

Universidad Tecnológica Nacional

Proyecto Final

**Sistema de Monitoreo de Condiciones de
Almacenamiento en Silo Bolsas**

Autores:

- Miguel Maximiliano Ruiz
- Marcelo Omar Furios

Director:

- *Sergio Pañoni*
- *Lucas Maggiolini*

*Proyecto final presentado para cumplimentar los requisitos académicos
para acceder al título de Ingeniero Electrónico
en la*

Facultad Regional Paraná

Agosto de 2019

Declaración de autoría:

Nosotros declaramos que el Proyecto Final “Sistema de monitoreo de estado de almacenamiento para silo bolsas” y el trabajo realizado son propios. Declaramos:

- Este trabajo fue realizado en su totalidad, o principalmente, para acceder al título de grado de Ingeniero Electrónico, en la Universidad Tecnológica Nacional, Regional Paraná.
- Se establece claramente que el desarrollo realizado y el informe que lo acompaña no han sido previamente utilizados para acceder a otro título de grado o pre-grado.
- Siempre que se ha utilizado trabajo de otros autores, el mismo ha sido correctamente citado. El resto del trabajo es de autoría propia.
- Se ha indicado y agradecido correctamente a todos aquellos que han colaborado con el presente trabajo.
- Cuando el trabajo forma parte de un trabajo de mayores dimensiones donde han participado otras personas, se ha indicado claramente el alcance del trabajo realizado.

Firmas:

Fecha: Agosto de 2019.-

Agradecimientos:

En primer lugar, a nuestras familias, quienes fueron el pilar fundamental gracias a su formación y su apoyo incondicional en todo momento.

A la institución, donde encontramos gran calidad humana tanto en su personal docente como no docente, brindándonos siempre el acompañamiento que se necesita, y a la educación pública, libre y gratuita, sin la cual hubiera sido muy difícil lograr nuestra formación académica.

A todos los que de alguna forma u otra, se alegran tanto como nosotros por haber llegado a esta instancia.

Maximiliano Ruiz
Marcelo Furios

Universidad Tecnológica Nacional

Abstract

Facultad Regional Paraná

Ingeniero en Electrónica

Sistema de Monitoreo de Condiciones de Almacenamiento en Silo Bolsas

Maximiliano Ruiz

Marcelo Furios

Abstract:

In recent times, our country has become a leader in grain production, estimating a total harvest of 131,000,000 tons for the 2018/2019 agricultural campaign, and within the silage options, one of the most used is storage in flexible plastic bag type systems, commonly referred to as "Silo bags".

Although there are solutions for the control of the state of storage, the vast majority are not autonomous, the producer must perform the controls manually. Observing this scenario, and taking into account that the demand for information-oriented ICT's solutions is increasing in the agricultural sector, we have designed and developed a remote monitoring system for silo bags, which gives the producer accurate information and immediately of the state of the material collected, being able to take any necessary measures for its protection.

The result obtained from the research and development of the project has been a functional prototype that automatically collects the temperature, humidity and carbon dioxide data from the environment inside a silo bag, and records them in a database,

and then show them on a website belonging to the system. Also, it issues an alarm via mail upon detection of out-of-range values.

For the construction of the project, due to its versatility, development components based on free platforms were used: Arduino for data acquisition hardware, and cloud (virtual) servers for recording and consuming the data obtained. In addition, mail, web and application servers are hosted on the same host service.

Keywords:

Acquisition and recording of data, agriculture, crop protection, value added.

Resumen:

En el último tiempo, nuestro país se ha convertido en líder en la producción de granos estimándose una cosecha total de 131.000.000 de toneladas para la campaña agrícola 2018/2019, y dentro de las opciones de silaje, uno de los más empleados es el almacenamiento en sistemas flexibles tipo bolsas plásticas, comúnmente denominados "Silo bolsas".

Si bien existen soluciones para el control del estado de almacenamientos, en su gran mayoría no son autónomos, debiendo el productor realizar los controles de forma manual. Observando este escenario, y teniendo en cuenta que la demanda de soluciones TIC`s orientadas a la información es cada vez mayor en el sector agropecuario, hemos diseñado y desarrollado un sistema de monitoreo remoto para silo bolsa, el cual le brinda al productor información precisa e inmediata del estado del material acopiado pudiendo ante alguna eventualidad, tomar las medidas necesarias para su protección.

El resultado obtenido de la investigación y desarrollo del proyecto, ha sido un prototipo funcional que recaba de forma automática los datos de temperatura, humedad y dióxido de carbono del ambiente dentro de un silo bolsa, y los registra en una base de datos, para luego mostrarlos en un sitio web perteneciente al sistema. También, emite una alarma vía mail ante la detección de valores fuera de rango.

Para la construcción del proyecto se emplearon, por su versatilidad, componentes de desarrollo basados en plataformas libres: Arduino para el hardware de adquisición de datos, y servidores de tipo cloud (virtuales) para el registro y consumo de los datos obtenidos. Además, en el mismo servicio de host se alojan los servidores de correo, web y aplicaciones.

Palabras Clave:

Adquisición y registro de datos, agricultura, protección de cosecha, valor agregado.

Reconocimientos:

A nuestros profesores, los que nos brindaron sus conocimientos para formarnos durante toda la carrera.

A nuestras familias, por demostrarnos que siempre están para lo que necesitemos, y sobre todo, por el afecto brindado.

A nuestros amigos, quienes se alegraban con cada paso que dábamos hacia el objetivo final de la carrera.

Índice:

Declaración de autoría:	3
Agradecimientos:.....	5
<i>Abstract</i>	7
<i>Reconocimientos</i> :.....	10
Índice:.....	11
Lista de tablas.....	16
Lista de Abreviaciones.....	17
Capítulo 1. Introducción	1
Sistemas de silaje flexibles	2
1.1. Variables.....	7
1.1.1 Temperatura.....	7
1.1.2 Humedad	8
1.1.3 Dióxido de carbono.....	9
Ecuaciones para trigo	10
Ecuaciones para soja:	10
Conclusiones	12
o Temperatura	12
o Humedad:.....	12
o Dióxido de Carbono.....	12
1.1.1.1. Tabla de rangos y condiciones de almacenamiento	13
Capítulo 2. Desarrollo	16
2.1. Sistema de adquisición de datos (DAQ)	17
2.1.1. Esquema general del sistema	17
2.1.2. Red 485	19
2.1.3. Comunicación Ethernet.....	20
2.1.4. Almacenamiento en tarjeta SD.....	23
2.1.5. Sonda de medición	24
2.1.5.1. Sensor de Temperatura y Humedad relativa DHT11	25
2.1.5.2. Sensor de Dióxido de Carbono MQ 135.....	27
2.1.6. Módulo Maestro.....	29
2.1.6.1. Unidad de control y procesamiento	31
2.1.6.2. Software de Control	33
Encabezado	36
Setup.....	36
Loop	37

2.1.6.3. Reloj de Tiempo Real.....	49
2.1.6.4. Módulo de comunicaciones RS485.....	51
2.1.6.5. Sonda de medición	51
2.1.7. Módulo Esclavo	51
2.1.7.1. Estructura de los módulos esclavo	52
2.1.7.2. Unidad de Control y Procesamiento	53
2.1.7.3. Software de Control	55
2.1.7.4. Módulo de comunicaciones RS485.....	60
2.1.7.5. Sonda de medición	61
2.2. Sistema de registro y Visualización	61
2.2.1. Esquema general del sistema de Registro y Visualización	61
Servidor de Base de Datos	62
2.3.1. Base de Datos.....	65
2.3.2. Tabla “TablaDatos”	66
2.3.3. Sitio Web.....	68
2.3.3.1. Página de inicio	68
2.3.3.2. Proyecto	69
2.3.3.3. Registros.....	70
2.3.3.4. Contacto	77
2.3.4. Mail	78
2.3.4.1. Envmail.php	78
2.3.4.2. Mail	80
Fortalezas	82
Oportunidades	82
Debilidades.....	83
Amenazas	83
Capítulo 4. Análisis de Costos	84
4.1. Detalle de costos	84
Capítulo 5. Discusión y Conclusión.....	86
5.1. Alimentación mediante energía solar	87
5.1.1. Introducción	87
5.1.2. Objetivo.....	87
5.1.3. Determinación de potencia.....	88
Capítulo 6. Literatura Citada.....	93
6.1. Referencias.....	93
6.2. Imágenes	93

Lista de Figuras:

Fig. 1: Proyección cosecha campaña 18/19	1
Fig. 2: Silobos bolsas instaladas en campo.....	2
Fig. 3: Principales factores que afectan la respiración de los granos y microorganismos en la bolsa, la relación entre ellos y concentración final de O y CO2	3
Fig. 4: Silobolsa instalado en campo	3
Fig. 5: Silo bolsas.....	4
Fig. 6: Llenado de Silo bolsa.	4
Fig. 7: Noticia robo a silo bolsas. Diario “La Razón”, de Chivilcoy.....	5
Fig. 8: Deterioro de silo bolas por granizo. Fuente sitio “agrovoz”, de Paraná, fecha 19 de Setiembre de 2019.....	6
Fig. 9: Patrón de temperatura a diferentes profundidades del grano (superficie, medio y parte inferior) durante el almacenamiento en silo bolsa de trigo, desde Enero a Junio.....	8
Fig. 10: Cambio en la concentración de CO2 en tres bolsas de soja almacenadas con diferentes humedades: 11,5% (menor a humedad de recibo), 12,9% (humedad cercana a recibo), y 14,9% (superior a humedad de recibo).....	9
Fig. 11: Concentración de CO2 en bolsas de trigo a diferentes contenidos de humedad y con la condición de almacenaje clasificada como, “apropiada” y con evidencia del grano “afectado”..	10
Fig. 12: Concentración de CO2 en bolsas de soja a diferentes contenidos de humedad y con la condición de almacenaje clasificada como, “apropiada” y con evidencia del grano “afectado”..	11
Fig. 13: Esquema general del sistema.....	16
Fig. 14: Diagrama general del Sistema de Adquisición de Datos DAQ	18
Fig. 15: Transceptor RS485 – TTL serie.....	19
Fig. 16: Conexiones transceptor RS485 – TTL serie	19
Fig. 17: Diagrama de conexiones de la red 485	20
Fig. 18: Shields Ethernet Arduino W5100	21
Fig. 19: Conector RJ45 para conexión de ethernet.	21
Fig. 20: Montaje del módulo Ethernet a la placa principal Arduino.....	22
Fig. 21: Esquema de conexión de la placa ethernet	23
Fig. 22: Slot para tarjeta de memoria SD.....	24
Fig. 23: Sonda de medición del módulo maestro.....	24
Fig. 24: Diagrama de sonda de medición, y sus conexiones.....	25
Fig. 25: Sensor de temperatura y humedad DHT11.....	25
Fig. 26: Ubicación del sensor de temperatura en la lanza de toma de datos.....	26
Fig. 27: Conexión del sensor DHT11	26
Fig. 28: Sensor de temperatura y resistencia de pull up.....	27
Fig. 29: Esquema de Librería DHT.h	27
Fig. 30: Sensor de Co2 es MQ135	28
Fig. 31: Circuito interno del Sensor	28
Fig. 32: Ubicación del sensor de CO2 en la lanza de toma de datos.	29
Fig. 33: Sensor de CO2 en lanza de toma de datos	29
Fig. 34: Conexión del sensor de CO2 a la placa controladora	29
Fig. 35: Estructura general del módulo maestro	30
Fig. 36: Vista superior del módulo maestro	31
Fig. 37: Vista lateral del módulo maestro	31
Fig. 38: Vista circuito electrónico módulo maestro	31
Fig. 39: Vista circuitos unidad de control y procesamiento.	32
Fig. 40: Placa Arduino Mega 2560	33
Fig. 41: Esquema de bloques General.....	35
Fig. 42: Esquema Función “Ejecutar()”	37
Fig. 43: Esquema función LectFechaHora.....	37

Fig. 44: Esquema función “RegistroMaestro”	38
Fig. 45: Función lectura_tyh	39
Fig. 46: Función lectura_co2	40
Fig. 47: Función “EscribeBaseDatos”	41
Fig. 48: Función “ConexionServidor”	42
Fig. 49: Protocolo de comunicaciones Maestro-Esclavo	44
Fig. 50: Función “SolDatoEsc”	45
Fig. 51: Trama de solicitud de actualización.....	46
Fig. 52: Trama de solicitud parte Alta del Dato	46
Fig. 53: Trama parte Alta del Dato.....	46
Fig. 54: Trama de solicitud parte Baja del Dato	47
Fig. 55: Trama parte Baja del Dato	47
Fig. 56: Función “ControlFR”	49
Fig. 57: Reloj Tiny RTC.....	50
Fig. 58: Conexión del reloj RTC al módulo maestro	51
Fig. 59: Módulo esclavo.....	52
Fig. 60: Esquema módulo Esclavo.....	53
Fig. 61: Placa Arduino Nano CH340	53
Fig. 62: Placa Arduino Nano para montaje en protoboard.....	54
Fig. 63: Esquema de bloques principales del programa esclavo.....	55
Fig. 64: Funciones principales módulos esclavos.....	56
Fig. 65: Esquema función ActDatos	58
Fig. 66: Esquema función “EnvDatos”	59
Fig. 67: Esquema función “formato”	60
Fig. 68: Esquema función f2sFormato	60
Fig. 69: Herramientas disponibles en el servidor de Base de Datos	62
Fig. 70: Panel de configuración del servidor de Base de Datos.....	63
Fig. 71: Información del dominio registrado	63
Fig. 72: Página de administración de dominios del proveedor Hostinger	64
Fig. 73: Página de administración del servidor FTP.....	64
Fig. 74: Página de administración de archivos del servidor Hostinger.....	65
Fig. 75: Base de datos del sistema	65
Fig. 76: Registros de la tabla “TablaDatos”	66
Fig. 77: Estructura de la tabla “TablaDatos”.....	67
Fig. 78: Página web de inicio.....	69
Fig. 79: Página web del Proyecto.....	70
Fig. 80: Página web de visualización de los datos obtenidos por el sistema	71
Fig. 81: Panel de selección de parámetros	72
Fig. 84: Representación del estado del Silobolsa.....	73
Fig. 85: Diagrama del script que representa el Silo	73
Fig. 86: Función “DefinirColor”	74
Fig. 87: Tabla de Registros.....	74
Fig. 88: Diagrama del script de la “Tabla de Registros”	75
Fig. 89: Representación gráfica de los valores de un módulo del silobolsa	75
Fig. 90: Chart de Datos	76
Fig. 91: Función “humedad_diaria”	76
Fig. 92: Función “temperatura_diaria”	76
Fig. 93: Función “co2_diaria”.....	77
Fig. 94: Estructura del archivo ”3.php”	77
Fig. 95: Página web de Contacto	78
Fig. 96: Función “DefinirColor”	79
Fig. 97: Diagrama de bloques del script envmail.php.....	80

Fig. 98: e-mail recibido, al detectarse un valor fuera de rango.....	81
Fig. 99: Link en el mail para acceder a los registros presentados.....	81
Fig. 100: Esquema alimentación solar	88
Fig. 101: Diagrama general del sistema de alimentación solar.....	92

Lista de tablas

Tabla 1: Valores y Rangos críticos de Temperaturas.....	13
Tabla 2: Valores y Rangos críticos de Humedad.....	14
Tabla 3: Valores y Rangos críticos de CO2.....	15
Tabla 4: Costo de materiales	85
Tabla 5: Costo mano de obra.....	85
Tabla 6: Tabla potencias requeridas por módulo.....	88
Tabla 7: Cálculo de costos	92

Lista de Abreviaciones

T°: Temperatura

°C: Grados centígrados

Hum.: Humedad

Vcc: Tensión de alimentación positiva.

