los locales en los que se almacena. Este factor provoca y aumenta el desarrollo de parásitos, promueve la proliferación de hongos y bacterias e inicia alteraciones enzimáticas hasta entonces latentes.

En la actualidad, la temperatura y humedad son medidas manual y aleatoriamente por operarios. Estas medidas no bastan para conocer el estado del grano dentro del silo, ya que son tomadas solo en algunas áreas pudiendo ser ignorados focos de calor existentes. Además, los operarios son los que deciden cuándo encender el sistema de ventilación. Comúnmente éste es encendido por las noches sin tener control de las condiciones del aire que ingresa, pudiendo incluso empeorar las condiciones internas del silo. Así mismo, el tiempo de encendido de ventiladores es

constante sin importar si estos son necesarios o no, produciendo un consumo de energía innecesario.

1.3. Justificación

Se propone el diseño de un sistema de ventilación con refrigeración artificial, que busca mantener los niveles de humedad y temperatura óptimos para la correcta conservación del grano sin que exista pérdida de peso o calidad del mismo. La refrigeración de granos consiste en modificar y acondicionar artificialmente el aire atmosférico entregándolo al granel a una temperatura más baja que la ambiental.

También se obtendrá una reducción de la reproducción de hongos e insectos. Los insectos no pueden reproducirse por debajo de los 15 °C (5), por lo que manteniendo los granos por debajo de esa temperatura y dependiendo de las especies, el metabolismo de los insectos es bajo y se realiza un control parcial, inhibiendo el aumento de las poblaciones, siendo el uso de insecticidas mucho menor teniendo un ahorro económico.

Mediante el uso de refrigeración artificial se acorta la duración del ciclo de enfriado y permite independizarse de las condiciones climáticas externas. Estos equipos pueden funcionar aún con elevadas temperaturas, excesiva humedad o hasta con precipitaciones.

Los granos tienen muy baja conductibilidad térmica, lo cual es un inconveniente al momento de enfriarlos, pero una vez fríos es un beneficio porque la baja temperatura alcanzada en el granel perdura en el tiempo. Se obtendrá una reducción en el consumo de energía aprovechando mejor los recursos, ya que los actuadores se encenderán solo cuando sea necesario y por un periodo de tiempo menor.

1.4. Objetivo General

Diseñar el sistema de adquisición y procesamiento de señales de los sensores para la activación de los elementos actuadores para mantener una temperatura y humedad relativa.

1.5. Objetivos Específicos

- Recopilar la teoría que sustenta el proyecto.
- Diseñar la red ZigBee entre los sensores y actuadores del proyecto.
- Diseñar un sistema SCADA el cual se encargará del control de temperatura y humedad del grano.
- Realizar un estudio económico del proyecto, exponiendo las ventajas que tendría la implementación de este en la industria y su costo.

2. Marco Conceptual

2.1. Proceso de post-cosecha del arroz

El sistema de post-cosecha del arroz comprende cierto número de actividades y de funciones sucesivas que se pueden calificar en dos categorías:

Actividades técnicas: cosecha, secado, trilla, limpieza, secado, almacenamiento y transformación.

Actividades económicas: transporte, comercialización, control de calidad, administración y gestión.

Las principales actividades se definen a continuación:

Cosecha.- El momento de la cosecha está determinado por el estado o el grado de madurez del grano. En el caso de los cereales es conveniente distinguir la madurez de los tallos, de las espigas y de los granos, porque todo eso incide sobre la continuación de las operaciones, particularmente sobre el almacenamiento y la conservación.

Transporte.- Una cosecha bien madura requiere muchas precauciones durante el transporte, ya que si va desgranándose, el grano caerá en el camino antes de llegar al lugar de almacenamiento o trilla. El cargamento y el primer transporte de la cosecha son por lo tanto función del lugar de las condiciones donde debe ser almacenada, en vista particularmente de la trilla.

Limpieza.- En la planta de acopio se da la pre-limpieza del grano, eliminando todas las impurezas como tierra, restos de hojas y tallos, material fino, etc. Estas impurezas suelen tener más humedad que el propio grano, acarreado insectos y predisponen el desarrollo de hongos. Un grano limpio fluye más, facilita la tarea de aireación y secado, permitiendo un periodo de almacenamiento mayor sin comprometer la calidad del grano.

Secado.- Cuando el arroz es cosechado, no es un producto apto para almacenar y guardar ya que viene del arrozal con cierto grado de humedad, que fluctúa según las condiciones ambientales, variando de 18 a 30 %HR. Por lo que es necesario el secado. Por medio de este procedimiento se le bajara la humedad del grano, hasta que se obtenga una humedad óptima para su almacenamiento de 14%HR (13).

Las secadoras pueden ser de tinajas donde el arroz se mantiene estacionario y se le inyecta aire y calor, o columnares en donde el arroz se mantiene en movimiento pasando por bafles, en donde se le inyecta aire caliente a su paso.

Trilla.- Se denomina trilla a la operación que se hace con los cereales para separar el grano de la paja. La trilla de una cosecha no suficientemente seca tiene muchas posibilidades de ser incompleta. Además, el grano trillado demasiado húmedo e inmediatamente apilado o almacenado será mucho más sujeto a los ataques de microorganismos y su conservación será limitada.

Almacenamiento.- Un almacenamiento duradero y eficaz presupone buenas condiciones de instalación, de higiene y de vigilancia. En las estructuras cerradas conviene controlar ante todo la limpieza, temperatura y la humedad del grano. En general podemos clasificar a los sistemas de almacenamiento, según la atmósfera del lugar donde se guardan los granos en:

- **Atmósfera Normal.-** Es un almacenamiento en el cual el aire que rodea a los granos prácticamente tiene la misma composición que el aire atmosférico. Es el tipo de almacenamiento más difundido: silos malla de alambre, celdas, galpones, etc.
- **Atmósfera Modificada.-** En este sistema de almacenamiento, se procura modificar la atmósfera interior del lugar donde se almacenan los granos con el fin de restringir la disponibilidad del oxígeno del aire y así poder disminuir los procesos de respiración de los hongos e insectos. Al faltar oxígeno, también se evita la oxidación de los granos disminuyendo su deterioro.

Aireación de Granos.- El principal objetivo es controlar la temperatura del granel por medio del ingreso de aire externo al mismo. Los aspectos más importantes a tener en cuenta para una correcta aireación son(13):

- Disponer de silos con ventiladores con un caudal de 2,5 a 9 m³ de aire/ h /m³ de grano.
- Ingresar grano limpio para facilitar el pasaje del aire entre la masa de granos.
- Utilizar termometría para detectar posibles aumentos de temperatura en el granel y controlarlos con aireación.
- Airear cuando la humedad relativa (HR) es menor al 75% o cuando se cuente con 5 °C o más de diferencia entre el aire ambiente y el grano (aire más frío que el grano), independientemente de la HR del aire.

Los granos son materiales higroscópicos, es decir, tienden a recibir o entregar humedad al ambiente que los rodea. Equilibrando su humedad con la de los espacios intersticiales. Se han estudiado las humedades de equilibrio de diferentes granos en diferentes condiciones. Estas gráficas se denominan Isotermas (ver Tabla 1).

		Porcentaje de Humedad Relativa											
		40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Temp °C	Contenido de Humedad %												
18	10	11	12	12	13	14	15	16	17	18	20	22	
20	10	11	12	12	13	14	14	15	16	18	19	22	
22	10	11	11	12	13	13	14	15	16	18	19	22	
24	9.8	10	11	12	13	13	14	15	16	17	19	22	
26	9.6	10	11	12	12	13	14	15	16	17	19	22	
28	9.4	10	11	12	12	13	14	15	16	17	19	22	
30	9.3	9.9	11	11	12	13	14	14	16	17	19	21	
32	9.1	9.8	11	11	12	13	14	14	16	17	19	21	
34	9	9.6	10	11	12	13	13	14	15	17	18	21	
36	8.8	9.5	10	11	12	12	13	14	15	17	18	21	
38	8.7	9.3	10	11	12	12	13	14	15	16	18	21	
40	8.5	9.2	9.9	11	11	12	13	14	15	16	18	21	

Tabla 1. Isotermas del Grano(4)

Comercialización.- La comercialización constituye un componente final y decisivo del sistema post-cosecha, aunque pueda intervenir a diferentes momentos de la cadena agroalimentaria. Además es inseparable del transporte, que es un eslabón esencial del sistema.

2.2. Redes de comunicación ZigBee

Las redes ZigBee son en la actualidad las más populares que se basan en el estándar IEEE 802.15.4. Este tipo de redes emplean el nivel físico y de acceso al medio (MAC) definido en el estándar IEEE para “Low-Rate Wireless Personal Area Networks (WPANs)”, y en el nivel de aplicación emplean su especificación propietaria. Una de las características fundamentales de ZigBee (y del resto de especificaciones) es que permite varios tipos de organización de los diferentes nodos de la red, en configuraciones como maestro – esclavo (igual que en Bluetooth) y sobre todo en redes auto-organizativas o redes malladas.

Otra característica importante de este tipo de redes de área personal es que son totalmente autónomas. Esto significa que los dispositivos de comunicaciones ZigBee cuentan con alimentación propia, con lo que es posible acoplarlos a cualquier tipo de sistema de forma remota, como sensores o actuadores sin necesidad de funcionar sobre un ordenador. La red en su conjunto utilizará una cantidad muy pequeña de energía de forma que cada dispositivo individual pueda tener una autonomía de hasta 3 años antes de necesitar un recambio en su sistema de alimentación.

Dadas las características de bajo consumo de la red, el alcance de cada unidad ZigBee es muy limitado: en interiores 30m y en exteriores 100m. Sin embargo, la red como tal puede aumentar ilimitadamente su cobertura mediante configuraciones como la mencionada de red en malla auto-organizativa (red mesh), que hace que todos los nodos se comporten como routers y, de esta manera dar servicio a grandes extensiones.

En cuanto a las bandas de frecuencia utilizadas, actualmente la mayoría de las soluciones ZigBee trabajan en 2.4 GHz, existiendo además para la banda de 915 MHz en Norteamérica y 868MHz en Europa (ver Tabla 2). La banda de frecuencia 2.4GHz, es una banda libre de licencia, así un producto ZigBee se puede utilizar por todo el mundo sin complicaciones legales y administrativas.

Bandas de Frecuencia	Rango de Trabajo	Canal	Tasa de Transferencia	Locación
868 MHz.	868 - 868.6 MHz.	1	20 kbps	Europa
915 MHz.	902 - 928 MHz.	10	40 kbps	EEUU - Australia
2.4 GHz.	2.405 - 2.48 GHz.	16	250 kbps	Universal

Tabla 2. Características de las redes ZigBee para cada frecuencia

ZigBee posee además la característica de permitir comunicaciones en tiempo real, utilizando conceptos muy similares a las redes tipo CAN. Para ello tiene la posibilidad para definir la prioridad en todos los mensajes que son emitidos por los nodos. Esto se alcanza gracias a que se garantiza el intervalo de tiempo de transmisión para cada nodo, de modo que los mensajes prioritarios puedan ser enviados tan rápidamente como sea posible.

Como ya se ha comentado, la principal ventaja y posibilidad de negocio de las redes ZigBee son la posibilidad de integrar su sistema de comunicaciones inalámbrico con sensores y actuadores para que funcionen de manera totalmente autónoma, sin necesidad de cableado. Además su capacidad para funcionar en tiempo real con auto reconfiguración de la red en caso de nodos dañados, hace que sus aplicaciones en el campo de la automatización sean múltiples, sobre todo a la hora de sustituir buses cableados cuyos nodos exigen tiempo real.

2.3. Sistema SCADA

Los sistemas SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition / Adquisición de datos y supervisión de control) son aplicaciones de software, diseñadas con la finalidad de controlar y supervisar procesos basándose en la adquisición de datos. Permitiendo controlar el proceso desde una estación remota, para ello el software brinda una interfaz gráfica que muestra el comportamiento en tiempo real permitiendo tomar acciones físicas sobre los diferentes actuadores de cada estación. La comunicación se realiza mediante buses especiales o redes LAN. Las funciones principales que un sistema SCADA tiene que cumplir son:

Adquisición de datos.- Esto nos permite recoger, procesar y almacenar la información recibida de forma continua y fiable.