Gnd: Tensión de alimentación negativa.

Tx: Transmisión

Rx: Recepción

mA: Mili Amper

mm: milímetro

Wh: Watt hora

h: horas

Dedicado a:

Mis seres queridos y amigos, quienes me acompañan en cada momento y con quienes comparto momentos inolvidables de mi vida.

A mi madre, quien me brinda su apoyo incondicional y a mi padre, confesor y amigo, a quien llevo en el corazón y la vida no quiso que pueda compartir este logro conmigo.

A mi esposa Paola por darme aliento para seguir y a mi hija Isabella, a la que siempre voy a apoyar para que se forme y sea una persona de bien.

Marcelo Furios

A mis padres, quienes me inculcaron el valor del estudio y me motivaron para no abandonar la carrera.

A mis hermanos, por su apoyo incondicional en las distintas etapas de mi formación.

A mis hijos, Julieta y Martino. Este logro es por y para ustedes.

Maximiliano Ruiz

Capítulo 1. Introducción

En el último tiempo, nuestro país se ha convertido en líder tanto en producción de granos como en el desarrollo de tecnologías aplicadas a los mismos.

Según la publicación del INTA “Almacenamiento de granos secos en silo bolsa” (Enrique Federico BEHR, Luis Zapata, 2017)¹, la producción nacional de los principales granos (soja, maíz, trigo, sorgo y girasol) alcanzó un importante crecimiento durante los últimos 15 años, pasando de 64.000.000 de toneladas cosechadas en la campaña 2000/2001, a 115.000.000 de toneladas en la campaña 2014/2015 (Minagri,2016), y con una estimación de 131.000.000 de toneladas para la campaña agrícola 2018/2019 (Secretaría de Gobierno Agroindustria de la Nación, 2019)

Proyección total 18/19		
Cultivo	Intensión de Siembra (has)	Proyección de Producción (t)
Trigo	6.200.000	20.146.900
Cebada	1.065.000	4.487.910
Maíz	9.350.000	49.680.000
Girasol	1.702.000	3.791.205
Soja	17.500.000	54.250.000
Sorgo	770.000	3.747.475
Otros*		4.030.300
Total		140.133.790

* Otros: Avena, Centeno, Alpiste, Cártamo, Lino, Colza, Algodón, Maní, Arveja, Garbanzo, Lenteja y Poroto.
Secretaría de Agroindustria.

Fig. 1: *Proyección cosecha campaña 18/19*

Dentro de los sistemas de conservación de granos, uno de los que ha causado mayor impacto en la economía agropecuaria Argentina es el silaje en sistemas flexibles en bolsas plásticas, comúnmente denominados “Silo bolsas”.



Fig. 2: *Silobo bolsas instaladas en campo*

Sistemas de silaje flexibles

Esta herramienta tecnológica de acopio denominada comúnmente “Silo bolsa”, consiste en el almacenamiento hermético de granos en bolsas plásticas, donde el proceso respiratorio de los seres vivos del granel en su interior (ecosistema formado por granos, hongos, insectos, etc.), consume el oxígeno (O₂) y genera dióxido de carbono (CO₂), logrando así una atmósfera auto modificada.

La constitución de esta nueva atmósfera, rica en CO₂ y pobre en O₂, suprime, inactiva o reduce la capacidad de reproducción y/o desarrollo de insectos y hongos, como así también la propia actividad del grano, facilitando su conservación.

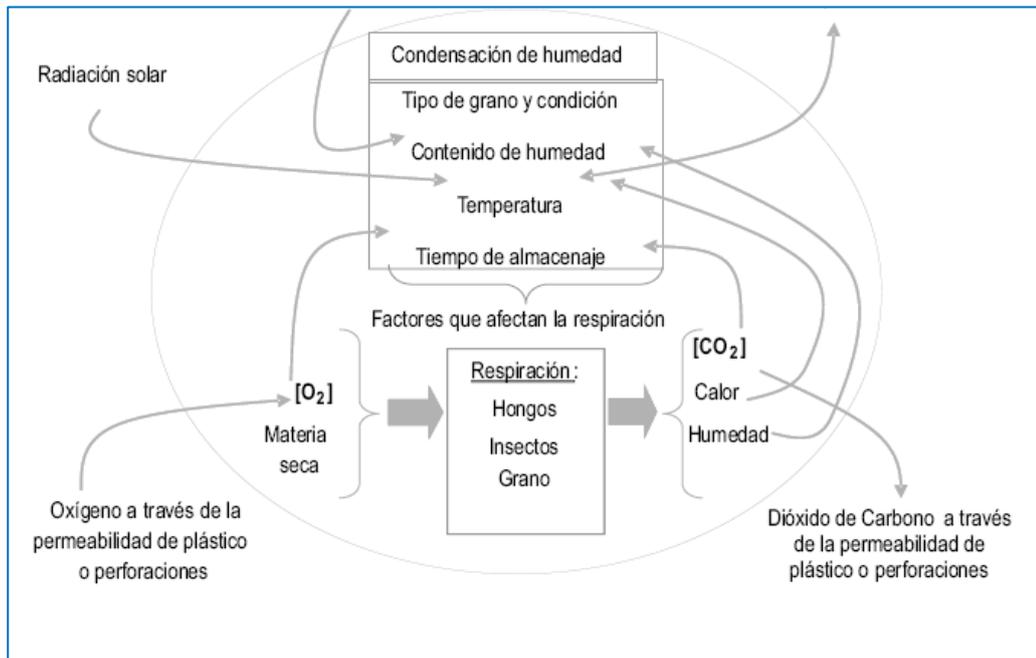


Fig. 3: Principales factores que afectan la respiración de los granos y microorganismos en la bolsa, la relación entre ellos y concentración final de O y CO₂

Los silo bolsa son típicamente de 60 m de largo, 2.74 m de diámetro y su cubierta plástica tiene 235 micrones de espesor constituida por tres capas (con el interior negro y exterior blanco).



Fig. 4: Silobolsa instalado en campo

Cada silo bolsa puede almacenar aproximadamente 200 toneladas de trigo, o 180 toneladas de soja.



Fig. 5: *Silo bolsas*

Según estudios realizados, en nuestro país el 40% de la producción nacional de granos es almacenada en silo bolsas, lo que implica que en la campaña 18/19 se almacenarán en estos sistemas, un total de 56.053.516 millones de toneladas de granos.



Fig. 6: *Llenado de Silo bolsa.*

Pero el inconveniente que presenta su utilización, desde el punto de vista del productor, es que su cuidado demanda una mayor atención que otro tipo de ensilado, ya que una mala conservación de los granos por llenado incorrecto, ruptura de la bolsa, filtración de agua por rotura o el ingreso de roedores se traduce en pérdida de calidad y cantidad de la producción almacenada.

Incluso el tiempo de almacenamiento seguro (variable que se desea manipular, ya que determina la disponibilidad del grano) depende principalmente de estos factores, por lo cual es sumamente importante realizar un monitoreo continuo del estado interno del silo bolsa para prevenir, diagnosticar y solucionar los problemas antes que afecten la calidad del grano.

Según estimaciones del Proyecto de Eficiencia en Cosecha y Poscosecha de Granos (Precop), en nuestro país se deteriora hasta un 8% del grano cosechado.



The image is a screenshot of a news article from the newspaper "LA RAZON de Chivilcoy". The article is dated July 31, 2019, and is from Chivilcoy, Buenos Aires. The headline reads "Roban 20 mil kilos de soja y dañan dos silos bolsas". The sub-headline indicates the event occurred on Thursday morning. The main text describes the theft of 20,000 kg of soybeans from two silos, reported by Juan Carlos Davico. The silos were damaged and the grain was stolen using buckets on two trailers. The article includes a photograph of the damaged silos and a social media sharing sidebar.

LA RAZON
de Chivilcoy
31 de Julio de 2019 7° En Chivilcoy, Buenos Aires

Menu

EL JUEVES A LA MADRUGADA

Roban 20 mil kilos de soja y dañan dos silos bolsas

El hecho, que ocurrió en un campo ubicado en la Ruta Provincial N° 51, a metros del cruce con Ruta Nacional N° 5; fue denunciado por Juan Carlos Davico. Lo sustraído lo habrían cargado a baldes en dos chasis.

Facebook
Twitter
WhatsApp

LOCALES | Por Fernando Gregalia | sábado, 10 de noviembre de 2018 · 00:00

Fig. 7: Noticia robo a silo bolsas. Diario "La Razón", de Chivilcoy



Fig. 8: Deterioro de silo bolas por granizo. Fuente sitio "agrovoy", de Paraná, fecha 19 de Setiembre de 2019

Todos estos riesgos pueden detectarse mediante un monitoreo de las principales variables que intervienen dentro del silo bolsa: temperatura, humedad, y dióxido de carbono.

Si bien la industria agropecuaria posee herramientas de control del estado de almacenamiento de los granos, en su gran mayoría no son autónomos, debiendo el productor realizar los controles de forma manual cada cierto tiempo, con los costos operativos que esto acarrea. Además, debido a la forma de empleo de estos instrumentos manuales (perforación de la bolsa, inserción de la sonda y posterior sellado de la incisión), no es posible realizar una toma de datos frecuente, careciendo de la posibilidad de detectar aquellos problemas que requieran acciones inmediatas.

Observando las soluciones disponibles en el mercado para el monitoreo de silo bolsas, y considerando esta última falencia, hemos pensado y desarrollado el presente sistema de monitoreo remoto, el cual permitirá al productor disponer de información precisa e inmediata sobre el estado de almacenamiento del grano sin necesidad de realizar tareas de campo alguna, teniendo acceso a los datos de forma online, independientemente de su ubicación geográfica.

1.1. Variables

El principal proceso a controlar en un silo bolsa para asegurar la preservación del material acopiado (granos, semillas, forraje, etc.), es la actividad biológica de su interior, determinada tanto por dicho material “vivo”, como por otros organismos como insectos, hongos, levaduras, etc., que inevitablemente se introducen en el momento de su llenado. Esta actividad puede ser monitoreada analizando la respiración de estos elementos, la cual se ve afectada fundamentalmente por la temperatura, contenido de humedad, y concentraciones de dióxido de carbono, que serán los principales indicadores a censar.

A continuación, analizaremos estas variables, su comportamiento, y su incidencia en los procesos que determinan condiciones de almacenamiento seguras o riesgosas.

1.1.1 Temperatura

Todo proceso biológico se acelera a mayores temperaturas, sobre todo en presencia de humedad.

La temperatura del grano ensilado puede ser modificada tanto por fuentes internas como externas, alterando las condiciones de equilibrio del grano con su medioambiente.

Los gradientes de temperatura dentro de la masa de granos producen la migración de la humedad desde las zonas más calientes a las más frías, y esta redistribución puede generar condiciones propicias para el deterioro del grano.

Los silo bolsa tienen una tasa alta de intercambio de calor con el aire y el suelo, por lo que la temperatura en su interior es mayormente afectada por la temperatura ambiente, dificultando el monitoreo de la actividad biológica utilizando dicho parámetro, ya que depende de las condiciones climáticas, la radiación solar, y la transferencia de calor con el aire y el suelo en contacto con la bolsa.

En un experimento de campo (fuente: Bartosik et al., 2008), se llenaron silo bolsas con trigo durante el verano, y se pudo comprobar que éstos fueron capaces de disipar el calor del grano al medio ambiente y al suelo, reduciendo la temperatura del grano a menos de 17°C para principios de mayo.