Supervisión.- Para observar desde un monitor en tiempo real la evolución de las variables de control y tener una monitorización de estas por medio de alarmas.

Control.- Pudiendo modificar la evolución del proceso, actuando sobre los reguladores autónomos básicos o actuadores específicos.

Transmisión.- De información con dispositivos de campo y otros PCs mediante diferentes medios de comunicación.

Base de datos.- Permitiendo la gestión de datos con bajos tiempos de acceso.

Presentación.- Es la representación gráfica de los datos. Interfaz del operador o HMI (Human Machine Interface)

Explotación.- De los datos adquiridos para gestión de la calidad, control estadístico, gestión de la producción, etc.

Alertar al operador de cambios detectados en la planta, tanto aquellos que no se consideren normales (alarmas) como cambios que se produzcan en la operación diaria de la planta (eventos). Estos cambios pueden ser almacenados en el sistema para su posterior análisis.

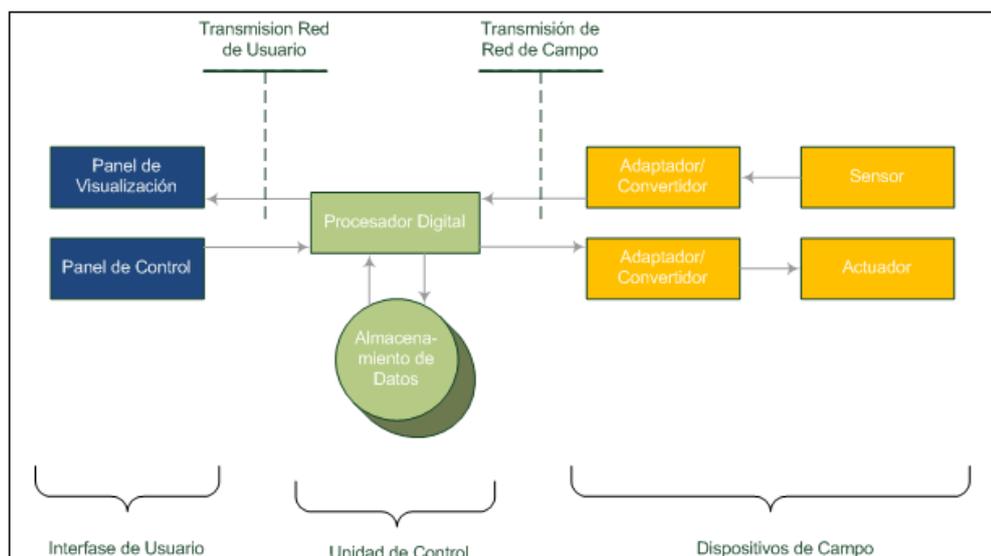


Figura 2. Esquema de un Sistema SCADA(14)

3. Levantamiento de información primaria y secundaria

3.1. Variables a controlar

Las variables a controlar en el proyecto son la humedad y temperatura del arroz dentro del silo.

Temperatura

La temperatura es un elemento de diagnóstico de alteraciones dentro del silo, ya que todo deterioro es acompañado por la liberación de calor. A menor temperatura menor respiración de los granos, al igual que menor cantidad de pérdida de peso por respiración y deshidratación. Además los insectos no son activos con temperaturas menores a 15°C y los ácaros no son activos con temperaturas menores a 5°C(5). Los límites de temperatura para el desarrollo de la mayoría de los insectos que atacan los granos almacenados varían entre 20 y 35°C (ver Figura 5).

También cabe recordar que a bajas temperaturas menor desarrollo de hongos, menor respiración y degradación de los plaguicidas residuales y menor difusión y efectividad de los fumigantes. Cuando se refrigeran los granos, el uso de insecticidas disminuye fuertemente, quedando limitado al uso de insecticidas de protección de equipos e instalaciones, por aspersión o nebulización.



Figura 3. Efecto de la Temperatura sobre los insectos(2)

Humedad

El nivel de humedad de los granos es un factor fundamental para su conservación, influye directamente sobre su velocidad de respiración. Los granos almacenados con humedad de entre 11 y 13 % tienen un proceso respiratorio lento. Sin embargo, si se aumenta el contenido de humedad, se acelera considerablemente la respiración provocando deterioro del grano.

El contenido de humedad de los granos es un factor crítico para la sobrevivencia del insecto. Los insectos toman del grano la humedad que requieren para sus procesos vitales. El aumento del contenido de humedad favorece la proliferación de los insectos; sin embargo, por sobre un cierto límite, el desarrollo de microorganismos inhibe el de los insectos. Los granos de cereales con humedad inferior al 10% inhiben la actividad de los insectos, pero no es recomendado por la pérdida de peso que existiría.

Un mal manejo de la temperatura y la humedad puede ocasionar dos tipos de daños:

- Daños directos dados por el consumo y contaminación del grano.
- Daños indirectos producidos por un calentamiento y migración de humedad.

El alimento básico de los insectos es el almidón, éste y otros componentes del grano se metabolizan liberando calor y humedad, pudiendo generar intensos focos de calor, esta diferencia de temperatura en la masa de granos conlleva movimientos de aire que termina con incrementos de humedad en las zonas más frías. Otros daños son transmisión de enfermedades, distribución de hongos y otros microorganismos. Además se produce un incremento en los costos de almacenamiento por el uso de insecticidas y distribución de micotoxinas. Al tener un correcto control sobre la temperatura y humedad del grano se puede extender el tiempo de almacenamiento, como se muestra en la Figura 4.

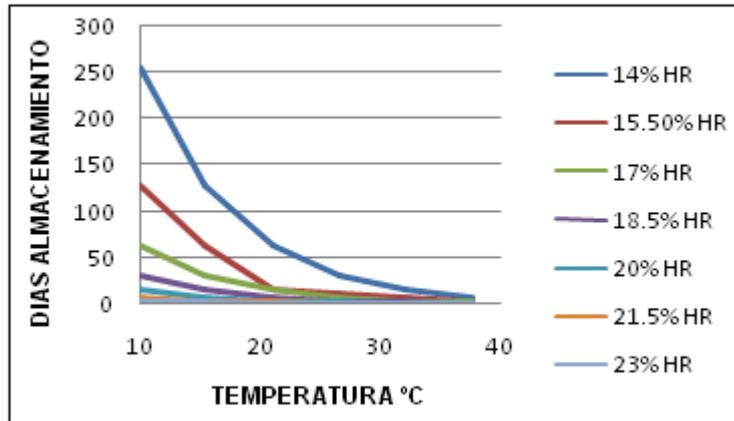


Figura 4. Tiempo de Almacenamiento en función de HR y Temperatura

La acción de la temperatura sobre la conservación de los alimentos es conocida universalmente. Los alimentos se conservan mejor en ambientes refrigerados que en altas temperaturas, sobre todo si su contenido de humedad es elevado. Este hecho se basa en el principio de que la mayoría de las reacciones químicas se aceleran con el aumento de la temperatura. Los granos almacenados tienen menor posibilidad de deterioro cuando están fríos.

Las bajas temperaturas pueden compensar los efectos de un alto contenido de humedad y evitar el desarrollo de microorganismo, insectos y ácaros que atacan los granos almacenados. Por lo que el objetivo del sistema es disminuir y mantener la temperatura dentro del silo de manera que podamos cumplir con los puntos antes descritos, diseñando la implementación de recursos que permitan el control del mismo.

Para conocer la temperatura y humedad del silo se diseñara una red de sensores con comunicación inalámbrica ZigBee, que forman el sistema de termometría; y un sistema de enfriamiento que consiste en insuflar aire frío (producido artificialmente) a través de la masa de granos. El proceso es interrumpido cuando la temperatura de los granos se encuentra entre 10 y 15 °C.

El frío es conducido por el sistema de aireación sin utilizar el ventilador, el proceso puede durar horas, días o semanas, en función del tamaño de los silos, potencia de la máquina, producto a enfriar, localización geográfica y principalmente del diseño de los ductos de aireación. La temperatura se mantendrá estable por varios meses dependiendo de las condiciones climáticas y de la estructura de almacenaje.

3.2. Metodología de Trabajo

La metodología de trabajo será investigación bibliográfica y métodos interrogativos, en este caso entrevistas a instituciones arroceras para evaluar la factibilidad de la implementación del proyecto.

3.3. Recursos Humanos

Director: Ing. Santiago Orellana

Estudiantes: Adriana Segarra

Ismael Carrera

3.4. Cronograma de Actividades

En la Tabla 3 se muestran las actividades a realizarse como el tiempo dedicado a cada una de ellas.

SEMANA	ACTIVIDADES						
	APROBACION PROYECTO	DEFENSA PROYECTO	MARCO TEORICO	DESARROLLO TECNICO	ESTUDIO ECONOMICO	REVISION Y CORRECCION	PRESENTACION
Semana 1							
Semana 2							
Semana 3							
Semana 4							
Semana 5							
Semana 6							
Semana 7							
Semana 8							
Semana 9							
Semana 10							
Semana 11							

Tabla 3. Cronograma de Actividades

3.5. Actividades realizadas

1. Se realizó una investigación bibliográfica de cada tema que está involucrado en este proyecto, tanto en el plano agrícola como en el tecnológico. Se estudió el proceso de post-cosecha del arroz para conocer las condiciones a las que este tiene que ser almacenado. Se investigó sobre la termometría de un silo, principalmente la distribución de los sensores y la cantidad necesaria para una medición real.

2. Se averiguó las diferentes plantas de almacenamiento que tiene el Ecuador con su Unidad de Almacenamiento, y se decidió realizar el diseño en la Planta Una de Babahoyo, al cual cuenta con 18 silos de trabajo de 104 Toneladas cada uno y 10 silos de almacenamiento de 3000 T cada uno.
3. El siguiente paso consistió en encontrar una plataforma ZigBee que permitiera implementar el diseño propuesto con un costo eficaz y en un corto periodo de tiempo. A pesar de que ofrecían bajos costos, los chips ZigBee requerían diseños RF costosos en tiempo y dinero. En cambio, los módulos ZigBee ya contenían el diseño RF con toda la circuitería necesaria, además de la antena. Los módulos ZigBee simplemente necesitaban ser montados en una PCB, lo que proporcionaba mayor flexibilidad y ahorro de tiempo y costos durante las fases de diseño y prototipo. Además, no se requiere experiencia en RF para la implementación de módulos ZigBee. Por lo que se seleccionó la gama de productos 4-noks de 2-EMBEDCOM.
4. Para la elección del sistema de refrigeración se tuvo en cuenta las capacidades de refrigeración, potencia consumida y movilidad. Ya que el proyecto está diseñado para un solo silo, se escogió el sistema de refrigeración LK 70-MI de la empresa MULTI (ver Anexo 5). Si se tratara de una planta de silos la elección tendría que ser con un sistema de refrigeración de mayor capacidad, debido a la reducción del tiempo de enfriamiento más que al consumo eléctrico.
5. Se realizó el diseño del sistema SCADA, cada uno de sus paneles tomando en cuenta las necesidades del usuario presentando el estado general del sistema de una manera clara y fácil.
6. Se desarrolló el análisis económico del proyecto mediante la cotización de los elementos que forman parte de este. Además se realizó una comparación del costo de almacenamiento utilizando los métodos tradicionales y el sistema presentado.

4. Gestión de productos

4.1. Red Inalámbrica de Sensores

Una red inalámbrica de sensores, es una red que consiste en dispositivos autónomos distribuidos de forma espacial que utilizan sensores para monitorear condiciones físicas y ambientales. Los nodos de medida distribuidos se comunican de manera inalámbrica a un gateway central, el cual proporciona una conexión al entorno cableado donde se puede adquirir, procesar, analizar y presentar datos de medida. Para incrementar la distancia y la fiabilidad en una red de sensores inalámbrica, se puede usar routers para lograr un enlace de comunicación adicional entre los nodos finales y el gateway.

Ventajas de la tecnología inalámbrica

- Reducción del desorden, costos e instalación de cables.
- Reducción de manipulación y robo de cables en lugares remotos.
- Reducción de vulnerabilidad al daño físico, sobre todo en ambientes hostiles.
- Eliminación de la falta de fiabilidad de los cables y conectores asociados.
- No requiere instalación de infraestructura de cableado de comunicaciones.
- Las redes ZigBee son flexibles y robustas.
- No hay necesidad de conexiones de alimentación y productos de control.
- Dispositivos móviles (no hay re-cableado).
- El sistema es escalable y flexible a grandes dimensiones.
- Entrega de datos en tiempo real para la toma de decisiones como la activación de alarmas, etc.

Al decidir que tecnología usar se debe tomar en cuenta las necesidades del proyecto. En este caso son las de cubrir distancia física, tener bajo consumo de energía, baja tasa de transmisión, baja seguridad y soportar varios dispositivos dentro de la red. Por lo que Bluetooth queda descartado ya que permite como máximo 8 dispositivos por piconet (red bluetooth). Igualmente Wi-Fi se descarta porque, a pesar de tener una tasa de transferencia alta y mayor seguridad, necesita

alimentación externa. Por estas razones se eligió la tecnología ZigBee que es la que mejor cumple con los requerimientos del proyecto (ver Tabla 3).

Características	ZigBee	Wi-Fi	Bluetooth
Tasa de transferencia	20, 40 y 250 kbps	11 y 54 Mbps	1Mbps
Rango	10 - 100 metros	50 - 100 metros	10 metros
Topología de red	Ad-hoc, punto a punto, estrella o mesh	Punto a hub	Ad-hoc, redes muy pequeñas
Frecuencia de operación	2,4 GHz	2,4 y 5 GHz	2,4 GHz
Complejidad	Baja	Alta	Alta
Consumo de energía	Muy bajo	Alto	Medio
Tiempo de conexión	Menos de 30 ms	3-5 segundos	10 segundos
Aplicaciones típicas	Control industrial, redes de sensores, automatización, etc.	Acceso a internet de banda ancha.	Conexión entre teléfonos, PDA, auriculares, etc.

Tabla 4. Comparación entre tecnologías

Las características más destacadas de la red ZigBee son:

- ZigBee tiene un consumo de 30mA transmitiendo y de 3uA en reposo. Este menor consumo se debe a que el sistema ZigBee se queda la mayor parte del tiempo dormido.
- Debido a su baja tasa de transmisión y a características propias del estándar IEEE 802.15.4 su desempeño no se ve afectado a pesar de coexistir en la misma frecuencia con otro tipo de redes como Wi-Fi o Bluetooth. Utiliza las capas MAC y física de éste estándar lo que le otorga un excelente desempeño en medios de baja relación de señal ruido (SNR).
- Capacidad de operar en redes de gran densidad, aumentando la confiabilidad de la comunicación, ya que entre más nodos existan dentro de una red, mayor número de rutas alternas existirán para garantizar que un paquete llegue a su destino. Permitiendo a la red auto-recuperarse de problemas en la comunicación.

Dispositivos de una red ZigBee

Se definen tres tipos diferentes de dispositivos ZigBee según su papel en la red:

Coordinador ZigBee (ZigBee coordinator, ZC).- Es el nodo central de toda la red ZigBee responsable de iniciar la red y mantenerla hasta cierto punto. Puede almacenar información sobre la red y actuar como su centro de confianza en la distribución de claves de cifrado. Normalmente, el coordinador se alimenta por la línea general, porque genera y recibe gran cantidad de información, y debe permanecer siempre encendido para mantener el funcionamiento de la red.

Router ZigBee (ZR).- Además de ofrecer un nivel de aplicación para la ejecución de código de usuario, puede actuar como router interconectando dispositivos separados en la topología de la red, extendiendo la cobertura y la flexibilidad de la red.

Dispositivo final (ZigBee end device, ZED).- Posee la funcionalidad necesaria para comunicarse con su nodo padre (el coordinador o un router), pero no puede transmitir información destinada a otros dispositivos. De esta forma, este tipo de nodo puede estar dormido la mayor parte del tiempo, aumentando la vida media de sus baterías. Un ZED tiene requerimientos mínimos de memoria y es por tanto significativamente más barato.

Topologías de una Red ZigBee

ZigBee permite tres topologías de red como se muestra en la Figura 5.

- Topología en estrella: el coordinador se sitúa en el centro.
- Topología en árbol: el coordinador será la raíz del árbol.
- Topología malla: al menos uno de los nodos tendrá más de dos conexiones.

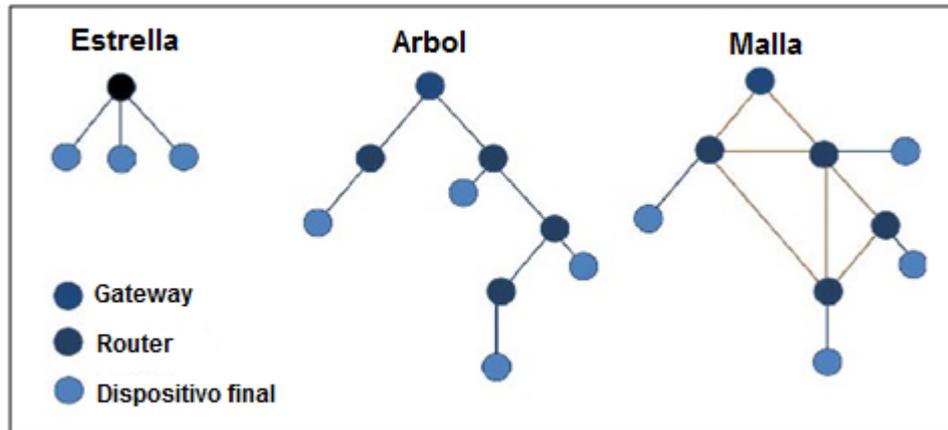


Figura 5. Tipos de topologías de una red ZigBee(36)

Funcionamiento de la Red

La red soporta dos modos de funcionamiento: con o sin balizas. Dicha baliza sirve para sincronizar todos los nodos de la red, de modo que estos puedan despertarse en un momento determinado (conocido por todos), enviar los datos almacenados y volver al modo de ahorro energético (sleep). El coordinador es el encargado de seleccionar uno u otro en el momento de iniciar la red.

La baliza es generada periódicamente por el coordinador y distribuida por toda la red gracias a los routers o nodos. Así, tanto el coordinador, como los routers y los dispositivos finales pueden pasar gran parte del tiempo en modo de bajo consumo. Los intervalos de las balizas son asignados por el coordinador de la red y pueden variar desde los 15/ms hasta 4/minutos.

Lo primero que tendrá que hacer, un dispositivo que quiera intervenir, lo primero que tendrá que hacer es registrarse para el coordinador, y es entonces cuando mira si hay mensajes para él. En el caso de que no haya mensajes este dispositivo vuelve a “dormir”, y se despierta de acuerdo a un horario que ha establecido previamente el coordinador. En cuanto el coordinador termina el “balizamiento” regresa al modo de ahorro de energía.

4.2. Termometría de un Silo

Es un sistema basado en sensores que permite controlar y monitorear en forma automática la temperatura y humedad interior del silo, como también la activación y programación de los actuadores del mismo para mantener un ambiente controlado. Este diseño está hecho para un silo con capacidad de 3000 Toneladas con las siguientes dimensiones(29):

- diámetro: 16m
- altura cilindro: 14m.
- altura cono: 5.76m.
- altura techo: 4.76m.

La estructura donde se monta el sistema está compuesta de caños de acero inoxidable 304 pulido, con 5 sensores por caño, separados entre sí 3 metros, y con un radio de sensibilidad de 3.5 metros. Para cubrir el volumen total del silo se necesitaran 9 caños, es decir un total de 45 sensores. Es importante no reducir el número de sensores en este punto debido a que cualquier cambio de temperatura dentro del silo es significativo y un cambio de 5°C indica que una situación a controlar que podría dañar el grano almacenado.

En la Figura 6 se muestra la localización de los sensores y su rango de cobertura. Se ha procurado que exista un solapamiento entre ellos, para minimizar cualquier error que pueda tener la medición.

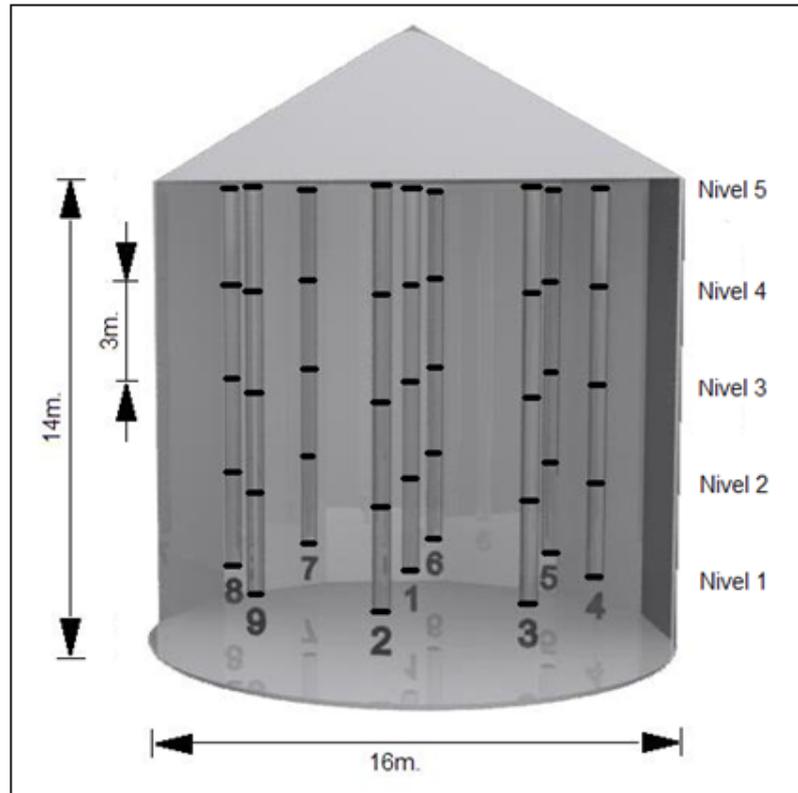


Figura 6. Ubicación de sensores

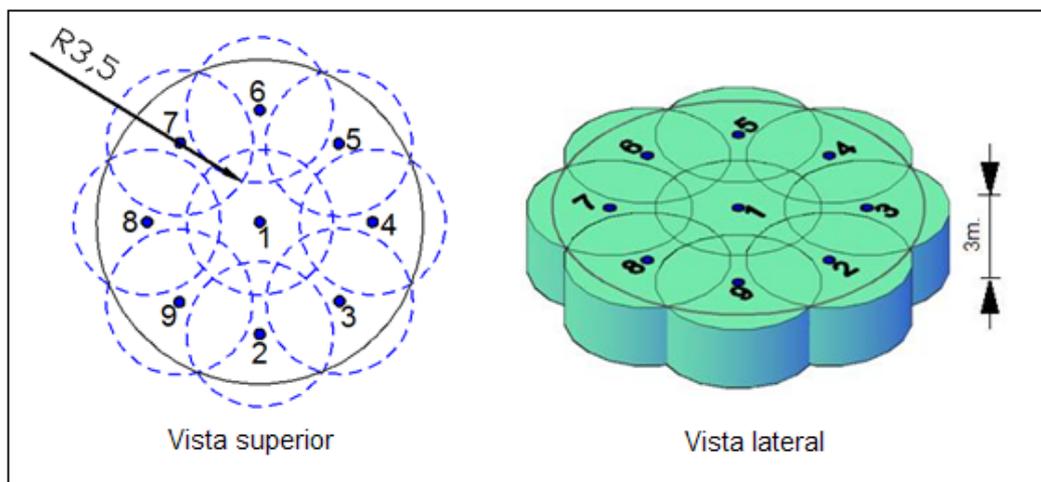


Figura 7. Cobertura Sensores

Selección sensores

Típicamente se utilizan termopares tipo T para la medición de temperatura dentro del silo. Sin embargo se han seleccionado sensores inalámbricos ZigBee de la gama 4-noks de 2-EMBEDCOM, específicamente el nodo ZED-THL(21) el cual tiene incorporado el sensor de temperatura y humedad: Sensirion DME SHT11(15). Tiene un grado de protección IP 55, siendo aplicable en la atmosfera de trabajo

dentro del silo. Las ventajas que tiene sobre los termopares se explican en la Tabla 5.