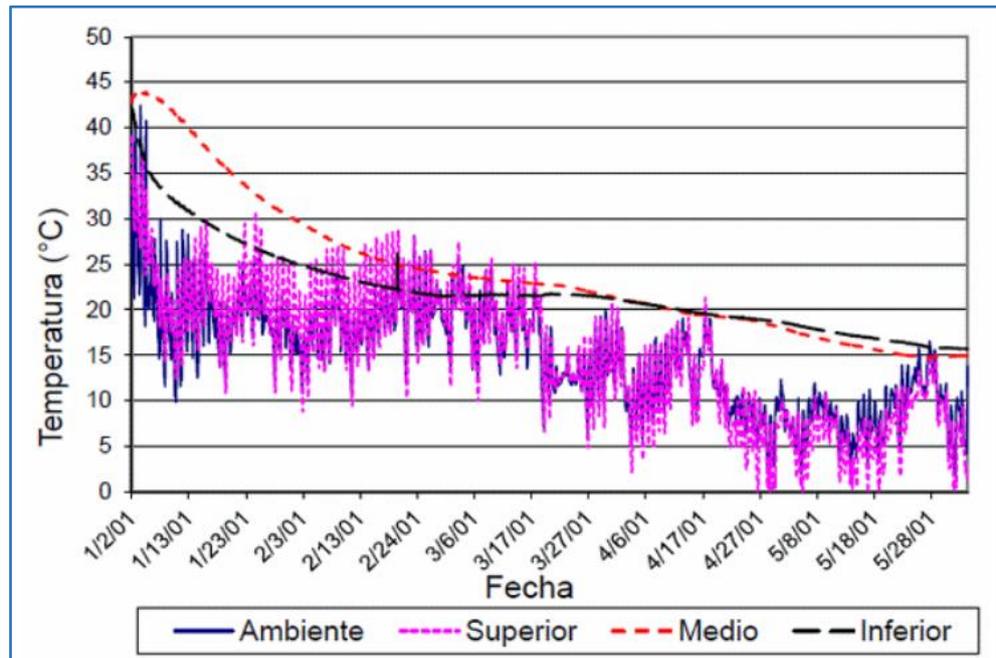


Fig. 9: Patrón de temperatura a diferentes profundidades del grano (superficie, medio y parte inferior) durante el almacenamiento en silo bolsa de trigo, desde Enero a Junio.

Resultados similares fueron reportados por Barreto et al. (2012) simulando los efectos de las condiciones ambientales en la temperatura de silo bolsas con trigo en diferentes regiones de Argentina

En conclusión, si bien la temperatura afecta el ritmo de respiración de los granos, la termometría no es de mayor utilidad para determinar las condiciones de almacenamiento en silo bolsas, ya que prácticamente copia la temperatura ambiente con una diferencia aproximada de 2°C.

1.1.2 Humedad

La humedad es un factor limitante tanto para asegurar la calidad como para determinar el tiempo de almacenamiento.

Tanto la concentración de Oxígeno como de Dióxido de Carbono son dos parámetros fuertemente relacionado con la actividad biológica de los granos en bolsas plásticas, en el sentido de que a mayor contenido de humedad la concentración de CO₂ aumenta, y en el caso de O disminuye, de forma muy pronunciada.

Dado que el silo bolsa está confeccionado por una cobertura de plástico hermética, no se debería experimentar variaciones amplias de humedad durante el período de almacenamiento a menos que agua de lluvia penetre a la bolsa a través de orificios en la misma.

De la misma manera se puede afirmar, que la humedad de los granos al momento de la extracción es similar a la humedad de embolsado, de no haberse producido ingresos de agua al sistema. (Bartosik, 2014).

Sin embargo, podrían detectarse ciertas variaciones debido a un proceso de homogeneización de la humedad en su interior que se produce antes del mes del momento de almacenamiento.

Por esto, el mantenimiento de la hermeticidad de la bolsa es el factor clave para un almacenamiento exitoso.

1.1.3 Dióxido de carbono

Para cualquier momento particular, la concentración de dióxido de carbono (CO₂) y oxígeno (O) en el silo bolsa depende del balance entre la respiración (consumo de O y generación de CO₂), la entrada de O exterior al sistema, y la pérdida de CO₂ al aire ambiente.

Según el estudio “Detección temprana de procesos de descomposición de granos almacenados en bolsas de plástico herméticas mediante la medición de CO₂”, realizado por Ricardo Bartosik, Leandro Cardoso, Darío Ochandío y Diego Croce, y editado por el INTA en febrero de 2009, el monitoreo periódico de la concentración de CO₂ se puede utilizar como herramienta para detectar tempranamente un aumento en la actividad biológica en bolsas, y relacionarlo con los procesos de descomposición del grano.

Si bien este monitoreo permite detectar un aumento de la actividad biológica en bolsas durante el almacenaje, tal como lo muestra la siguiente figura:

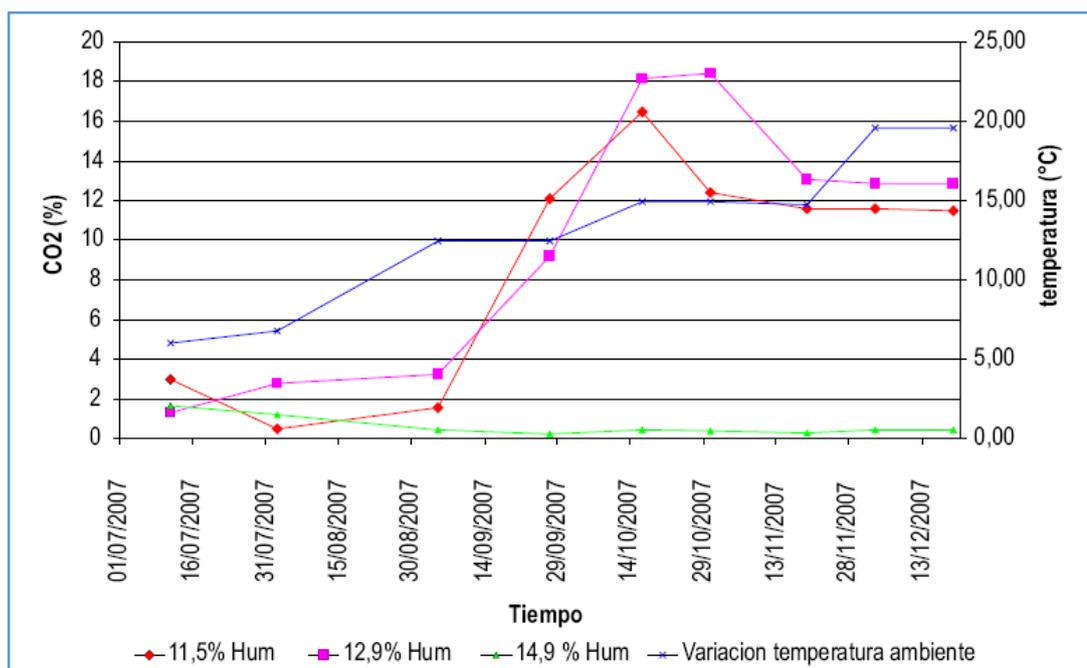


Fig. 10: Cambio en la concentración de CO₂ en tres bolsas de soja almacenadas con diferentes humedades: 11,5% (menor a humedad de recibo), 12,9% (humedad cercana a recibo), y 14,9% (superior a humedad de recibo)

los autores determinaron que la condición de almacenaje se puede determinar midiendo el CO₂, y compararlo con los valores típicos para bolsas con condiciones de almacenaje seguras e inseguras, clasificándolas como segura, riesgosa o insegura.

Para esto, y a través del análisis de las gráficas obtenidas de las mediciones realizadas, obtuvieron funciones que permiten determinar dichas condiciones:

Ecuaciones para trigo

Condiciones apropiadas: $y = (0,651x^2 - 14,58x + 83,82)$

Grano afectado: $y = (-0,071x^3 + 3,224x^2 - 44,83x + 210,6)$

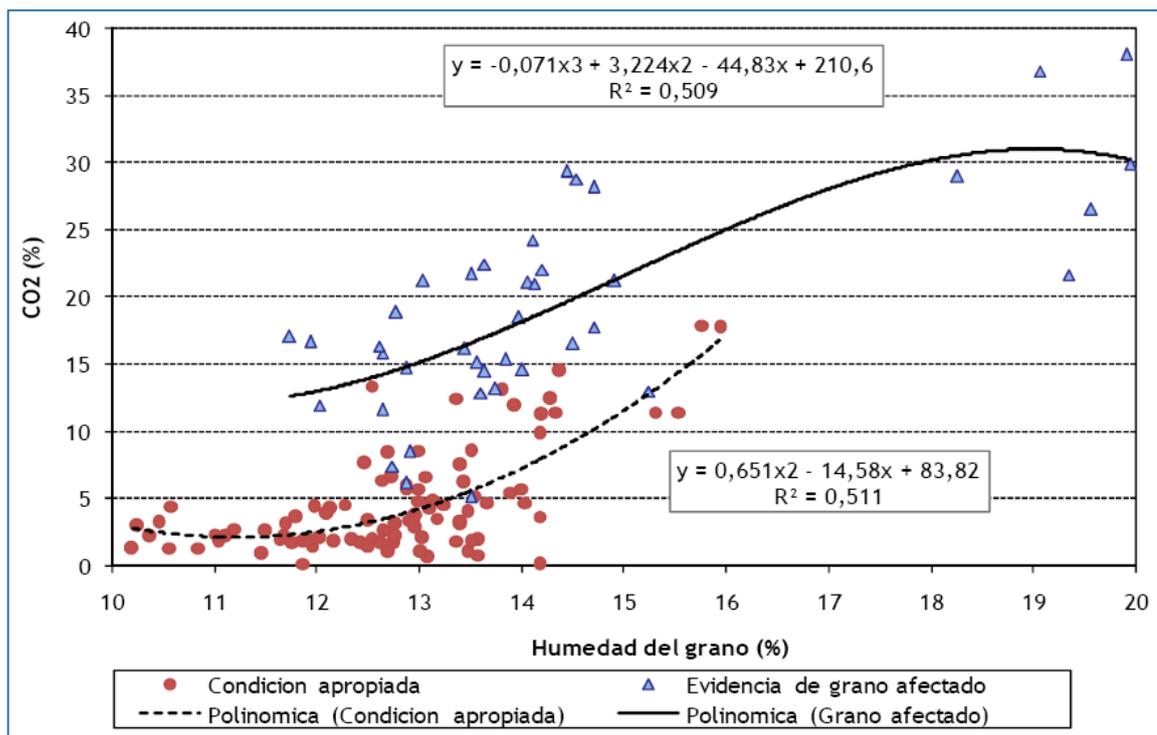


Fig. 11: Concentración de CO₂ en bolsas de trigo a diferentes contenidos de humedad y con la condición de almacenaje clasificada como, “apropiada” y con evidencia del grano “afectado”.

Ecuaciones para soja:

Condiciones apropiadas: $y = (-0,227x + 5,181)$

Grano afectado: $y = (0,776x + 2,369)$

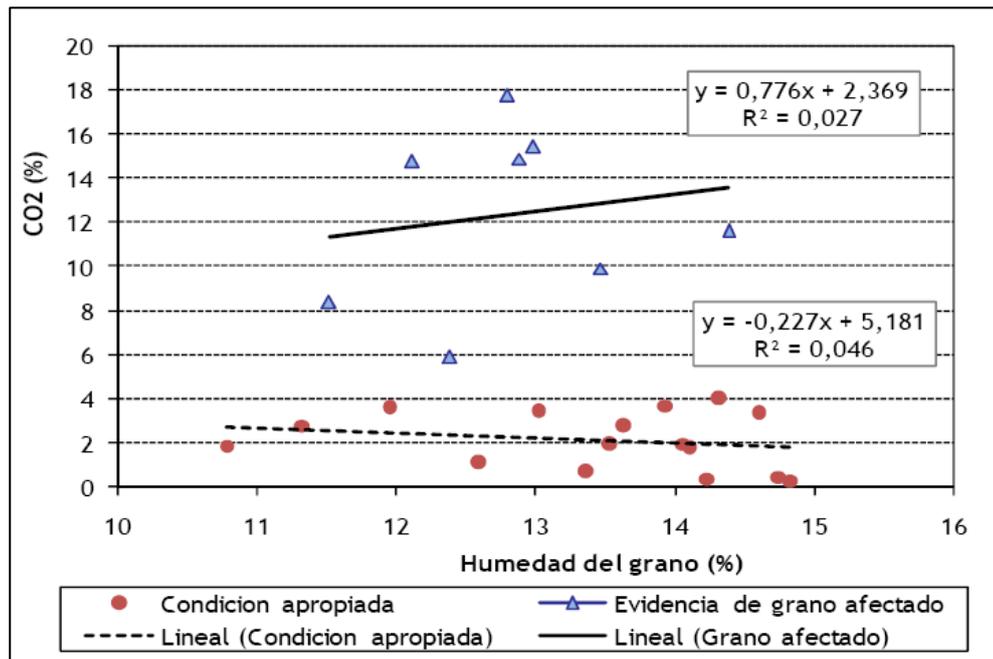


Fig. 12: Concentración de CO₂ en bolsas de soja a diferentes contenidos de humedad y con la condición de almacenaje clasificada como, “apropiada” y con evidencia del grano “afectado”.

Entonces, para determinar la condición de almacenamiento, se deben emplear las funciones anteriores, donde el valor de x es el valor de humedad del grano (se puede tomar al momento de llenado de la bolsa), y mediante el valor de y, obtenido, determinar la condición de almacenamiento. -

El seguimiento de los valores de dióxido de carbono permite además detectar en forma temprana los problemas de almacenamiento derivados de roturas o perforaciones, y gracias a la difusión que presenta el dióxido de carbono, sectorizar la bolsa y asignar diferentes niveles de riesgo o destinos posibles de los granos (Behr E. y Zapata L. 2017).

Como se mencionó, los granos, insectos, hongos y otros microorganismos presentes en el interior del silo bolsa respiran consumiendo O del medio ambiente, liberando CO₂, agua y calor.

Este proceso de automodificación de su atmósfera contribuye al control e inhibición de los mismos, de distintas maneras:

- Insectos:

El tiempo de exposición requerido para lograr un completo control de insectos es inversamente proporcional a la concentración de CO₂. La mínima concentración de CO₂ requerida para lograr un control total de insectos parece ser de 35%, con un tiempo de exposición mayor a 14 días.
- Hongos

La baja concentración de O₂ (por debajo de 1%) parece no ser suficiente para detener el crecimiento de hongos, aunque se retrasó el deterioro del grano. Incrementos en la concentración de CO₂ resultó en una reducción de la actividad fúngica.

Conclusiones

Según lo analizado y expuesto en los ítems anteriores, a continuación, se detallan los valores y parámetros que se evaluarán para determinar las condiciones dentro de un silo bolsa, tomando como referencia el almacenamiento de granos de soja.