Cuadro Comparativo entre Termopares y Sensores		
Característica	Termopar	Sensor
Precisión	+/- 2°C	+/-0.4°C
Nivel de Señal	0 a 0.5mv	0 a 250mv
Inmunidad a ruidos	Baja	Alta
Resistencia a rotura	Baja	Alta
Tipo de Conductor	Compensado	Normal
Ante una rotura	Se debe reemplazar la línea	Se reemplaza solo el sensor
Tiempo de lectura	Superior a los 5 sgs	Menor a 0.5 sg

Tabla 5. Comparación entre termopares y sensores

Además, es importante recordar que una red inalámbrica es más fácil de manejar, permitiendo un control y supervisión más eficiente, ya sea en la transmisión y recepción de datos, como en el correcto funcionamiento de los dispositivos y detección de errores. Todo esto se realizara mediante el sistema SCADA que explicaremos más adelante.

4.3. Hardware Red ZigBee

Para completar la red utilizaremos el dispositivo ZG- ETH(24) el cual pertenece la familia de dispositivos inalámbricos ZigBee de 4-noks. Su propósito es ser una interfaz entre el ordenador personal con la red ZigBee utilizando un protocolo estándar universal como un ModBus/TCP-IP y a través de una red Ethernet. El uso de una red Ethernet tiene la ventaja de permitir posicionar el ordenador en lugares remotos siempre que haya una conexión Ethernet disponible.

El ZG-ETH tiene la función de coordinador en la red, formando parte activa de la creación y el mantenimiento del tráfico de la red inalámbrica desde y hacia otros dispositivos similares. Además, puede funcionar como matriz para la batería de la misma familia guardando temporalmente en su memoria local los datos recibidos. También actúa como puente transparente respecto a los demás dispositivos ModBus. Se cuenta con dos opciones: el dispositivo ZBB50-128C ETH EMP el cual es suministrado por 48VDC en el cable Ethernet (POE), mientras que el dispositivo ZBB50-128C ETH EM es suministrado por un soporte externo (12 V CC).

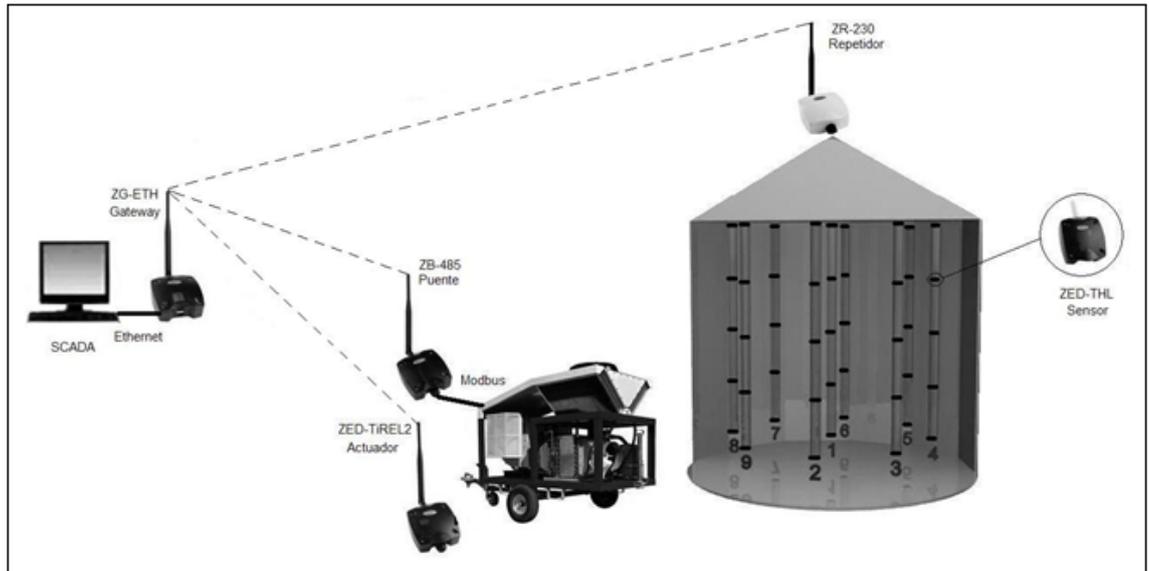


Figura 8. Red ZigBee

El gateway se comunica con el sistema SCADA el cuál se encarga de analizar los datos obtenidos del sistema de termometría y tomar las decisiones en cuanto al funcionamiento del sistema de refrigeración.

Estas decisiones son transmitidas por el ZG-ETH hacia el módulo ZED - TiREL2(17) y al puente ZB-485(20), de 4-noks. El primero se encargará del encendido del sistema de refrigeración. Está provisto con una resistencia térmica de entrada y dos salidas de relé 250v/5A. El dispositivo puede ser suministrado en 24Vdc/24Vac continuamente, por lo que también puede actuar como un repetidor. Mientras que el segundo se utiliza como puente ZigBee – ModBus para entregar las condiciones necesarias de temperatura y humedad del aire que ingresara al silo al sistema de refrigeración.

Se puede utilizar el repetidor ZB-230(23) de 4-noks para extender la distancia máxima de la red, permitiendo atravesar obstáculos y retransmitiendo los mensajes ZigBee entre los dispositivos con enlace pobre o fuera de cobertura.

4.4. Sistema de Refrigeración

El sistema de refrigeración propuesto es el LK 70-MI de la empresa MULTI(35) (ver Figura 9). Las características de este sistema son:

- Compactos, móviles y listos para ser usados con agentes refrigerantes libres de CFC, respetando todas las leyes ambientales vigentes.
- Control automático de la ventilación para el mantenimiento constante de la temperatura, a pesar de los cambios climáticos que se puedan manifestar en el exterior.
- Secado combinado adaptable (gas, eléctrico) que reduce la humedad relativa del aire de refrigeración.

El LK 70-MI tiene una capacidad de refrigeración diaria de 70 toneladas. Es recomendado para actividades agrícolas con capacidad de almacenaje desde las 800 hasta 4500 Toneladas. Un equipo es suficiente para el refrigerado de un silo. Su uso es apto para el uso hasta una temperatura ambiente de +38°C y la temperatura mínima obtenible es de +4°C. Las prestaciones hacen referencia a un enfriamiento de cereales de +20°C a +10°C.

La capacidad de refrigeración puede variar según las condiciones climáticas:

- 70Toneladas/día Aplicable desde verano hasta otoño.
- 85Toneladas/día Con clima favorable y humedad del grano del 16%.
- 55Toneladas/día Con clima medio y humedad del grano del 16%.
- 75Tonelada/día Con clima templado y humedad del grano del 16%.



Figura 9. LK 70-MI

Un criterio para la elección del refrigerador de cereales es una buena relación entre cantidad de producto almacenado y capacidad refrigerante del equipo. Si la refrigeración de cada sección se completa en 60 días significa que el equipo es el

adecuado para la aplicación. Como el diseño es para un silo de 3000 Toneladas, el equipo LK 70-MI refrigeraría el silo en 42 días, cumpliendo el criterio expuesto.

El sistema de refrigeración está provisto de un sistema de regulación y control totalmente automatizado, gobernado por un PLC, que permite regular su funcionamiento de acuerdo a la variación de las condiciones climáticas ambientales, manteniendo constantes las condiciones de temperatura y humedad relativa del aire inyectado necesarias para seguir con la correcta refrigeración del grano.

El SCADA se encargará del cálculo de estas condiciones basándose en los datos del sistema de termometría. El sistema de refrigeración utiliza el protocolo Modbus para comunicación, por lo que para transmitir las condiciones de temperatura y humedad requeridas al mismo se utilizará el dispositivo ZB-485 de la familia 4-noks trabajando como puente ZigBee – Modbus, formando un canal transparente entre el SCADA y el sistema de refrigeración ya que este utiliza protocolo Modbus para la comunicación.

Las características de control del sistema de refrigeración son:

- Control automático de la ventilación para el mantenimiento constante de la temperatura, a pesar de los cambios climáticos que se pueda manifestar en el exterior.
- Secado combinado adaptable (gas eléctrico) que reduce la humedad relativa del aire de refrigeración.
- Modos operativos opcionales:
 - Temperatura del aire refrigerante automática sin aire de re-secado.
 - Temperatura del aire refrigerante automática con aire de re-secado hasta un máximo de 65% de humedad relativa.
 - Ventilación máxima sin máquina refrigerante y sin aire de re-secado.
 - Ventilación máxima sin máquina refrigerante con aire de re-secado hasta un máximo de 65% de humedad relativa.
 - Se pueden configurar nuevos modos de ser necesario.
- Regulación de aire mediante un constante cambio de posición de las válvulas en el servomotor.

- Regulación de la potencia refrigerante mediante la conexión escalonada del compresor del agente refrigerante así como la conexión y desconexión del by-pass de gas caliente.
- Indicador del modo operativo escogido, de los valores medidos, averías, temperatura del aire de salida, contador de horas de trabajo.

Funcionamiento del Sistema Refrigerante

El aire refrigerante proveniente de la máquina enfriadora será introducido en el silo o galpón mediante un sistema de distribución de aire. El refrigerado comenzará en las capas inferiores. El aire toma la temperatura del producto almacenado y asciende hasta la parte superior disipándose en el exterior en forma de calor (ver Figura 10).

En el transcurso de la refrigeración se forma una zona fría que se dirige siempre hacia arriba, cuando el aire de salida es frío, ha terminado la fase de refrigeración. Este proceso se cumple para cualquier tipo de almacenaje.

El enfriamiento del cereal se efectúa mediante convección (intercambio de calor) entre los granos y el aire frío ascendente. Adicionalmente, el proceso de enfriamiento será complementado cuando la humedad relativa del aire refrigerante sea más baja que la de los granos. El aire frío elimina el vapor de agua, el cual tendrá una temperatura más alta a la salida.

Mediante el enfriado de cereales se puede llegar a una cuota de dehumidificación del 1 - 1,5%, y usando equipos de post-calentamiento para disminuir la humedad relativa del aire se puede intensificar este efecto. La humedad inicial de los granos no debe superar el 18%, ya que la conservación del grano con alto porcentaje de humedad es muy limitada(35).

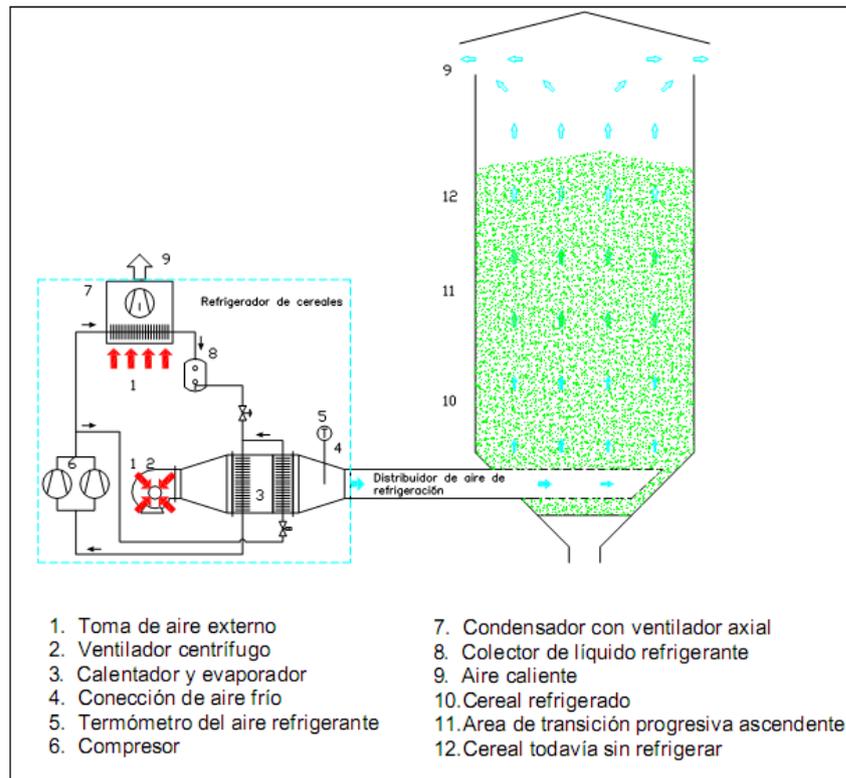


Figura 10. Principios funcionales del refrigerador y enfriamiento de cereales(10)

4.5. Sistema SCADA

Se utilizará la plataforma LabVIEW® de National Instruments para el diseño del sistema SCADA ya que permite una fácil comunicación con los dispositivos externos y una programación gráfica.