- Temperatura

Tal como se mencionó en el ítem 1.1.1 Temperatura (pág.7), debido a que la temperatura interior de la bolsa “copia” las condiciones exteriores, la termometría no resulta de mayor utilidad para precisar condiciones de almacenamiento en silo bolsas, por lo cual los datos obtenidos se registrarán más que nada a modo informativo, el cual se emplea de forma complementaria a la humedad, sin poseer valores límite de control, más allá de generar alertas ante la presencia de valores elevados de temperatura (mayores a 50°C), que puedan significar presencia de focos ígneos por incendio o vandalismos.

- Humedad:

La humedad dentro del silo bolsa toma el valor presente al momento del embolsado, y casi no presenta variaciones durante el período de almacenamiento.

Los valores de porcentaje de humedad intergranaria que se tendrán en cuenta para determinar un potencial riesgo de almacenamiento son los detallados en la Tabla 1: Valores y Rangos críticos de Temperaturas Humedad, pág. 14.

También se analizarán cambios de valores abruptos, a fin de detectar el ingreso de agua (ej. lluvia) o humedad ante perforaciones o roturas de la bolsa.

Los registros de humedad se emplearán además junto con los de CO₂, para determinar la condición de almacenamiento mediante las funciones enunciadas en el cap. 0

- Dióxido de Carbono

Es el elemento más importante a monitorear para determinar la condición de almacenaje del grano dentro del silo bolsa.

Para esto, los valores obtenidos se compararán con los valores típicos de almacenamiento expresados mediante gráficos y ecuaciones en el capítulo 0, clasificando las condiciones como segura, riesgosa o insegura.

Para el caso del almacenamiento de soja, que es el escenario planteado para el desarrollo del proyecto, si al momento del embolsado el grano presenta valores de humedad típicos (de entre 11% y 15%), la misma no afectará substancialmente el nivel de concentración de CO₂ para condiciones de almacenaje seguras. Por tal, cualquier medición de CO₂ por debajo del 4% implicará condiciones de almacenaje “segura”, entre 4 y el 12% condiciones de almacenaje “riesgosa”, y por encima de 14% presentará condiciones de almacenaje “insegura”.

Para otros tipos de granos, se deberán emplear los niveles determinados por las curvas de variación según lo explicado en el punto 0 (por ejemplo para el trigo, curvas de la Fig. 11).

Además, como en el caso de la humedad, se analizarán cambios abruptos de CO₂ a fin de detectar el ingreso de aire (oxígeno), alertando posibles perforaciones o roturas de la bolsa.

1.1.1.1. Tabla de rangos y condiciones de almacenamiento

Con todos estos datos, y tomando como referencia el almacenamiento de soja, con una humedad del grano al momento del embolsado del 12,9%, se elaboró la siguiente tabla de rangos de almacenamiento seguro, riesgoso e inseguro, y se determinaron las acciones a seguir ante la presencia de valores fuera de estos límites:

Temperatura				
Valor	Condición de almacenamiento	Acción	Color	Mensaje mail
Variación > 50%	Anomalía	Alarma	Rojo	Variación abrupta de TEMPERATURA
T° = 0.00 [°C]	Sin datos	Atención	Blanco	Error de lectura de Temperatura
T° < 35°C	Temperatura normal	-	Verde	
35°C < T° < 50°C	Posible deterioro del grano por altas temperaturas	Alarma	Amarillo	Valor elevado de Temperatura
50°C < T° < 70°C	Deterioro del grano por altas temperaturas	Alarma	Naranja	Altos valores de Temperatura
T° >= 70°C	Posible presencia de focos ígneos (incendio, vandalismo)	Alerta	Rojo	MUY ALTOS VALORES DE TEMPERATURA
Otro valor	Error en lectura	Atención	Negro	Lectura fuera de rango / Error de lectura de Temperatura

Tabla 1: Valores y Rangos críticos de Temperaturas

Humedad				
Valor	Detalle	Acción	Color	Mensaje mail
Variación > 20%	Ingreso agua por rotura (lluvia, etc.)	Alarma	Rojo	Variación abrupta de HUMEDAD
Hum < 0%	Error de lectura	Atención	Negro	Lectura fuera de rango / Error de lectura de Humedad
Hum = 0.00 %	Sin datos	Atención	Blanco	Error de lectura de Humedad
0% < Hum < 16%	Valores de humedad dentro de rango. Bajo riesgo.	-	Verde	-
16% <= Hum < 30%	Valores significativos de humedad intergranaria (favorece la actividad biológica, deteriorando el grano)	Alarma	Amarillo	Valores elevados de Humedad
30% <= Hum < 80%	Altos valores de humedad. Posible condensación de vapor	Alarma	Naranja	Altos valores de Humedad
80% <= Hum <= 100%	Posible ingreso de agua por rotura de bolsa (lluvia, otros)	Alerta	Rojo	MUY ALTOS VALORES DE HUMEDAD
Hum > 100%	Error de lectura	Atención	Negro	Lectura fuera de rango / Error de lectura de Humedad

Tabla 2: Valores y Rangos críticos de Humedad

CO2				
Valor	Detalle	Acción	Color	Mensaje mail
Variación > 20%	Ingreso aire del exterior (rotura bolsa)	Alarma	Rojo	Variación abrupta de CO2
CO2 < 0%	Error de lectura	Alarma	Negro	
CO2 = 0.00%	Sin datos	Atención	Blanco	Error de lectura de Humedad
0% < Co2 <= 4%	Condición de almacenamiento segura. Baja actividad biológica	-	Verde	-
4% < Co2 <= 16%	Condición de almacenamiento riesgosa. Posible actividad biológica elevada	Alarma	Amarillo	Valores elevados de CO2
16% < Co2 <= 30%	Condición de almacenamiento muy riesgosa. Actividad biológica elevada	Alarma	Naranja	Altos valores de CO2

30% < Co2 <= 100%	Condición de almacenamiento insegura. Posible rotura de bolsa	Alerta	Rojo	MUY ALTOS VALORES DE CO2
CO2 > 100%	Error de lectura	Atención	Negro	Lectura fuera de rango / Error de lectura de CO2

Tabla 3: Valores y Rangos críticos de CO2

En las columnas, se especifica:

- Valor: define los valores y rangos significativos, a tener en cuenta para la evaluación del estado de almacenamiento.
- Detalle: describe brevemente la condición del valor leído, y el estado de almacenamiento.
- Acción: Tipo de advertencia. Tratamiento recomendado del evento.
- Color: es el color definido para representar a simple vista, el estado del valor mostrado. Se utiliza en la página web, para indicar el estado del silo, y en la tabla informativa que se envía por mail, ante una alerta.
- Mensaje Mail: es el tipo de mensaje que se enviará en el mail de alerta, en caso que la acción lo requiera. Define además el tipo aviso y acción requerida (alerta, acción inmediata, solo notificación, etc).

Capítulo 2. Desarrollo

El sistema desarrollado está formado por dos componentes, que cumplen funciones complementarias, un Sistema de Adquisición de datos o DAQ, encargado de recolectar los datos de los sensores y enviarlos a una base de datos, y un Sistema de Registro y Visualización, que guarda los registros obtenidos por el DAQ, los procesa, y los muestra en un sitio web a la que tiene acceso el usuario. También, este sistema analiza los datos y de detectar algún valor fuera de rango, envía un mail advirtiendo esta situación.

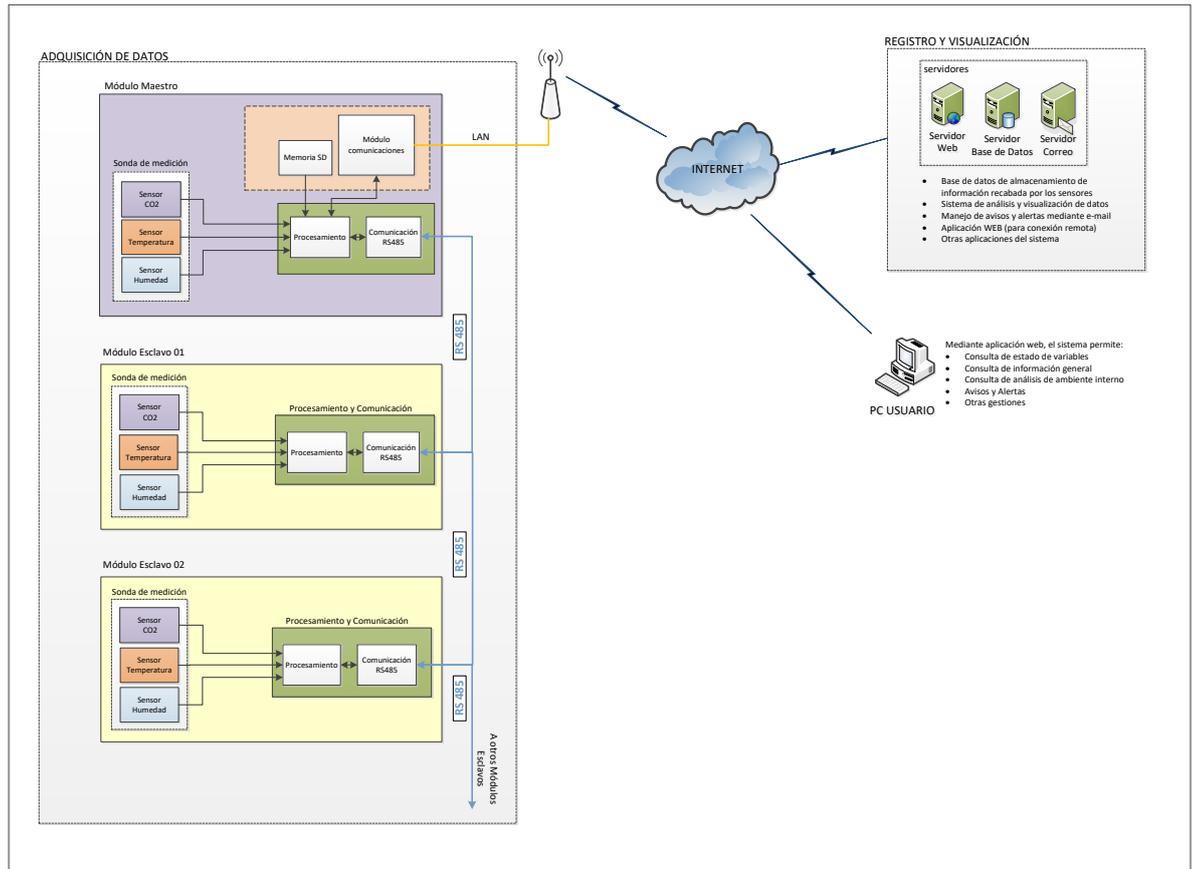


Fig. 13: Esquema general del sistema

El **sistema de adquisición de datos (DAQ)** es el encargado de realizar la toma de los valores de temperatura, humedad y dióxido de carbono del interior de los silobolsas, procesarlos y enviarlos para su registro en la base de datos remota.

Está estructurado como una red de dispositivos en configuración maestro-esclavo, conectados entre sí mediante una red industrial RS485.

Cada uno de estos módulos está compuesto por:

- Módulo de toma de datos
 - Sonda de medición
 - Procesamiento de datos

- Módulo de comunicaciones

El módulo maestro de la red, además, incorpora una interface de conexión LAN que registra los datos en la base de datos (remota), una memoria (SD card) que respalda de forma local los datos obtenidos, y un reloj de tiempo real, que emplea el controlador principal para determinar el momento de la toma de datos.

El **Sistema de Registro y Visualización**, es el encargado de almacenar la información obtenida por el DAQ en una base de datos, procesarla, y gestionar la presentación mediante una página web.

Además, realiza el envío de alertas mediante correo electrónico.

Está compuesto por:

- Servidores
 - De Base de datos
 - De dominio y Sitio Web
 - De correo electrónico
- Base de datos
- Sitio WEB

A continuación, se analizan cada uno de estos módulos y componentes

2.1. Sistema de adquisición de datos (DAQ)

Este sistema obtiene la información de temperatura, humedad y CO₂ de los sensores de su módulo, y de los esclavos de la red, se conecta a la base de datos, y registra los valores obtenidos.

La configuración lógica de comunicaciones del sistema es de tipo maestro-esclavo, donde el maestro, además de tomar datos de sus sensores, recaba los datos obtenidos por los dispositivos esclavos, y los registra en la base de datos mediante un módulo de comunicaciones externo.

El microcontrolador del módulo maestro se encarga de realizar los procesos principales, y organizar el funcionamiento de la red enviando comandos y solicitando información al resto de los esclavos. Estos a su vez, responden enviando los datos solicitados por el maestro y/o ejecutando comandos recibidos.