Las ventajas que proporciona el empleo de LabVIEW® se resumen a continuación:

- Se reduce el tiempo de desarrollo de las aplicaciones al menos de 4 a 10 veces, ya que es muy intuitivo y fácil de aprender.
- Dota de gran flexibilidad al sistema, permitiendo cambios y actualizaciones tanto del hardware como del software.
- Da la posibilidad a los usuarios de crear soluciones completas y complejas.
- Con un único sistema de desarrollo se integran las funciones de adquisición, análisis y presentación de datos.

- El sistema está dotado de un compilador gráfico para lograr la máxima velocidad de ejecución posible.
- Tiene la posibilidad de incorporar aplicaciones escritas en otros lenguajes.
- Comunicación con dispositivos remotos conectados por Ethernet.
- Permite una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos.

En la Tabla 5 se describen las ventajas del instrumento virtual frente al instrumento tradicional.

Instrumento Tradicional	Instrumento Virtual
Definido por el fabricante	Definido por el usuario
Funcionalidad específica, con conectividad limitada	Funcionalidad ilimitada, orientado a aplicaciones y conectividad amplia
Hardware es la clave	Software es la clave
Alto costo/función	Bajo costo/función, reusable
Arquitectura cerrada	Arquitectura abierta
Lenta incorporación de nuevas tecnologías	Rápida incorporación de nuevas tecnologías, gracias a la plataforma PC
Bajas economías de escala, alto costo de mantenimiento	Altas economías de escala, bajos costos de mantenimiento

Tabla 6. Instrumento tradicional vs. Instrumento virtual

Las funciones con las que debe cumplir el SCADA en este proyecto son las de adquisición, análisis y presentación de las medidas de humedad y temperatura obtenidas del sistema de termometría. Después del proceso de adquisición de datos el sistema empieza a analizar los mismos tomando la decisión de encender o mantener apagado el sistema de refrigeración, esta decisión dependerá de la temperatura y humedad a la que se encuentre el grano.

También se realizará el cálculo de las condiciones necesarias de temperatura y humedad del aire que ingresa al silo para tener una correcta refrigeración del grano. Teniendo en cuenta que un exceso de temperatura o poca humedad del aire

ingresado llevará a un sobresecado del grano provocando una pérdida de peso, mientras que el exceso de humedad provocaría la condensación de agua dentro del silo perjudicando el grano almacenado. Estos datos serán transmitidos al sistema de refrigeración mediante el dispositivo ZB-485 de la familia 4-noks de ZEMBEDOM.

Panel Frontal

El panel frontal del sistema SCADA está dividido en dos pestañas: Humedad y Temperatura como se observa en la Figura 10 y 11. El sistema SCADA creará una base de datos según las especificaciones y necesidades del cliente, dependiendo de los datos que se requieran y el intervalo de tiempo entre cada registro y el tiempo de borrado.

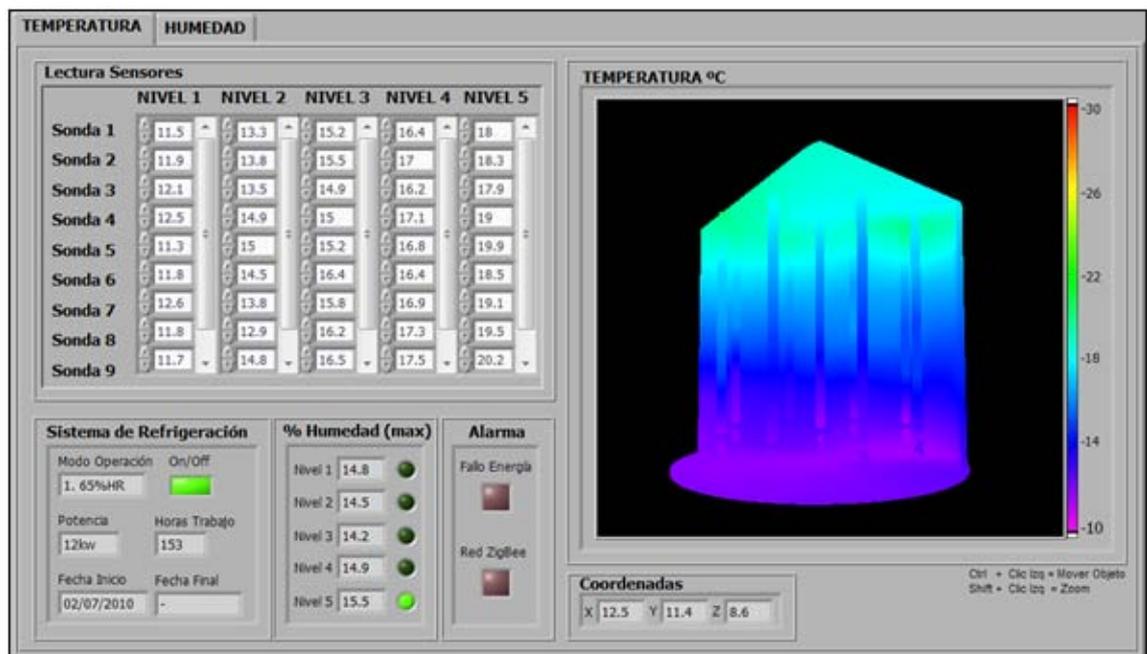


Figura 11. Panel frontal SCADA, pestaña Temperatura

La información de cada parte del sistema está separada en subpaneles, que explicamos a continuación:

Lectura Sensores

En este subpanel se enseña en forma de matriz las lecturas de humedad y temperatura de los sensores ubicados en el silo en tiempo real. Esto permite

detectar de una manera muy rápida y eficaz el foco de calor e identificar el sensor más cercano permitiendo atacar el área afectada. Estos valores serán guardados en una base de datos, permitiendo el estudio de la evolución de las variables. Se diferenciarán los sensores que estén al vacío de los que estén dentro del grano para evitar errores de cálculos o apreciación. Así mismo si ocurriera un error de comunicación en el sensor tendrá una etiqueta dentro de la casilla correspondiente a este.

Temperatura °C y Humedad %HR

En este subpanel se encuentra una imagen 3D del silo. Esta imagen dará una idea muy clara de las condiciones del interior del mismo, ya que por medio de colorimetría indica la temperatura del silo. Es importante señalar que se puede “navegar” dentro del recuadro 3D, tiene las funciones de lupa, mover y girar lo que hace un interfaz muy cómodo y amigable para el usuario.

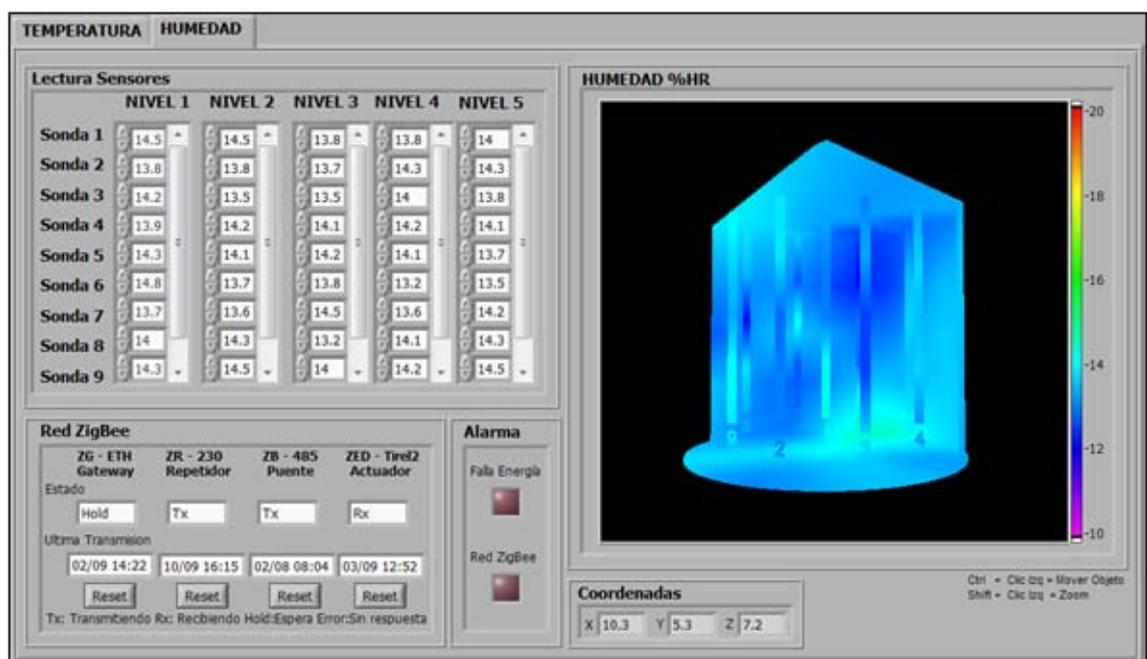


Figura 12. Panel frontal SCADA, pestaña Humedad

Coordenadas

Este subpanel entrega las coordenadas en las que se encuentra el cursor, éstas serán de acuerdo al tamaño del silo, identificando de una manera precisa el foco de calor o humedad, permitiendo elegir el mejor procedimiento para actuar, ya sea

encendiendo el sistema de refrigeración, extrayendo el grano dañado o identificando filtraciones.

Alarma

Este subpanel es de suma importancia ya que indica la existencia de un problema dentro del sistema, ya sea por falla de energía en el sistema de refrigeración o falta de comunicación en la red inalámbrica ZigBee.

Sistema de Refrigeración

En este subpanel se presenta la información del estado del sistema de refrigeración: modo de operación, estado On/Off, potencia consumida, horas de trabajo y las fechas de encendido y apagado del sistema permitiendo llevar un registro de trabajo para la planificación del mantenimiento del equipo.

%Humedad máxima

Este subpanel muestra la humedad máxima de cada nivel dentro del silo. Si el nivel de humedad es superior al %HR seguro para el grano se encenderá el led de alarma.

Red ZigBee

Se presenta información sobre el estado de los diferentes dispositivos que forman la red ZigBee indicando si se encuentran transmitiendo, recibiendo, esperando datos o si se produjo algún error. También indica la hora y fecha de la última transmisión de cada uno de los dispositivos para tener una mejor idea del funcionamiento de la red. El botón reset permite reiniciar la conectividad con el dispositivo como posible solución al problema dado.

5. Aplicación y análisis de resultados

En este apartado se presenta el costo de implementación del proyecto y funcionamiento del mismo. Para su análisis se presentan los datos de costo de almacenamiento por tonelada durante seis meses. Así mismo, se exponen los costos de almacenamiento de los sistemas utilizados comúnmente como ventilación y control químico por tonelada.