2.1.1. Esquema general del sistema

El esquema general, completo, del sistema de adquisición de datos, es el siguiente:

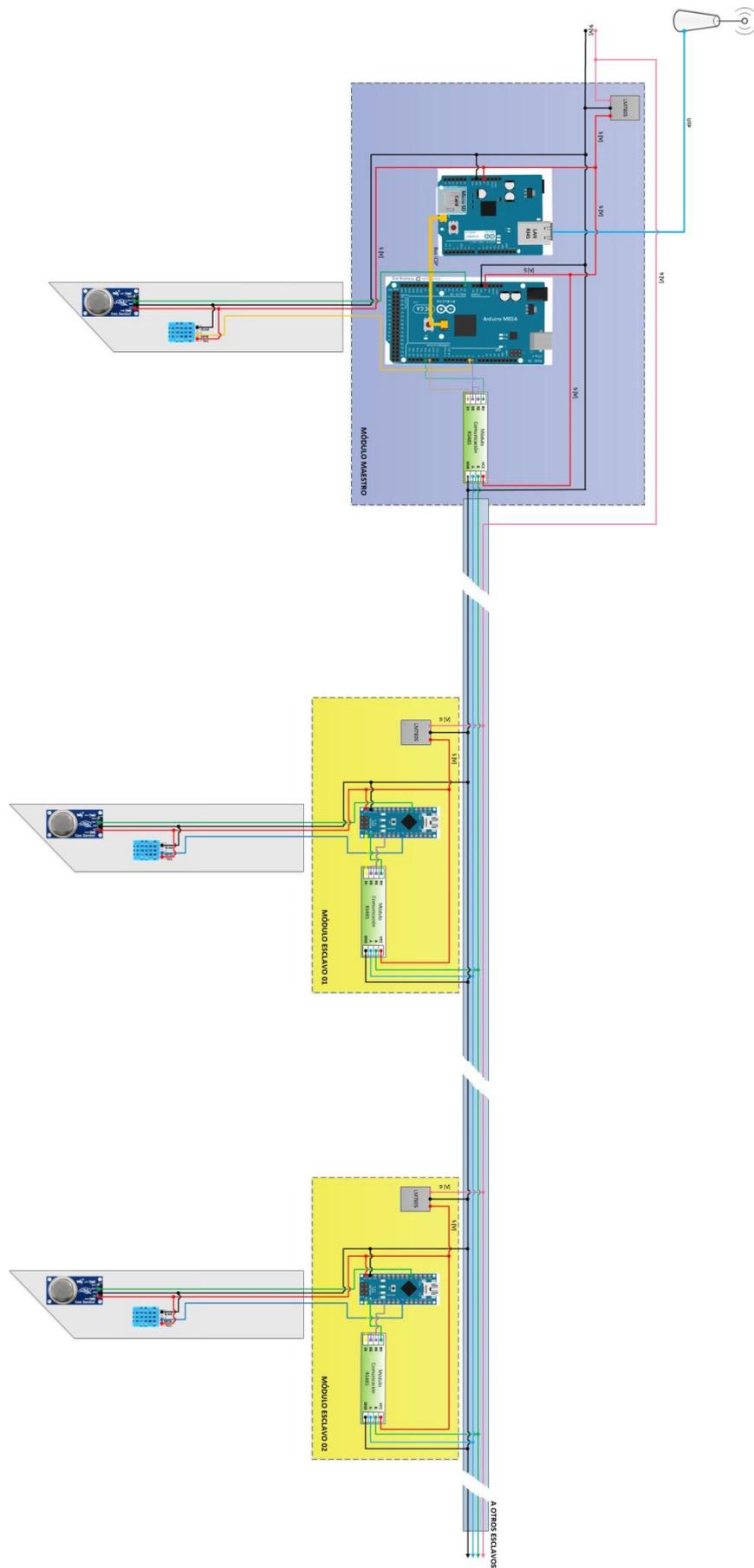


Fig. 14: Diagrama general del Sistema de Adquisición de Datos DAQ

2.1.2. Red 485

La comunicación del módulo maestro con los esclavos, se realiza mediante una red de comunicación serie sobre RS485, donde los puertos series de cada módulo se interconectan empleando RS-485 como protocolo de capa física (según el modelo OSI), la cual permite implementar redes multipunto de hasta 1200 metros.

Este protocolo emplea dos niveles de tensión de señal diferencial, considerando la diferencia de potencial entre los dos cables que integran el BUS, brindando de esta manera alta inmunidad a ruidos eléctricos, y flexibilidad de conexión ya que el ruido eléctrico que se puede introducir en el canal de comunicación, se “suma” a ambos niveles con igual intensidad, manteniendo su diferencia el mismo valor.

Los dispositivos esclavos se encuentran identificados dentro de la red mediante un código único de dispositivo, y se dedican a realizar procesos distribuidos (es decir, procesos locales propios de cada punto de control), contando con un alto grado de autonomía.

Para implementar esta red, se utiliza los módulos conversores RS485 a serial TTL, que emplean el chip MAX485, en configuración half dúplex.

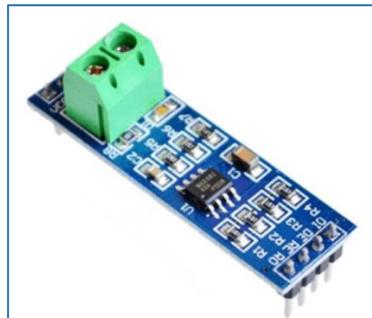


Fig. 15: Transceptor RS485 – TTL serie



Fig. 16: Conexiones transceptor RS485 – TTL serie

RX: Pin de recepción del puerto serie.

Vcc, Gnd: Alimentación

TX: Pin de transmisión del puerto serie.

A, B: Líneas de transmisión del protocolo.

D2: Pin de habilitación para lectura o escritura.

Los pines A y B conforman la línea de transmisión por donde se envían y reciben los datos. Por ambos se envían los mismos datos, pero negados entre

sí, pudiendo de esta forma restar ambas señales y eliminar el ruido. El encargado de esta transmisión diferencial es el chip MAX485.

El tipo de comunicación es half-dúplex, es decir, de forma bidireccional, pero no en simultáneo. Por esto, cada uno de los módulos se debe configurar como transmisor o receptor, según la función deseada.

En el módulo empleado, esto se logra conectando a la vez (puenteados) los pines RE (receiver enable) y DE (driver enable) a Vcc para que el módulo actúe como emisor, o a Gnd para que lo haga como receptor.

A continuación, se muestra el diagrama de conexiones del módulo maestro con los esclavos,

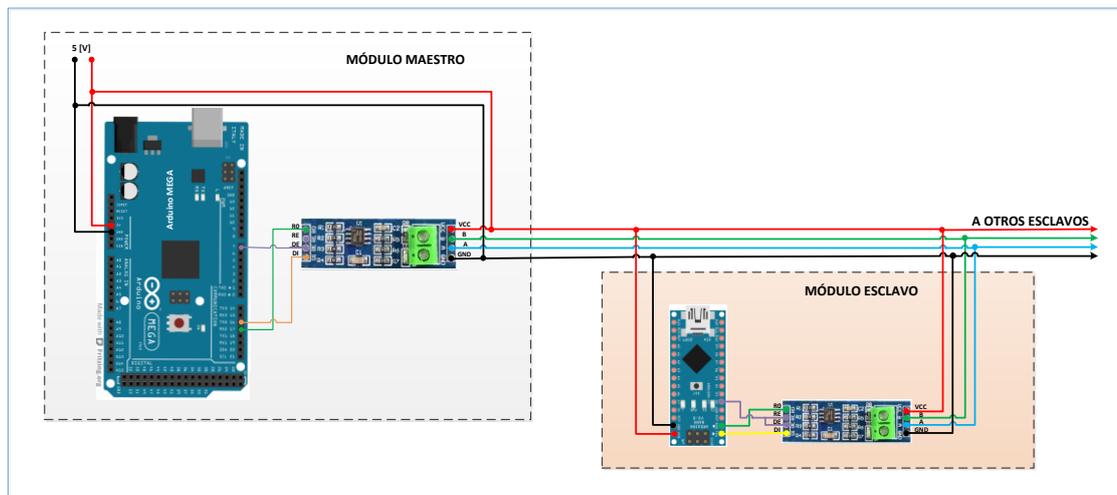


Fig. 17: Diagrama de conexiones de la red 485

Desde el punto de vista lógico, el sistema se comunica mediante el protocolo serie RS386, utilizando el puerto serie 2 (de los 4 que posee el Arduino Mega), el cual se encuentra disponible en los pines 16 (TX2) y 17 (RX2) de la placa, y mediante la salida digital 7 (pin 7) configura el módulo como transmisor o receptor.

2.1.3. Comunicación Ethernet

La comunicación ethernet del sistema con los servidores de Base de Datos, archivos y mail, se logra mediante un módulo Arduino Ethernet Shield W5100: un controlador de Ethernet fabricado por la empresa Wiznet, especialmente diseñado para aplicaciones embebidas.

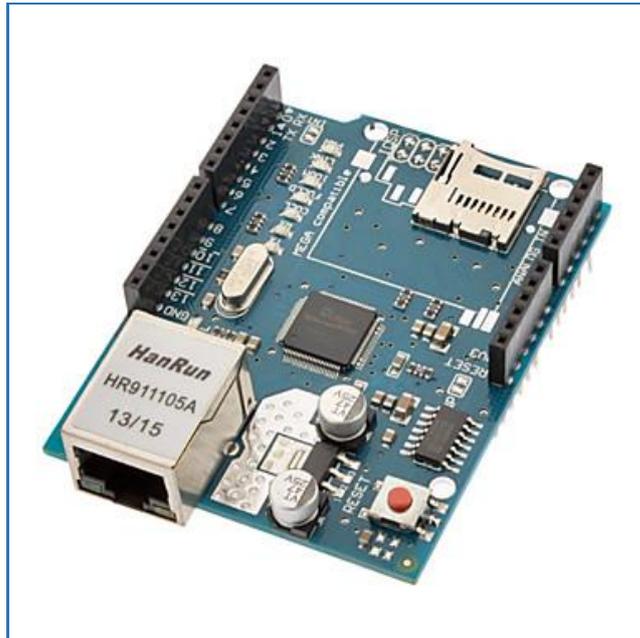


Fig. 18: Shields Ethernet Arduino W5100

Este módulo está basado en el chip ethernet Wiznet W5100, que provee de una pila de red IP capaz de soportar TCP y UDP, y hasta cuatro conexiones de sockets simultáneas.

Incluye una pila de TCP/IP por hardware y buffer interno de 16Kbytes para Tx/Rx, que le permite liberar tareas al procesador, siendo esto de gran ventaja.

A nivel software, para leer y escribir los flujos de datos que pasan por el puerto ethernet emplea una librería desarrollada para dicha función.

El sistema se vincula con Internet mediante un access point, empleando un conector ethernet RJ45 que posee la placa ethernet.



Fig. 19: Conector RJ45 para conexión de ethernet.

La ethernet shield dispone de conectores que permiten montarla sobre la placa de procesamiento principal.

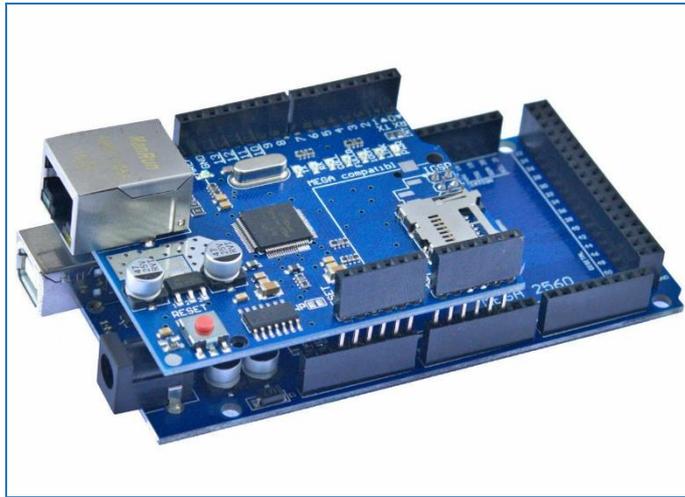


Fig. 20: Montaje del módulo Ethernet a la placa principal Arduino

Características principales:

- Opera a 5V suministrados desde la placa principal
- El controlador ethernet es el W5100 con 16K de buffer interno. No consume memoria.
- Soporta hasta 4 conexiones simultáneas
- Dispone de un lector de tarjetas micro-SD que puede ser usado para guardar ficheros y servirlos sobre la red.
- Cuando se hace uso de la tarjeta SD, se emplea el pin 4.

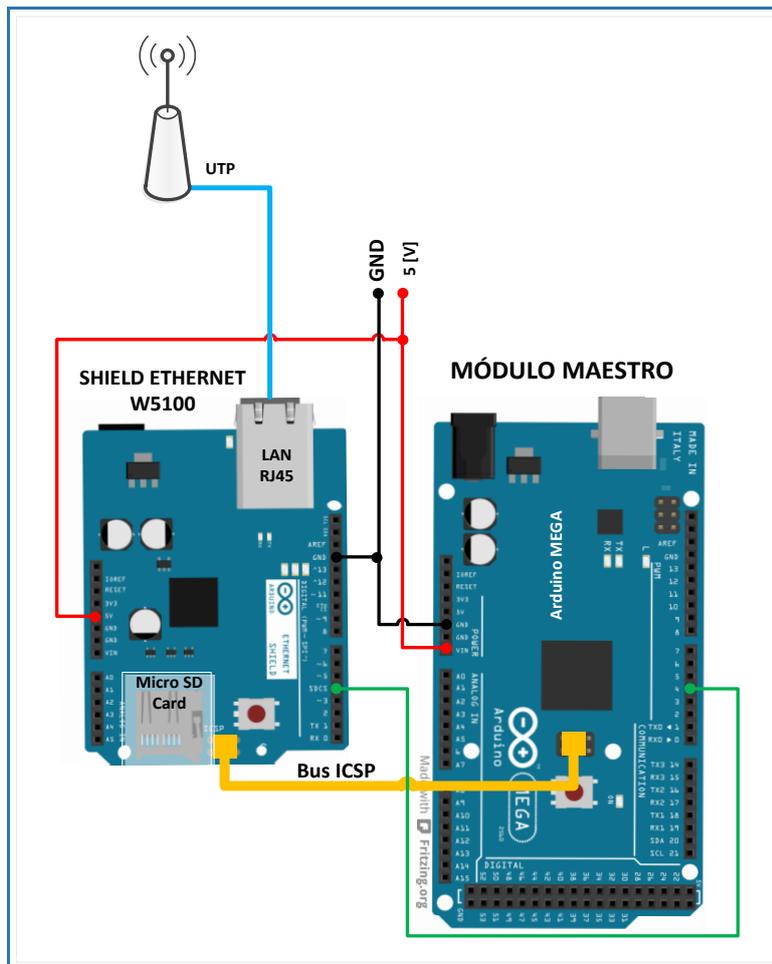


Fig. 21: Esquema de conexión de la placa ethernet

Obs: si bien la placa ethernet se conecta con la placa principal como se describe anteriormente “montada” sobre ésta, en la imagen anterior se muestra conectadas mediante un bus, a fin de mostrar esquemáticamente, como se vinculan entre si

2.1.4. Almacenamiento en tarjeta SD

Como una medida de seguridad, el sistema guarda después de cada lectura los datos recabados de los módulos maestros y esclavos en una tarjeta de memoria micro SD de 8 GB.

Como se mencionó en el punto anterior, el slot de esta memoria, se encuentra incluido en la tarjeta ethernet.



Fig. 22: Slot para tarjeta de memoria SD

Son dos los archivos que emplea el sistema para guardar los datos obtenidos:

- Regddef.txt: archivo en el que se registran los datos guardados correctamente en la base de datos
- Regdtemp.txt: archivo en el que se registran los datos que no han podido ser guardados en la Base de Datos.