Costo de implementación

A continuación se presenta el costo de implementación del proyecto, tanto en sensores, actuadores y el sistema SCADA considerando gastos por importación y envío de los equipos. No se han considerado los costos por instalación debido a que estos serían específicos de cada planta. Como se puede apreciar en primera instancia, la inversión primaria es alta pero como se demostrará el costo de consumo de energía es menor que del sistema que se utiliza actualmente, además de tener un menor uso de químicos preservantes que son un gasto económico y sobretodo dañinos para la salud.

Costo Implementación			
Descripción	Precio Unitario	Cantidad	Costo Final
Red ZigBee			
Gateway ZG-ETH	\$ 263.25	1	\$ 263.25
Repetidor ZR-REP-EM	\$ 225.85	1	\$ 225.85
Sensores ZED-THL	\$ 222.75	45	\$ 10,023.75
Actuadores ZED-TiREL2	\$ 202.50	1	\$ 202.50
Puente ZB-485	\$ 215.50	1	\$ 215.50
Tubo de acero inoxidable 304 pulido	\$ 24.00	8	\$ 192.00
Sistema de enfriamiento			
Equipo LM-70KI	\$ 41,079.15	1	\$ 41,079.15
SCADA			
Programa	\$ 1,500.00	1	\$ 1,500.00
Licencia de Operación	\$ 1,000.00	1	\$ 1,000.00
Total			\$ 54,702.00

Tabla 7. Costo de Implementación

Costo de funcionamiento

Sistema de refrigeración

Para calcular el costo de almacenamiento del grano por tonelada utilizando el sistema de refrigeración se ha tomado en cuenta las horas de funcionamiento según su capacidad frigorífica (85Toneladas/día). Para completar la refrigeración del silo de 3000T tendrá que permanecer encendido durante 35 días, con un total de 840 horas. El equipo tiene un consumo energético máximo de 12,6 Kw. Por lo que el consumo total del equipo será de 10.584Kw. El costo del KW/hora en el Ecuador es \$0.10, con un total de \$1058.4, y un costo por tonelada de \$ 0.3528. Se estima que el grano permanece frío durante seis meses o más dependiendo de las condiciones climáticas exteriores(8).

Sistema de Refrigeración LK-70MI	
Consumo Promedio (Kw)	12.5
Capacidad Frigorífica (Tn/día)	85
Total Horas Funcionamiento	847.06
Consumo energético Total	10588.24
Precio Kw/hora	0.1
Precio Total	\$ 1,058.82
Precio Tonelada	\$ 0.35

Tabla 8. Consumo del equipo LK-70MI y cálculo de costos

Sistema de ventilación

Un sistema de ventilación normalmente se enciende durante las noches para aprovechar la temperatura más baja, es decir, trabaja 8 horas diarias. Por lo que durante seis meses trabajaría 1440 horas. Su consumo promedio es de 9Kw(16), teniendo un consumo energético total para el silo de 3000Tn es de 12.960Kw, 18% más que el sistema de refrigeración. El precio total sería de \$1296 y por tonelada \$0.43.

Sistema de Ventilación	
Consumo Promedio (Kw)	9
Tiempo encendido (Horas/día)	8
Total Horas Funcionamiento	1440.00
Consumo energético Total	12960.00
Precio Kw/hora	0.1
Precio Total	\$ 1,296.00
Precio Tonelada	\$ 0.43

Tabla 9. Consumo sistema de ventilación y cálculo de costos

Se debe tomar en cuenta que la mayoría de silos de almacenamiento en el Ecuador se encuentran en la costa: Quevedo, Babahoyo, Daule y Ventanas, donde la temperatura ambiente varía entre los 20°C y 30°C dificultando una correcta ventilación para poder enfriar el grano, ya que para lograrlo se necesita que el aire que ingresa tenga una temperatura 5°C menor que la del grano almacenado.

Control Químico

Se presenta el costo de los químicos que se utilizan para la prevención del grano durante el proceso de almacenamiento, como la dosis de aplicación, demostrando que el costo para mantener 3000Tn de arroz durante 6 meses es de \$ 21,113.28. Y el costo por tonelada de grano almacenado es de \$7.04.

Control químico						
Químicos	Dosis/Tn	Duración	P.U.	Unidad	Costo/Tn	Costo final
Actelic	30cc	6 meses	\$ 33.68	litro	\$ 1.01	\$ 3,031.20
Malathion 57	100 cc	1 mes	\$ 8.11	litro	\$ 4.87	\$ 14,598.00
Gastoxin	3 tabletas	2 meses	\$ 64.52	500 tabletas	\$ 1.16	\$ 3,484.08
Costo Final					\$ 7.04	\$ 21,113.28

Tabla 10. Costo Químicos(17)(26)(27)

Los sistema de ventilación y control químico son utilizados conjuntamente. Lo que da un costo de almacenamiento por tonelada de \$ 7.47.

Pérdidas durante el almacenamiento

Adicionalmente se debe considerar las pérdidas de grano que existirían por infestación, exceso o disminución de humedad. Según el programa especial de la FAO (Food and Agriculture Organization of the United Nations) para la prevención de las pérdidas presenta las siguientes conclusiones: cada año, existe 5 % de pérdidas causadas por un seguimiento deficiente y un mal control de la humedad y por otra parte un 5 % de las pérdidas debidas a problemas de manejo, de almacenamiento y de procesamiento, podrían ser evitadas (Estudio de P.Gouglas, G. Dubrik, G. Sullivan, ASEAN). Al igual que un estudio del Brasil (Comisión Técnica para la Reducción de las Pérdidas en Agricultura) divide las pérdidas post-cosecha en tres grandes rubros y da los resultados siguientes: Cosecha: 12.6%, Almacenamiento: 7% y Procesamiento: 2.4%(32).

Resultados

Como conclusión el costo de almacenar 3000 toneladas por un periodo de seis meses con el sistema de refrigeración es de \$1058.82 y con los otros sistemas el costo es de \$22410. Teniendo una diferencia de \$21351.18 siendo el 39% de la inversión primaria del sistema de refrigeración. Al existir dos temporadas de cosecha por año, se concluye que solo en ahorro energético y uso de químicos se recuperaría el primer año el 78% de la inversión.

Si tenemos en cuenta que el precio del quintal de arroz cáscara (20%HR 5% impurezas) en el Ecuador es de \$28 fijado por el MAGAP(7), existe una inversión en un silo de arroz de 3000 Tn de \$840000, siendo el 5% un valor de \$42000, valor que se perdería por cosecha. Al utilizar el sistema de refrigeración el máximo porcentaje de pérdida es de 1%, que equivale a \$8400. Presentando un beneficio considerable para el productor.

Y en el caso de existir una infestación de insectos en el grano, el sistema de refrigeración es más rentable como se muestra en la Figura13.

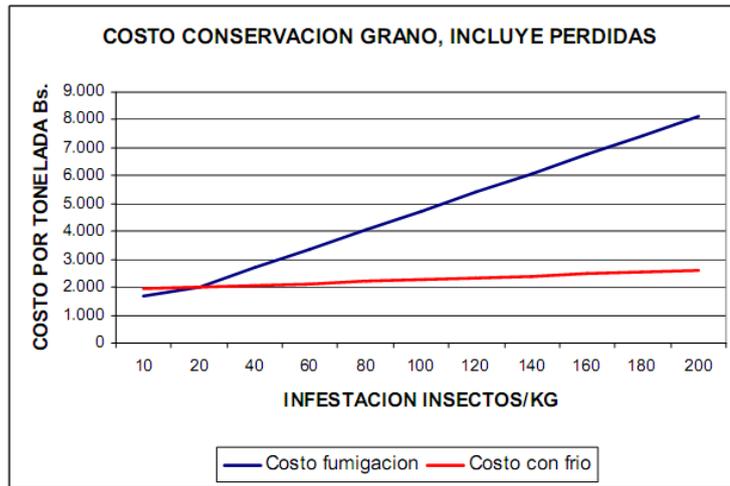


Figura 13. Costo conservación grano(4)

6. Conclusiones y recomendaciones

Al tener un correcto uso de la tecnología a disposición se pueden evitar riesgos de pérdida debido a algún siniestro ya sea: consumo innecesario de energía, deterioro o mala condición del grano almacenado, faltante de mercadería en kilos por sobre secado del grano, ataques de insectos, hongos o microorganismos no detectados a tiempo. La suma de las mismas al final de la campaña tiene una incidencia importantísima en el resultado económico.

La utilización de un sistema de termometría permite conocer la situación real del silo tanto su temperatura y humedad como la ubicación de un eventual problema, lo cual no es posible mediante la medición de muestras aleatorias del grano dentro del silo.

La posibilidad de almacenar los valores recolectados en una base de datos permite llevar una trazabilidad mayor de las temperaturas y humedades como también un historial de los momentos y horarios en que la alarma fue activada.

El utilizar un sistema de refrigeración provee varias ventajas como: mantener la germinación del grano, mejorar la calidad del producto final, inhibir el crecimiento de insectos, hongos y microorganismo, ahorro energético, como consecuencia tendremos una mayor ganancia económica.

En la actualidad la contaminación de los granos por productos químicos es un tema de mucha preocupación. Se debe tomar conciencia que los granos son alimentos que directa o indirectamente serán destinados a seres humanos y/o animales. Por lo tanto deben estar ausentes de residuos de productos químicos y biológicos ya que estos se manifiestan hasta en el aceite o el alimento ya elaborado. Y esto lo podemos conseguir de una mejor manera con la refrigeración del grano.

7. Fuentes de información

Referencias Bibliográficas

1. CALDERON ARBOLEDA, Jhon Jairo y MANTILLA JAIMES, Carlos. 2006. Diseño, construcción y evaluación de una red inalámbrica de sensores ZigBee 802.15.4. Bucaramanga: Universitaria de Investigación y Desarrollo UDI.
2. CASINI, Cristiano y SANTA JULIANA, Mauricio. 2009. Control de plagas en granos almacenados. Argentina: EEA, 2009.
3. CRUZ VAREÑA, Minor. 2006. Inventario Físico y muestreo en silos. Costa Rica. CONARROZ.
4. ESTUDIOS Y DISEÑOS AGROINDUSTRIALES LTDA EDIAGRO. 2006. Conservación de granos almacenados. Colombia.
5. FRANQUET BERNIS, Josep Maria y BORRÀS PÀMIES, Cinta. 2004. Economía del Arroz: Variedades y Mejora. Cataluña: EUCET, 2004.
6. GARRIDO CAMPOS, Gonzalo. 2009. Caracterización del consumo en redes ZigBee/802.15.4. Málaga: Trabajo de Fin de Carrera Universidad de Málaga, 2009.
7. MAGAP. 2009. Precio de Sustentación del Arroz. Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca. Ecuador. Informe N° 0071.
8. MAS, Juan Carlos. 2009. Refrigeración artificial de un silo de maíz. Rosario: Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria.
9. Measure Instruments. 2009. Control de temperatura en silos y celdas. Buenos Aires.
10. Meshnetics. 2008. ZigBeeNet™ Software 1.0. Nota de Aplicación. Madrid.

11. NARANJO, José Eugenio y Jimenéz, Felipe. 2008. Entornos inteligentes basados en redes inalámbricas. Madrid.
12. ORTEGA, Carlos Alberto, ROQUE, Deyanira y ADBEDA, Leslie.2008. ZigBee: El nuevo estándar global para la domótica e inmótica. Managua - Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería, 2008.
13. POZZOLO, Oscar y FERRARI, Hernán. 2007. Arroz. Eficiencia de Cosecha y Postcosecha. Concepción del Uruguay: Instituto Nacional d Tecnología Agropecuaria, 2007.
14. ROMERO MORALES, Cristóbla. 2001. Introducción a SCADA. 2001.
15. SENSIRION. 2009. Hoja de Datos, SHT1x Sensor de Temperatura y Humedad.
16. Soler & Palau. 2010. BDB Series. Hoja de Datos.
17. SYNGENTA. 2007. Actellic50EC. Etiqueta. Santiago-Chile.
18. Terratec Argentina S.R:L. 2007. Conservación de granos por medio del control de la temperatura y aireación. Buenos Aires.
19. YANUCCI, Domingo. 1999. Almacenaje de Granos. s.l.: Revista Agromercado,1999,Vol.I.