2.1.5. Sonda de medición

Los valores de las variables registradas por el sistema (Temperatura, Humedad relativa y Dióxido de carbono) son tomados mediante dos sensores, ubicados en un dispositivo tipo “lanza”, el cual se introduce en el silo bolsa realizando una pequeña incisión en la misma, permitiendo obtener los datos del interior de la masa de granos.



Fig. 23: Sonda de medición del módulo maestro

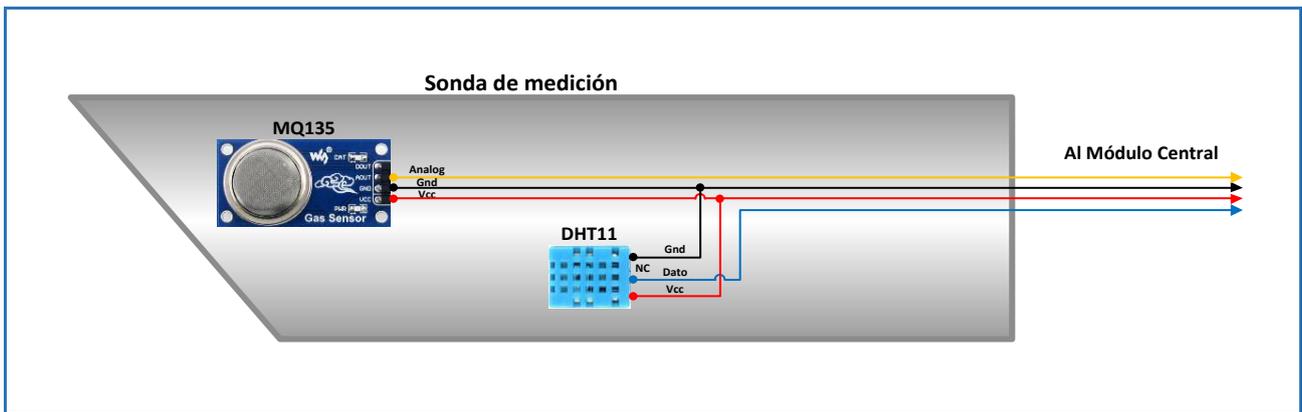


Fig. 24: Diagrama de sonda de medición, y sus conexiones

Esta lanza es la misma tanto para el módulo maestro como para los esclavos, y aloja los sensores:

- DHT11: Sensor de Temperatura y Humedad relativa
- MQ135: Sensor de Dióxido de Carbono

La longitud de la lanza depende de la profundidad a la que se desea realizar la toma de datos.

2.1.5.1. Sensor de Temperatura y Humedad relativa DHT11

Este componente integra dos sensores, los cuales proporcionan valores de temperatura y humedad relativa.

Emplea un encapsulado de 4 pines (aunque solo 3 poseen funcionalidad).

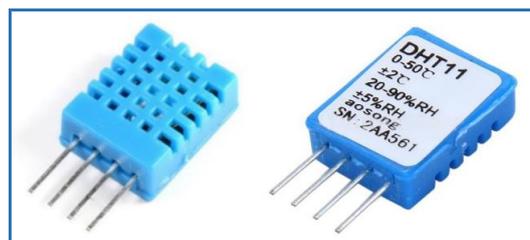


Fig. 25: Sensor de temperatura y humedad DHT11

Como transductor, emplea un sensor capacitivo de humedad y un sensor de temperatura NTC, para medir el aire circundante.

Este sensor posee un procesador interno que realiza el proceso de medición, proporcionando la información en una señal digital, haciendo muy sencilla su implementación con un microprocesador. Además, se caracteriza por tener dicha señal digital calibrada, asegurando alta estabilidad y fiabilidad a lo largo del tiempo

Trabaja con un rango de medición de temperatura de 0 a 50 °C con precisión de ± 2.0 °C y un rango de humedad de 20% a 90% RH con precisión de 5% RH.

Si bien, una desventaja que presenta este dispositivo es que posee un ciclo de lectura relativamente grande (1[Hz]), para el sistema propuesto no es un impedimento ya que la frecuencia de lectura necesaria no es un factor determinante.

Tanto en el maestro como en los esclavos, el sensor de temperatura se ubica en el extremo inferior de la lanza de toma de datos, alejado del sensor de dióxido de carbono, ya que éste emplea una resistencia calefactora que modifica la temperatura de su entorno y de lo contrario se tomaría una lectura errónea.

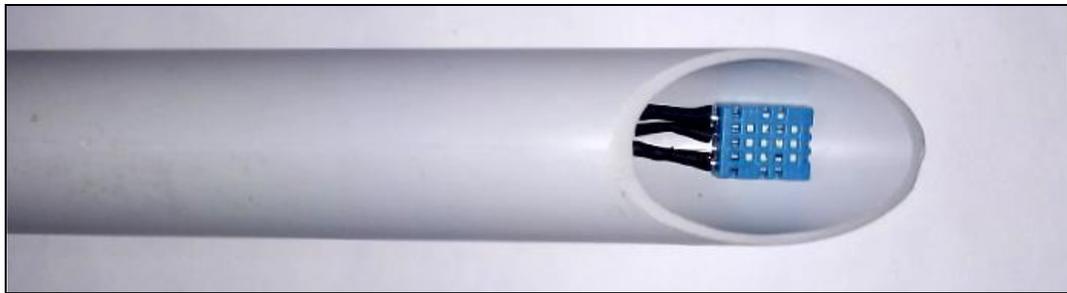


Fig. 26: Ubicación del sensor de temperatura en la lanza de toma de datos.

En el módulo maestro, se emplea el pin 2, como puerto digital para la lectura del sensor:



Fig. 27: Conexión del sensor DHT11

Como se ve en la imagen anterior, es necesario conectar una resistencia de Pull-Up de entre 4.7 k[Ω] y 10 k[Ω], que garantice un estado lógico “alto” ante la ausencia de señal, evitando así falsas lecturas debido al ruido eléctrico.

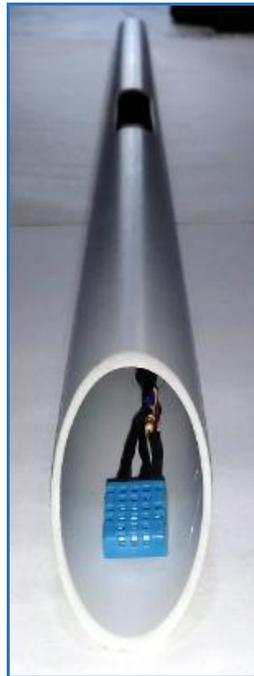


Fig. 28: Sensor de temperatura y resistencia de pull up

La manera de leer los datos de este sensor desde un procesador Arduino, es mediante una librería, escrita para este propósito por la empresa Adafruit, que permite realizar fácilmente la lectura de ambos sensores a través de un puerto digital.

La lectura del sensor mediante dicha librería, es:

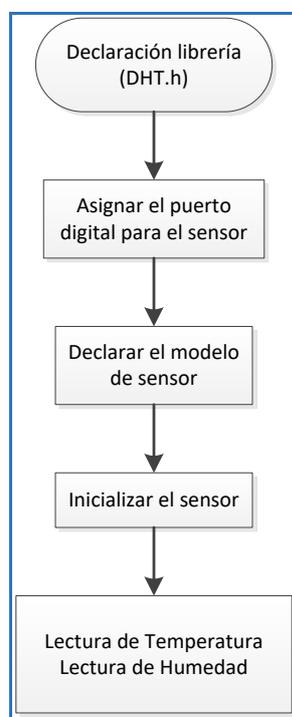


Fig. 29: Esquema de Librería DHT.h

2.1.5.2. Sensor de Dióxido de Carbono MQ 135

Para el censado del contenido de anhídrido carbónico o dióxido de carbono presente dentro de la bolsa, se emplea el sensor electroquímico de gases MQ 135

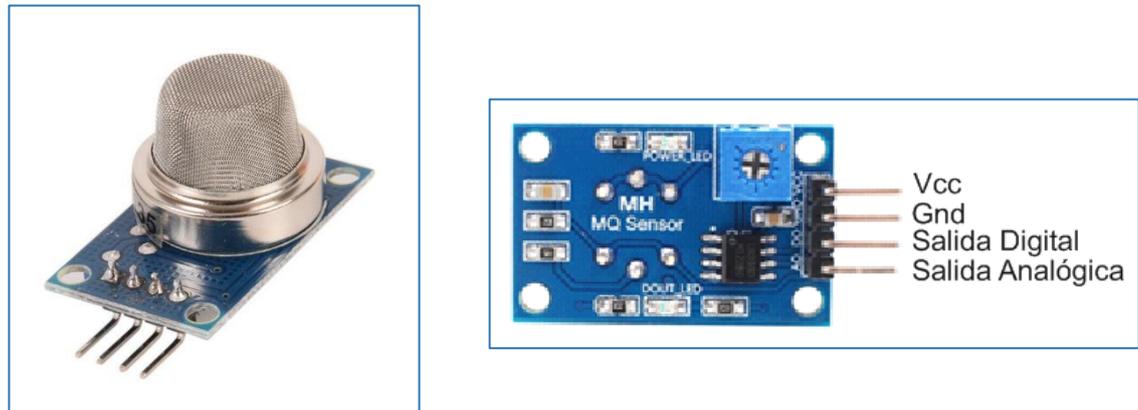


Fig. 30: Sensor de Co2 es MQ135

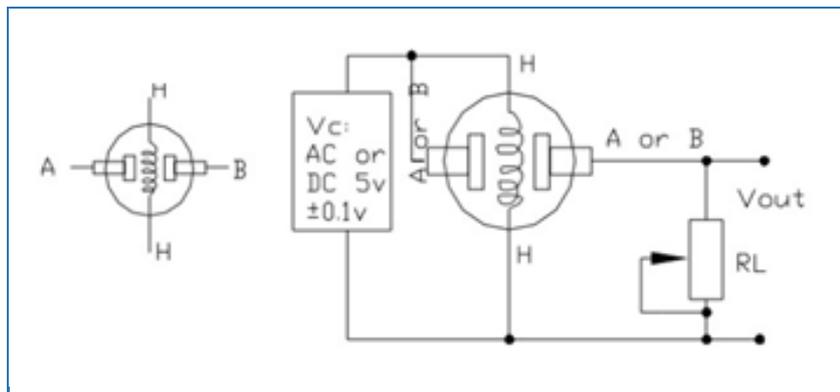


Fig. 31: Circuito interno del Sensor

Este sensor posee un calentador encargado de aumentar la temperatura interna y con esto el sensor pueda reaccionar con los gases provocando un cambio en el valor de la resistencia, la cual necesita a su vez una resistencia de carga (R_L) para cerrar el circuito y con este conformar un divisor de tensión y poder leerlo desde un microcontrolador.

Esta resistencia ya se encuentra incluida, en el modelo utilizado, facilitando así su uso; solo basta con alimentar el módulo y empezar a leer el valor de dióxido carbónico en su salida analógica.

A diferencia del sensor de temperatura y humedad relativa, el valor de CO₂ se obtiene leyendo directamente el valor de su salida analógica, realizando luego los cálculos necesarios. Estos cálculos se detallan el capítulo 2.1.6.2 - Software de Control donde se describe la función del sketch del maestro denominada "lectura_co2", empleada para la lectura de Monóxido de Carbono.



Fig. 32: Ubicación del sensor de CO2 en la lanza de toma de datos.



Fig. 33: Sensor de CO2 en lanza de toma de datos

En la placa controladora del módulo maestro, el sensor se encuentra conectado al puerto analógico A0:

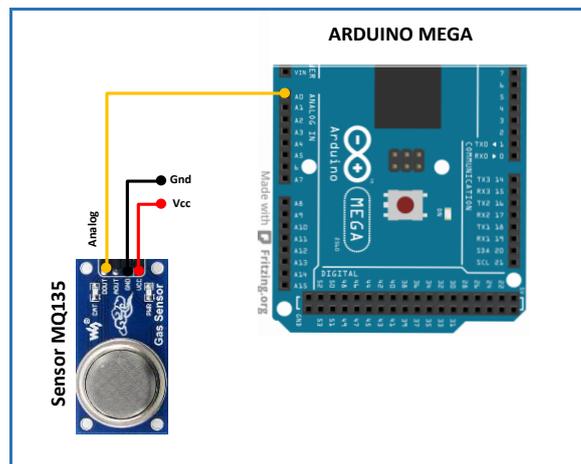


Fig. 34: Conexión del sensor de CO2 a la placa controladora

2.1.6. Módulo Maestro

El módulo maestro es el componente principal del sistema de adquisición de datos, ya que además de registrar los valores de sus sensores, es el encargado de solicitar los datos a los módulos esclavos, y registrarlos en la base de datos.

Este módulo posee también el módulo de comunicaciones Ethernet, que posibilita su comunicación con los servidores de base de datos, correo y aplicaciones.