Referencias Electrónicas

20. 2-EMBEDCOM. ZB-485. [En línea].
<http://www.2embedcom.com/es/productos/soluciones-zigbee-industriales/gestores-protocolo/652-zb-485.html>.
21. 2-EMBEDCOM. ZB-THL. [En línea].
<http://www.2embedcom.com/es/productos/soluciones-zigbee-industriales/sensores/655-zed-thl.html>.

22. 2-EMBEDCOM. ZED-TiREL2. [En línea].
<http://www.2embedcom.com/es/productos/soluciones-zigbee-industriales/actuadores/658-zed-tirel2.html>.
23. 2-EMBEDCOM. ZG-230. [En línea].
<http://www.2embedcom.com/es/productos/soluciones-zigbee-industriales/gestores-protocolo/663-zr-230.html>.
24. 2-EMBEDCOM. ZG-ETH. [En línea].
<http://www.2embedcom.com/es/productos/soluciones-zigbee-industriales/gestores-protocolo/660-zg-eth.html>.
25. BAGRAK, Iliá. 2009. Hacia una aproximación estructurada al diseño de redes de sensores inalámbricos, [En línea].
<http://personal.redestb.es/efiqueras/index.htm>.
26. BASF Agro. Malathion90. [En línea].
<http://www.agro.basf.es/es/Welcomedo>.
27. Bayer. Phostoxin. [En línea]
<http://www.sanidadanimal.com/catalogo.php?clave=79>.
28. Eletek SRL. 2009. Termometría para Silos y Celdas. [En línea]
www.eletek.com.ar/esp/e_termometria_silos.htm.
29. FAO Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2005. Manual de manejo granos poscosecha rural. Silos de Albañilería. [En línea] 2005.
<http://www.fao.org/docrep/X5027S/x5027S0q.htm#Almac%C3%A9n%20convencional>.
30. FIGUERAS Solé, Enric. 2000. Diseño de Aplicaciones SCADA con LABVIEW. [En línea] Enero de 2000.
http://zone.ni.com/cms/images/devzone/tut/2009-04-15_224929_20090415152714.jpg&imgrefurl=http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/.

31. Fumigadora Continente. Fumigaciones Continente. Control de Insectos en Granos Almacenados. [En línea].
<http://www.fumigacontinente.com.ar>.
32. GROLLEAUD, Michel. 2002. Depósito de Documentos de la FAO. PÉRDIDAS POST COSECHA: UN CONCEPTO MAL DEFINIDO O MAL UTILIZADO. [En línea] 2002.
<http://www.fao.org/docrep/004/ac301s/ac301s04.htm>.
33. MAGAP. Sistema de Información Geográfica y Agropecuaria. [En línea] Ministerio de Agricultura, Ganadería, Acuacultura y Pesca.
<http://sigagro.flunal.com/>.
34. MENDIBURU DIAZ, Henry. 2005. Sistemas SCADA. [En línea] 2005.
<http://hamd.galeon.com/>.
35. MULTI. Multi-kuehlsysteme. 2010. Sistemas de Refrigeración. [En línea].
www.multi-kuehlsysteme.de.
36. National Instruments. 2010. NI Developer Zone. Seleccione la tecnología inalámbrica adecuada. [En línea] 2010. [Citado el: 15 de Mayo de 2010.] Osiriszig. 2008. El Zumbido de las Abejas, ZIGBEE. [En línea] 2008.
<http://www.osiriszig.com/content.aspx?co=15&t=21&c=2>.
37. PEREIRA, Wilmer. 2007. ZigBee: Protocolo para Red Inalámbrica de Sensores. s.l. : Stagtron. Stagtron Aireación Inteligente. Sensor de Humedad en Silo. [En línea]
<http://stagtron.com.ar/index.php?c=default>.
38. ZigBee Alliance. [En línea].
<http://www.zigbee.org/en/>.

8. Anexos

Anexo 1. Hoja de datos del ZED-ETH

ZB-ETH
ZB-ETH-POE


2-EMBEDCOM

Gateway Modbus Ethernet – ZigBee



Key features

- Ethernet interface between a ZigBee network and the external environment
- uses the Modbus/TCP-IP protocol
- Coordinator functionality for a ZigBee network
- temporary it saves in its local memory datas receiving from battery powered sensors
- it acts as a transparent bridge towards the other Modbus devices
- external antenna

Gateway Modbus Ethernet-ZigBee is part of the family of 4-noks wireless ZigBee devices. Its purpose is to be an interface between a Personal Computer or an advanced PLC with the network of 4noks devices using an universal standard protocol such as Modbus/TCP-IP and trough Ethernet network.

The use of an Ethernet network allows to position the Personal Computer or the PLC in places that are far from the ZigBee network or in very remote places if an Internet connection is available.

Its role in the ZigBee network is Coordinator, i.e. it forms an active part of creating the network and maintaining wireless traffic from and to other similar devices. Furthermore it can function as parent device for battery powered sensors of the same family and saves data that they asynchronously send regardless of Modbus requests.

In conjunction with the device ZBB50-64B-485-EM, this gateway offers a transparent Modbus channel.

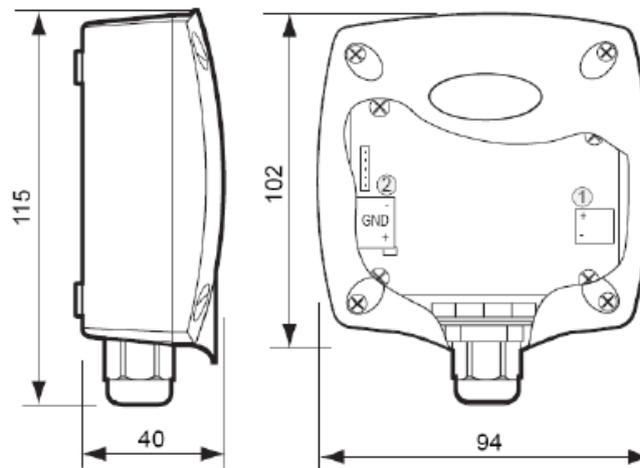
The device with the part number ZBB50-128C ETH EMP is supplied by 48Vdc on the Ethernet cable (POE), whereas the part number ZBB50-128C ETH EM is supplied by external supply (12Vdc)

ZIGBEE

Technical Specs

General characteristics	Chip Ember EM2420 IEEE 802.15.4 Stack ZigBee Pro Ember 3.2.X Compatible Modbus/RTU DIGI Connect ME model for Ethernet interface Addressing via WEB or DHCP interfaces
RF characteristics	Frequency: 2405 MHz ÷ 2480 MHz Modulation: DSSS Nominal transmission power: 1mW (0 dBm) Reception sensitivity: -90dBm Extern antenna Gain: 5,5 dB Coverage outdoor/indoor: 100m/30m
Supply	ZB-ETH: extern supply +12 Vcc ; 200mA ZB-ETH-POE – 48Vcc
Connections	Ethernet: RJ45
Environment parameters	Operating temperature: -10 ÷ +60°C; <80% U.R. not condensing Storage temperature: -20 ÷ +70°C; <80% U.R. not condensing Degree of protection: IP 50
Approvals	ETSI EN 300 328: Radio Compatibility for digitals wide band transmissions ETSI EN 301 489: Radio Compatibility EN 61000-6-2: Electromagnetic Compatibility - Emissions EN 61000-6-3: Electromagnetic Compatibility - Immunity EN 60950-1: Electric Safety

Dimensions [mm]



4-noks

ZED-THL



ZigBee sensor for temperature, humidity



Key features

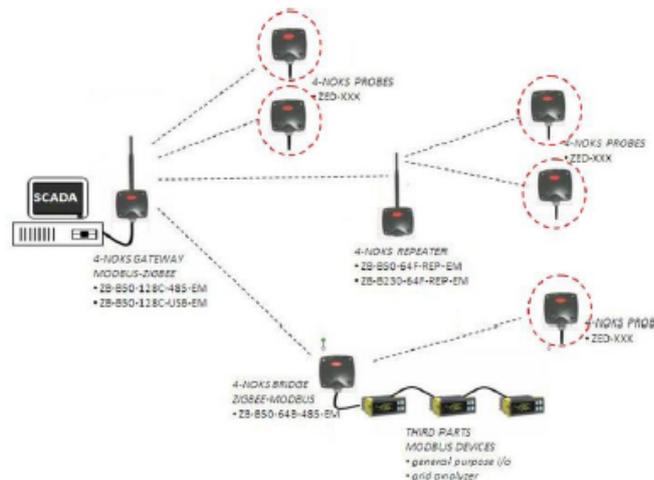
- temperature, humidity and light measurements for indoor/outdoor use
- alarm thresholds
- sampling and transmission rates are configurable
- battery powered
- long life battery
- internal antenna

The ZED-THL is a battery powered ZigBee device that can perform temperature, humidity and light measurements at the same time and send them at regular intervals to a Gateway of the 4noks family products.

This device may be configured to manage alarm thresholds for exceeding maximum or minimum levels of measures. It is also possible to adjust the sampling and data transmission rate to improve battery life.

The sensors are protected into a plastic material case such as Gore-Tex in order to let only air entering and no water. Because of its high degree IP protection, ZED-THL can also be used outdoor.

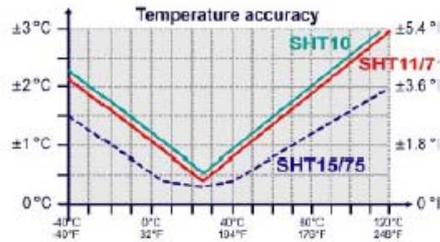
Typical application



ZIGBEE

Technical Specs

General characteristics	<p>Chip Ember EM250 IEEE 802.15.4 Stack ZigBee Pro Ember 3.2.X Compatible Modbus/RTU Device address settable via internal dip-switch</p>
RF characteristics	<p>Frequency: 2405 MHz \pm 2480 MHz Modulation: DSSS Nominal transmission power: 2mW (3 dBm) Reception sensitivity: -92dBm Internal antenna gain: 0 dB Coverage outdoor/indoor: 100m/30m</p>
Supply	<p>AA Battery 3,6V/2000mAh SAFT LS14500 type Battery duration: 3 years in case of 1 transmission per minute at @20°C</p>
Temperature/Humidity Sensor	<p>Sensor used: Sensirion SMD SHT11 series Temperature measurement range: from -40 to 120°C Reading accuracy inside measurement range: \pm 1,5°C max. (view graph) Temperature measurements in tenth degrees Humidity measurement range: from 0 to 100% RH%, Reading accuracy \pm 5 RH% max. (view graph)</p>
Light/Sensor	<p>Sensor used: Agilent ADPS-9002 Error : \pm 5% in the range between 10 and 1000 Lux</p>
Environment parameters	<p>Operating temperature: -10 \div +60°C; <80% U.R. not condensing Storage temperature: -20 \div +70°C; <80% U.R. not condensing Degree of protection: IP 55</p>
Approvals	<p>ETSI EN 300 328: Radio Compatibility for digitals wide band transmissions ETSI EN 301 489: Radio Compatibility EN 61000-6-2: Electromagnetic Compatibility - Emissions EN 61000-6-3: Electromagnetic Compatibility - Immunity EN 60950-1: Electric Safety</p>



ZED-TiREL2



ZigBee module with relay



Key features

- 2 relay outputs 250V/5A
- 2 digital inputs
- 1 thermal resistor input (NTC resistor not included)
- programmable thermostat functionality
- FFD functionality with routing capabilities
- 24Vdc/Vac supply
- extern antenna

The ZigBee module ZED-TiREL2 is provided with one thermal resistor input, two digital inputs and two relay outputs. It can perform the function of thermostat in programmable warm-cold operating mode with relay outputs and manages alarms based on preconfigured thresholds. Moreover it sends data at regular intervals to a Gateway belongs to the 4noks family products.

The thermostat functionality may be disabled; in this situation inputs and outputs are directly managed by PLC or SCADA connected to the Gateway.