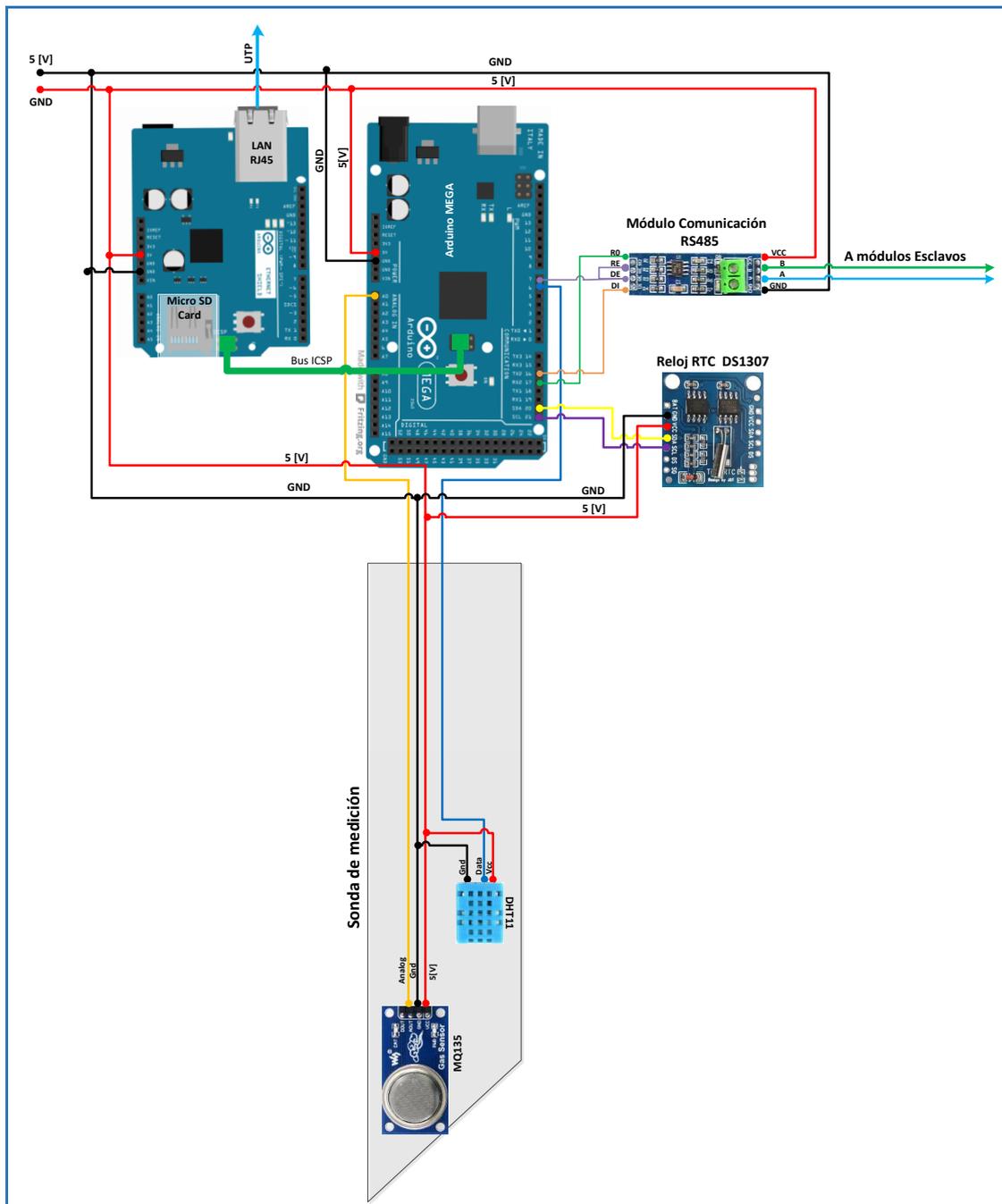


Fig. 35: Estructura general del módulo maestro

Si bien el material empleado para la construcción del prototipo de este módulo es plástico, el dispositivo final debería poseer la lanza metálica, preferentemente de aluminio, ya que debe poseer cierta rigidez, y no debe deteriorarse fácilmente.

A continuación, se muestran imágenes de dicho prototipo:

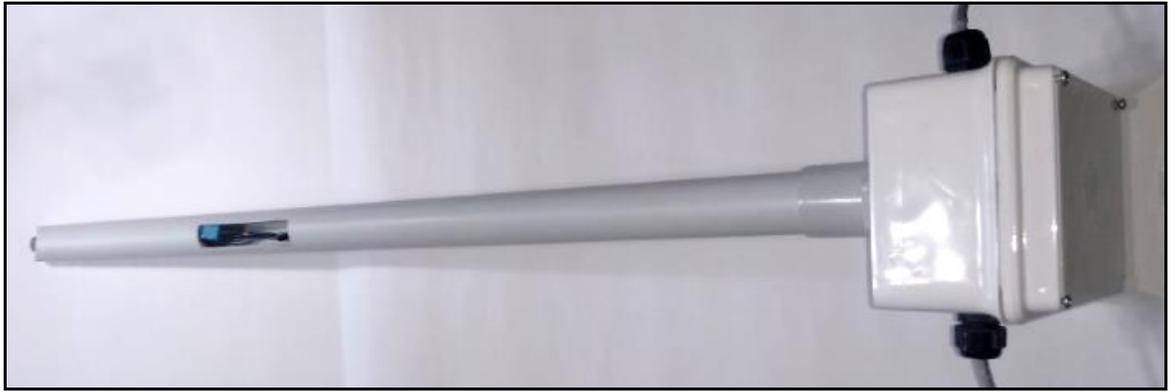


Fig. 36: *Vista superior del módulo maestro*



Fig. 37: *Vista lateral del módulo maestro*

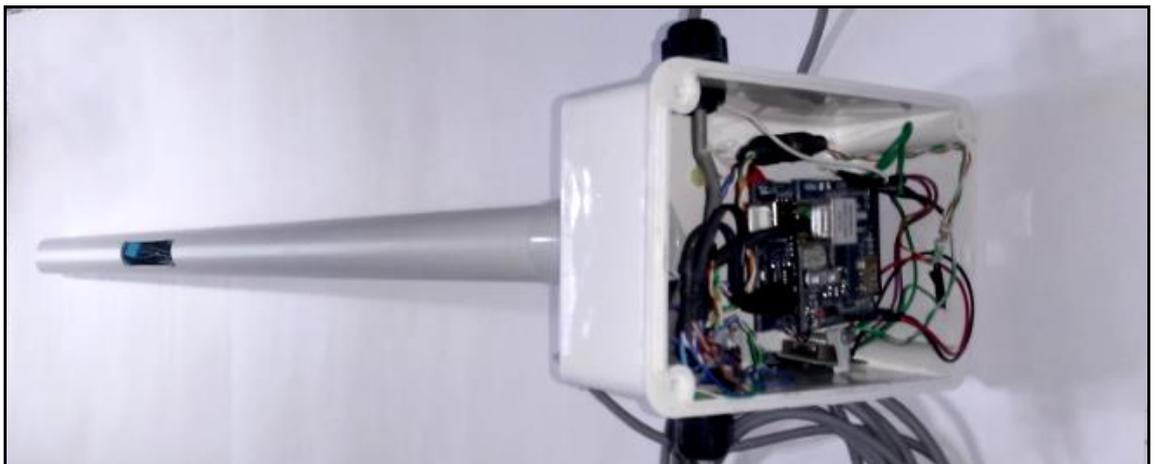


Fig. 38: *Vista circuito electrónico módulo maestro*

2.1.6.1. Unidad de control y procesamiento

La unidad de control y procesamiento, es el componente que coordina las operaciones del sistema, interpretando una serie de comandos, mediante

un programa apropiado para llevar a cabo las instrucciones. Los tipos de componentes internos que la unidad de control dirige incluyen la unidad lógico y aritmética, los registros, y los buses.

Es el encargado de la lectura de los datos obtenidos por la sonda, procesarlos y enviarlos vía su módulo de comunicaciones.

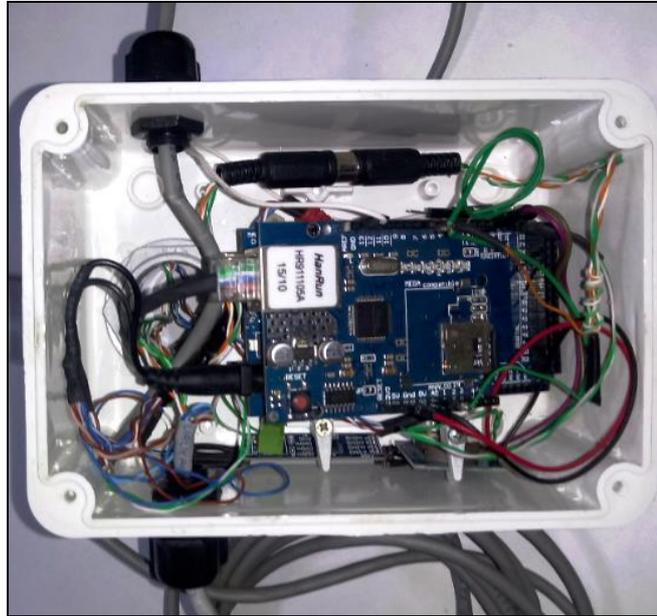


Fig. 39: Vista circuitos unidad de control y procesamiento.

Además de realizar la lectura de sus sensores, recibe la información de los esclavos del sistema, los respalda en la memoria local interna, y los registra en la base de datos externa, por medio del módulo de comunicaciones.

Está implementada mediante un sistema de desarrollo Arduino Mega 2560, la cual posee una capacidad de procesamiento acorde a las funciones requeridas.

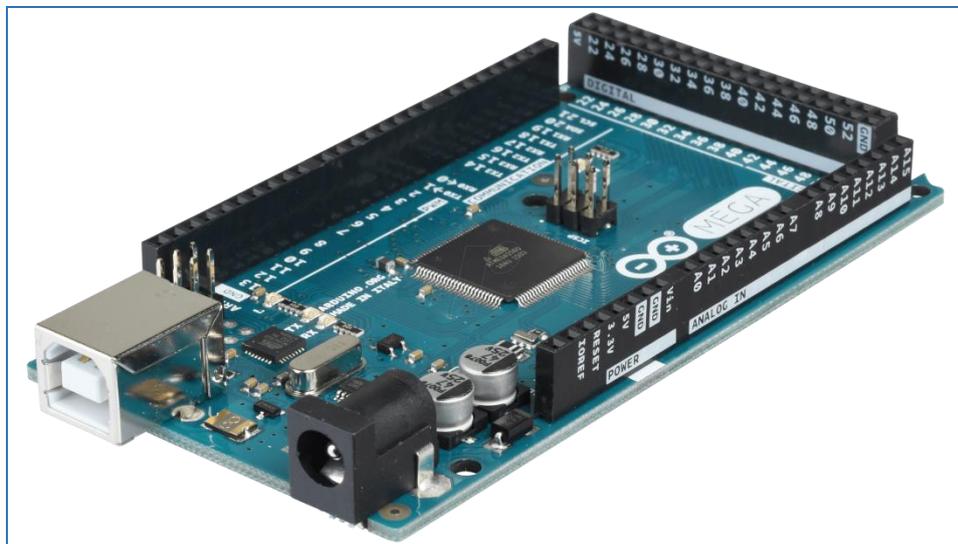


Fig. 40: Placa Arduino Mega 2560

Principales características del Arduino Mega 2560

- Basada en el chip Atmega2560.
- Funciona con un oscilador de 16MHz.
- Memoria Flash: (memoria no volátil, donde se guarda el programa principal ya compilado): 256 KB.
- Memoria SRAM (memoria volátil, se emplea para almacenar variables locales y datos parciales): 8 KB.
- Memoria EEPROM (memoria no volátil, permite recuperar los datos en caso pérdida de alimentación): 4 KB.
- 54 pines digitales de entrada / salida, 15 de los cuales pueden utilizarse como salidas PWM.
- 16 Entradas analógicas.
- 4 Puertos serie UART
- Conexión USB.
- Botón de reset.
- Compatible con los shields de Arduino (placas de funciones específicas, que permiten incorporar funcionalidades específicas).

2.1.6.2. Software de Control

La unidad de procesamiento ejecuta una serie de instrucciones, que determina las tareas a llevar a cabo para realizar las funciones predeterminadas.

En Arduino, este código se denomina generalmente sketch, y está estructurado, a grandes rasgos, en 3 bloques bien diferenciados: Cabecera, Setup y Loop.

En la cabecera, se importan las librerías que se utilizarán en el sketch, y se declaran variables y constantes.

El segundo bloque es una función denominada "Setup", que se encarga de dar valores iniciales a las variables, establece los modos de los pines de entrada y salida, y ejecuta tareas de inicialización, ya que se ejecuta una sola vez, al momento de inicializar el sistema.

Por último, ejecuta la función "Loop", que es un bucle que se ejecuta infinitamente y donde reside el grueso del código y con esto, la funcionalidad del sketch. Esta función se ejecuta a continuación del Setup.

Luego del Loop, se escriben las funciones, que son subrutinas que puede ser usado/llamado desde cualquier parte del sketch de forma directa, o pasándole unos parámetros, en función de cómo esté definida.

A continuación, se describen las principales funciones del programa del módulo maestro.

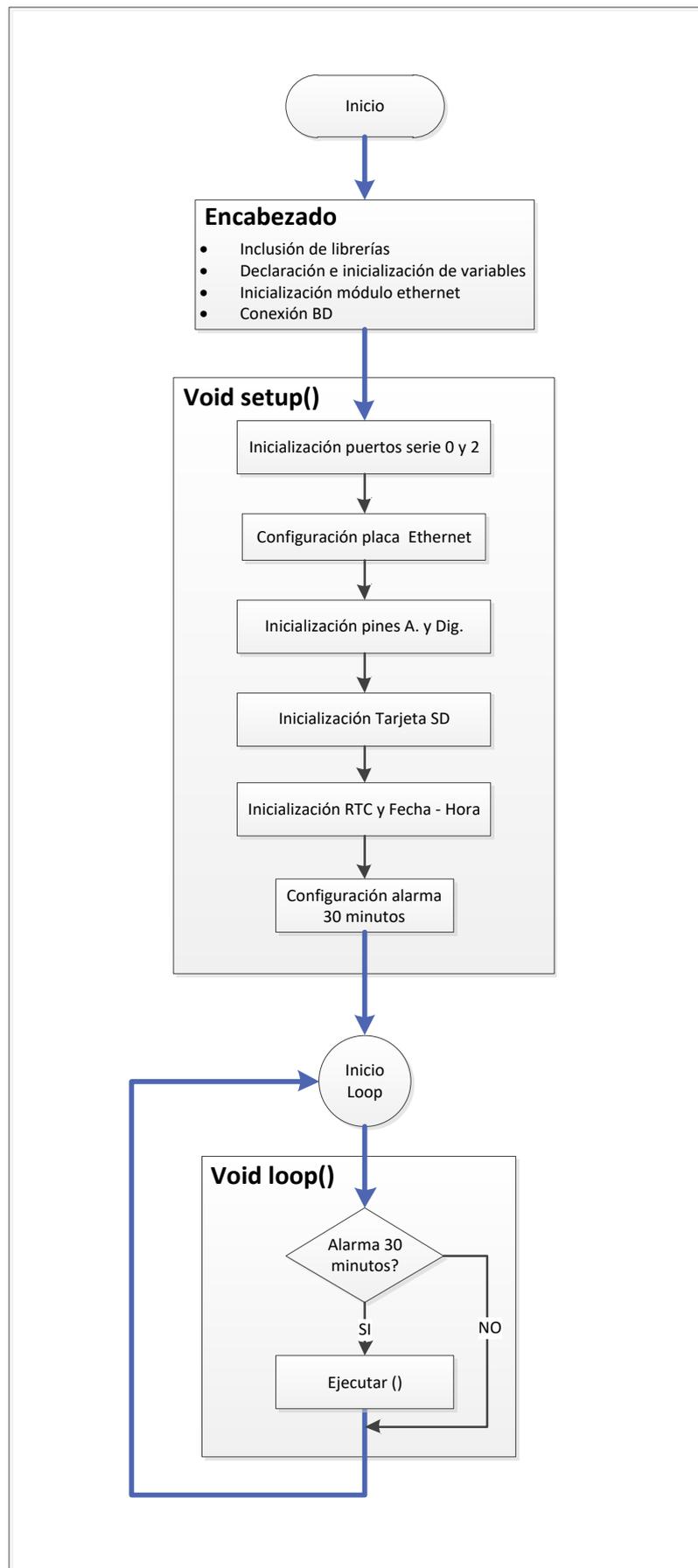


Fig. 41: Esquema de bloques General

Básicamente, luego de declarar las librerías, el sistema inicializa las variables, define los puertos que va a utilizar, y realiza las configuraciones iniciales de los módulos de comunicaciones, Tarjeta de memoria SD y Reloj de Tiempo Real. Luego, establece una alarma que, al transcurrir 30 minutos, ejecuta la función “Ejecutar”, que es la que ejecuta las acciones principales del programa.