The device can be supplied at 24Vdc/24Vac continuously; therefore it can also act as a repeater or a parent device for battery-powered sensors.

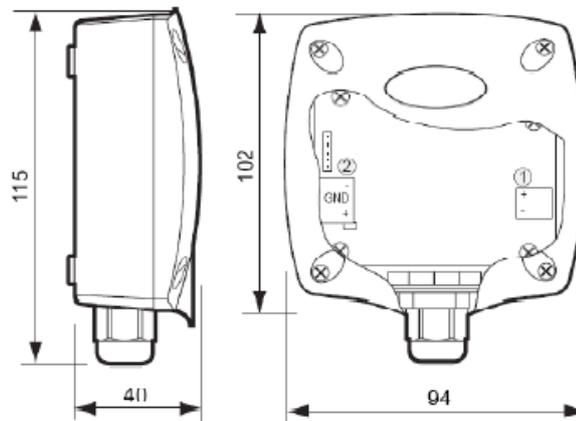
Typical application



ZIGBEE

Technical Specs

General characteristics	<p>Chip Ember EM2420 IEEE 802.15.4 Stack ZigBee Pro Ember 3.2.X Compatible Modbus/RTU Device address settable via internal dip-switch Wall mounting with screws Cable gland: PG9</p>
RF characteristics	<p>Frequency: 2405 MHz ÷ 2480 MHz Modulation: DSSS Nominal transmission power: 1mW (0 dBm) Reception sensitivity: -90dBm Extern antenna Gain: 5,5 dB Coverage outdoor/indoor: 100m/30m</p>
Supply	24Vcc/Vca ($\pm 10\%$); 100mA; 50/60Hz
NTC thermal resistors input	<p>NTC sensor 103AT type (R25 = 10 KOhm; Beta = 3435K) Measurement range: -50°C ÷ +110°C Measurement resolution: 0,1°C Measurement accuracy: $\pm 0,5^\circ\text{C}$</p>
Digital inputs	<p>Electronic type not insulated inputs for clean contact. Short circuit current 0,01mA. Use self-cleaning contact</p>
Relè	<p>Coil 24Vdc Contacts 250V/5A</p>
Connections	pull out terminals(3,81 mm pitch)
Environment parameters	<p>Operating temperature: -10 ÷ +60°C; <80% U.R. not condensing Storage temperature: -20 ÷ +70°C; <80% U.R. not condensing Degree of protection: IP 55</p>
Approvals	<p>ETSI EN 300 328: Radio Compatibility for digitals wide band transmissions ETSI EN 301 489: Radio Compatibility EN 61000-6-2: Electromagnetic Compatibility - Emissions EN 61000-6-3: Electromagnetic Compatibility - Immunity EN 60950-1: Electric Safety</p>



4-noks



ZR-230

2-EMBEDCOM

Powered ZigBee Repeater

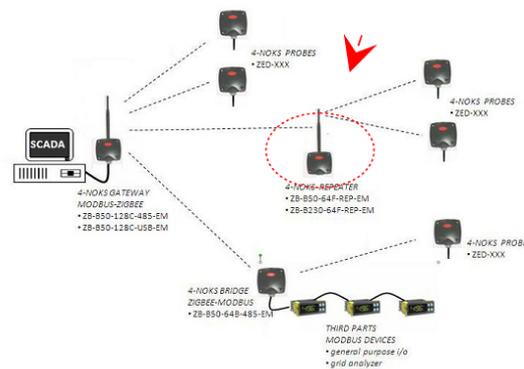


Key features

- it repeats ZigBee messages between devices with poor link or out of coverage
- it uses the Modbus/RTU protocol
- FFD functionality
- RF power 10mW
- external antenna
- 230Vac Power supply

The ZigBee Repeater has the function to extend the radio range of devices making possible to cross obstacles or long distances; it can also act as a parent device for battery-powered sensors of the same family. It doesn't need any other connections but the supply one.

Typical application

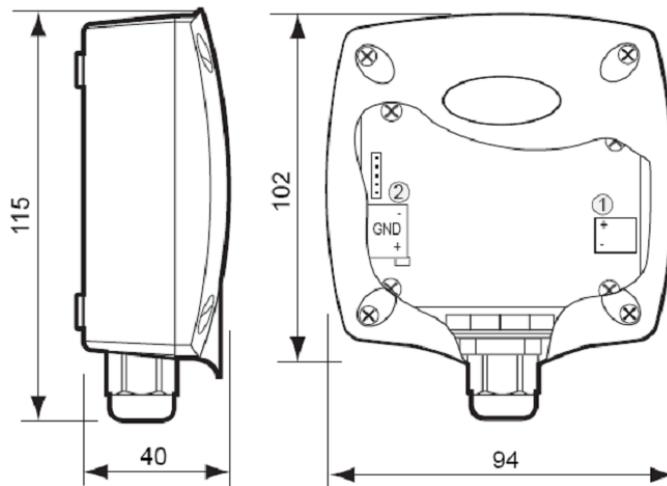


ZIGBEE

Technical Specs

General characteristics	Chip Ember EM250 IEEE 802.15.4 Stack ZigBee Pro Ember 3.2.X Compatible Modbus/RTU
RF characteristics	Frequency: 2405 MHz + 2480 MHz Modulation: DSSS Nominal transmission power: 10mW (10 dBm) Reception sensitivity: -95dBm Extern antenna Gain: 5,5 dB Coverage outdoor/indoor: 400m/60m
Supply	230Vac (±10%); 100mA; 50/60Hz
Connections	Bipolar Plug for CEI EN50075 with 2m cable
Environment parameters	Operating temperature: -10 + +60°C; <80% U.R. not condensing Storage temperature: -20 + +70°C; <80% U.R. not condensing Degree of protection: IP 55
Approvals	ETSI EN 300 328: Radio Compatibility for digitals wide band transmissions ETSI EN 301 489: Radio Compatibility EN 61000-6-2: Electromagnetic Compatibility - Emissions EN 61000-6-3: Electromagnetic Compatibility - Immunity EN 60950-1: Electric Safety Insulation: Class II

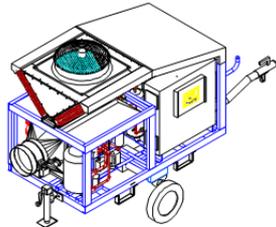
Dimensions [mm]



4-noks

Anexo 5. Hoja de datos del LK 70-MI

Datos técnicos del equipo LK 70-MI



Area de utilización aconsejada

- Refrigeración para la conservación de todo tipo de semillas, secas o húmedas
- Equipo standard para enfriar desde 800 t hasta 4500 t
- Adaptable a silos y galpones

Condiciones de uso

- Aptos para el uso hasta una temperatura ambiente de +38°C
- Para ser ubicado preferiblemente a la sombra
- Mínima temperatura obtenible: +4°C

Potencia frigorífica

Las prestaciones hacen referencia a un enfriamiento de cereales de +20°C a +10°C

Potencia frigorífica media	t/día	70	Aplicable desde el verano hasta el otoño
Potencia frigorífica máxima	t/día	85	Con clima favorable y humedad del grano del 16%
Potencia frigorífica verano	t/día	55	Con clima estivo medio y humedad del grano del 16%
Potencia frigorífica otoño	t/día	75	Con clima templado y humedad del grano del 16%

Conexiones

- Salida de aire de refrigeración conectado al silo o galpón mediante un tubo flexible
- Conexión eléctrica mediante un cable dispuesto en el tablero del panel de control con enchufe CEE 32 A . Largo standard del cable: 15m.

Capacidad frigorífica	con	16	KW
Conexión de aire standard	Diámetro	300	mm
Medidas (con carro transportador)	Largo	3230	mm
	Ancho	1550	mm
	Alto	1810	mm
Peso		550	kg
Voltaje		3x400/N/PE	V
Frecuencia		50	Hz
Consumo energético medio		8,0	kW
Consumo energético máximo	Con recalentamiento eléctrico	12,6	kW
Consumo eléctrico	max.	26	A
Emisión acústica	En escala A a 5m. De distancia	65	dB(A)
Agente refrigerante	Libre de clorofluorocarburos (CFC)	R 404 A	

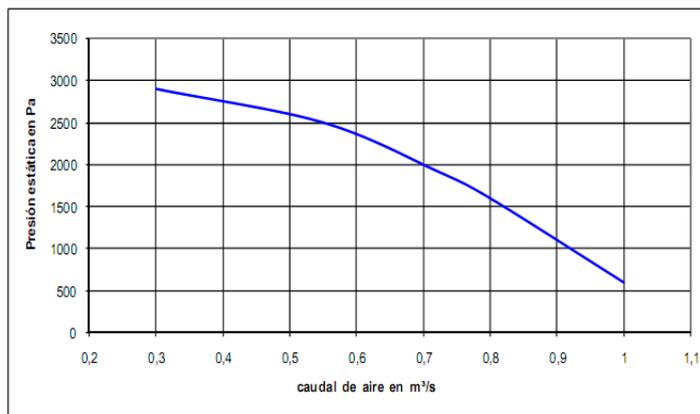


Fig: Curva característica del equipo LK 70-MI

9. Índice

Resumen	2
Abstract	2
Resumen Ejecutivo	3
1. Fundamentación del proyecto	5
1.1. Planteamiento del tema y definición del alcance	5
1.2. Antecedentes	6
1.3. Justificación	7
1.4. Objetivo General	8
1.5. Objetivos Específicos	8
2. Marco Conceptual	9
2.1. Proceso de post-cosecha del arroz	9
2.2. Redes de comunicación ZigBee	12
2.3. Sistema SCADA	13
3. Levantamiento de información primaria y secundaria	15
3.1. Variables a controlar	15
3.2. Metodología de Trabajo	18
3.3. Recursos Humanos	18
3.4. Cronograma de Actividades	18
3.5. Actividades realizadas	18
4. Gestión de productos	20
4.1. Red Inalámbrica de Sensores	20
4.2. Termometría de un Silo	24
4.3. Hardware Red ZigBee	26
4.4. Sistema de Refrigeración	27
4.5. Sistema SCADA	31
5. Aplicación y análisis de resultados	36
6. Conclusiones y recomendaciones	41
7. Fuentes de información	42

8. Anexos	46
Anexo 1. Hoja de datos del ZED-ETH	46
Anexo 2. Hoja de datos del ZED-THL	48
Anexo 3. Hoja de datos del TiREL2	50
Anexo 4. Hoja de datos del ZR-230	52
Anexo 5. Hoja de datos del LK 70-MI	54
9. Índice	55
Índice de Tablas y Figuras	57

Índice de Tablas y Figuras

Tabla 1. Isotermas del Grano _____	11
Tabla 2. Características de las redes ZigBee para cada frecuencia _____	13
Tabla 3. Cronograma de Actividades _____	18
Tabla 4. Comparación entre tecnologías _____	21
Tabla 5. Comparación entre termopares y sensores _____	26
Tabla 6. Instrumento tradicional vs. Instrumento virtual _____	32
Tabla 7. Costo de Implementación _____	36
Tabla 8. Consumo del equipo LK-70MI y cálculo de costos _____	37
Tabla 9. Consumo sistema de ventilación y cálculo de costos _____	38
Tabla 10. Costo Químicos _____	38
Figura 1. Esquema del Control para un Silo. _____	5
Figura 2. Esquema de un Sistema SCADA _____	14
Figura 3. Efecto de la Temperatura sobre los insectos _____	15
Figura 4. Tiempo de Almacenamiento en función de HR y Temperatura _____	17
Figura 5. Tipos de topologías de una red ZigBee _____	23
Figura 6. Ubicación de sensores _____	25
Figura 7. Cobertura Sensores _____	25
Figura 8. Red ZigBee _____	27
Figura 9. LK 70-MI _____	28
Figura 10. Principios funcionales del refrigerador y enfriamiento de cereales _____	31
Figura 11. Panel frontal SCADA, pestaña Temperatura _____	33
Figura 12. Panel frontal SCADA, pestaña Humedad _____	34
Figura 13. Costo conservación grano _____	40