Entonces, en el ciclo que se ejecuta indefinidamente (loop), cada 60 segundos hace una llamada a la alarma, que se ejecutará a los 30 minutos.

Encabezado

En este primer bloque se declaran las librerías que se utilizarán en el software, para el manejo de:

- Placa Ethernet (Ethernet.h)
- Sensor de Temperatura y Humedad DHT11 (DHT.h)
- Conector con base de datos MySQL (MySQL_Connection.h y MySQL_Cursor.h)
- Medidas de tiempo (Time.h y TimeLib.h)
- Comunicaciones I2C (Wire.h)
- Tarjeta de memoria SD (SD.h)
- Reloj de Tiempo Real (RTCLib.h)

También se declaran todas las variables y constantes utilizadas en el Sketch, y sus tipos. También se definen los archivos que se utilizarán para registrar los datos en la memoria SD, las direcciones de los servidores de aplicación y base de datos, y la conexión con este último.

La asignación de la dirección MAC del módulo ethernet también se realiza en este bloque.

Setup

Esta función de configuración, se ejecuta por única vez al inicio del programa, y es donde se realizan las principales configuraciones de los elementos que se utilizarán en el programa. En este bloque se:

- Inicializan los puertos serie 0 y 2.
- Inicializa la placa Ethernet, y se le asigna dirección IP y MAC.
- Establecen los pines de entrada y salida analógicos y digitales
- Configura Fecha y Hora del módulo maestro.
- Inicializa la tarjeta de memoria SD

Luego de realizar estos procesos, el programa realiza una pausa de 1 segundo para que concluya la inicialización.

Loop

Como se expresó anteriormente, este bloque se ejecuta de forma cíclica e ininterrumpida después del setup, y es la sección principal del programa.

Dentro de este loop, cada 30 minutos, se ejecuta la función que, a su vez, llama a las funciones principales del programa

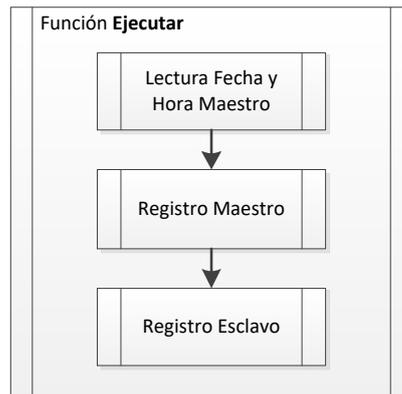


Fig. 42: Esquema Función "Ejecutar()"

- Lectura fecha y hora (Función "LectFechaHora")

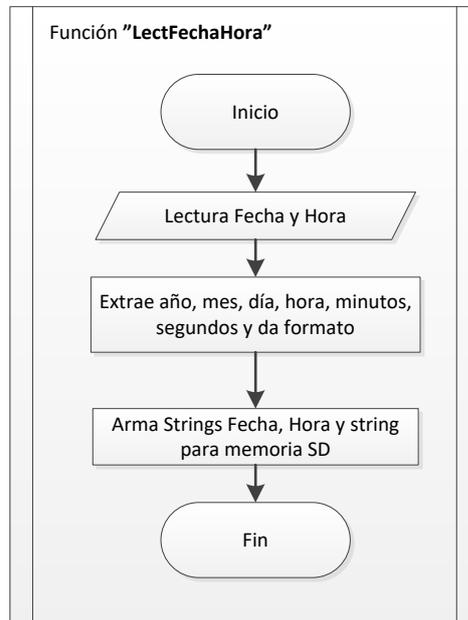


Fig. 43: Esquema función LectFechaHora

Esta función primeramente lee la fecha y hora del maestro, mediante la librería time.h en formato time, y extrae día, mes, año, hora, minutos y segundos como una cadena de texto (formato string), luego las une para armar las cadenas Fecha, Hora y FechHora, que utilizará luego para registrar los datos obtenidos.

Finalmente, arma un string con la fecha completa, formateado para poder guardarla en la memoria SD.

Registro de datos de los módulos Esclavos

- Función "RegistroMaestro"

Esta función ejecuta las funciones que leen los datos del módulo maestro, y los registran.

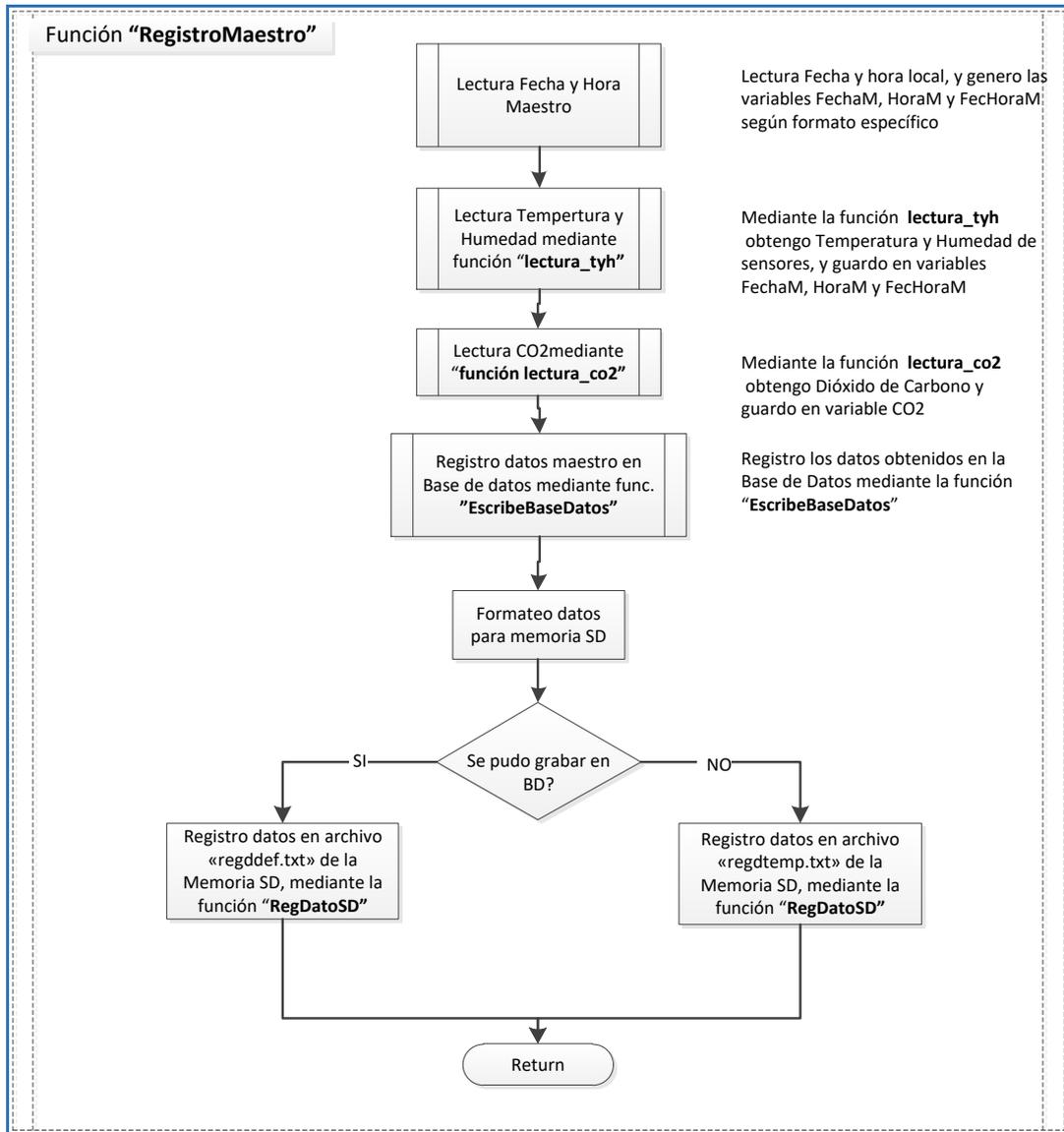


Fig. 44: Esquema función "RegistroMaestro"

Primeramente, el sistema lee la fecha y hora del maestro, mediante la librería time.h, mediante la función "LectFechaHora".

- Lectura Temperatura y Humedad (Función "lectura_tyh")

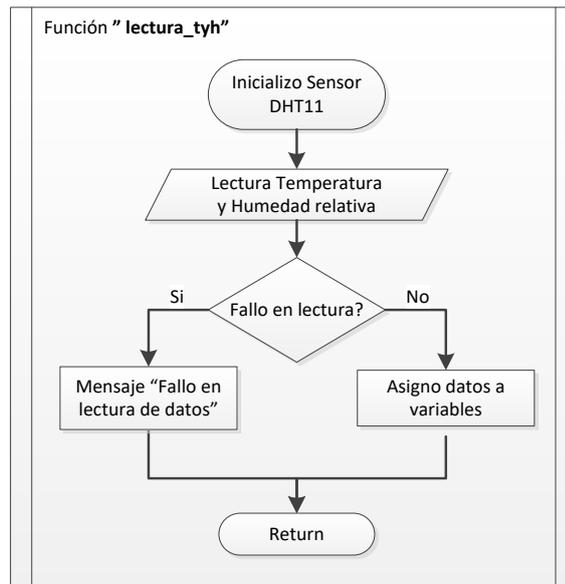


Fig. 45: *Función lectura_tyh*

Esta función realiza la lectura del valor de la temperatura y humedad relativa del silo bolsa tomada por el sensor DHT11, mediante la librería "DHT.h".

Para esto, primero lo inicializa, luego realiza la lectura (digital), controla si se pudo leer de forma correcta, y asigna el valor a una variable correspondiente.

Si la lectura es errónea, lo indica mediante un mensaje por puerto serie.

- Lectura de Monóxido de Carbono (Función "lectura_co2")

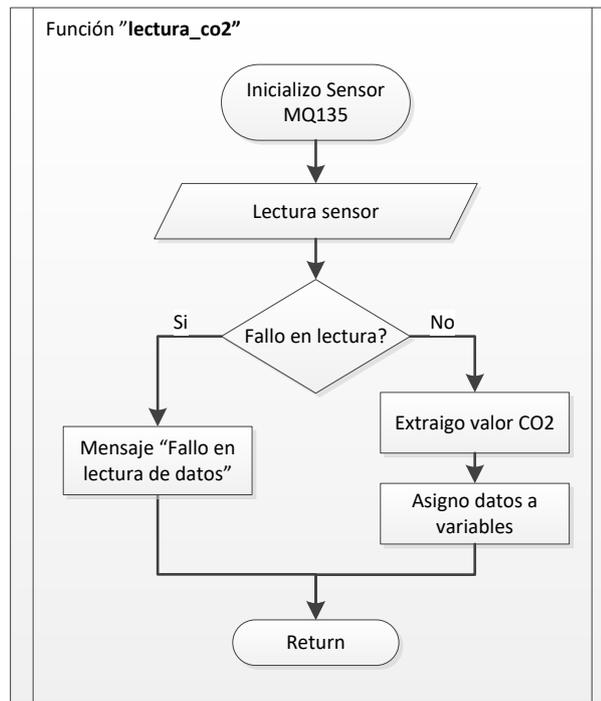


Fig. 46: Función lectura_co2

La lectura del valor de dióxido de carbono del silo bolsa, se realiza mediante el sensor MQ135.

Este sensor entrega el valor en forma analógica, por lo cual, este valor debe ser convertido para poder interpretar el valor del porcentaje contenido de este gas, mediante las ecuaciones:

- $mq135_adc = \text{analogRead}(ana_co2)$: lee el valor analógico del sensor.
- $mq135_voltaje = mq135_adc * (5.0 / 1023.0)$: transforma el valor obtenido en un nivel de voltaje, según la resolución del convertidor
- $mq135_resistencia = 1000 * ((5 - mq135_voltaje) / mq135_voltaje)$: mediante un divisor resistivo que posee el sensor, determina el valor del CO2 en función de la tensión del divisor.
- $dioxidoDeCarbono = 245 * \text{pow}(mq135_resistencia / 5463, -2.26)$: del valor de tensión obtenido en el divisor, determina el porcentaje correspondiente a CO2.
- Escritura en base de datos (función "EscribeBaseDatos")

Una vez obtenidos los datos de Fecha, Hora, Temperatura, Humedad y CO2 del maestro, el sistema guarda la información en la base de datos externa, ubicada en un servidor remoto:

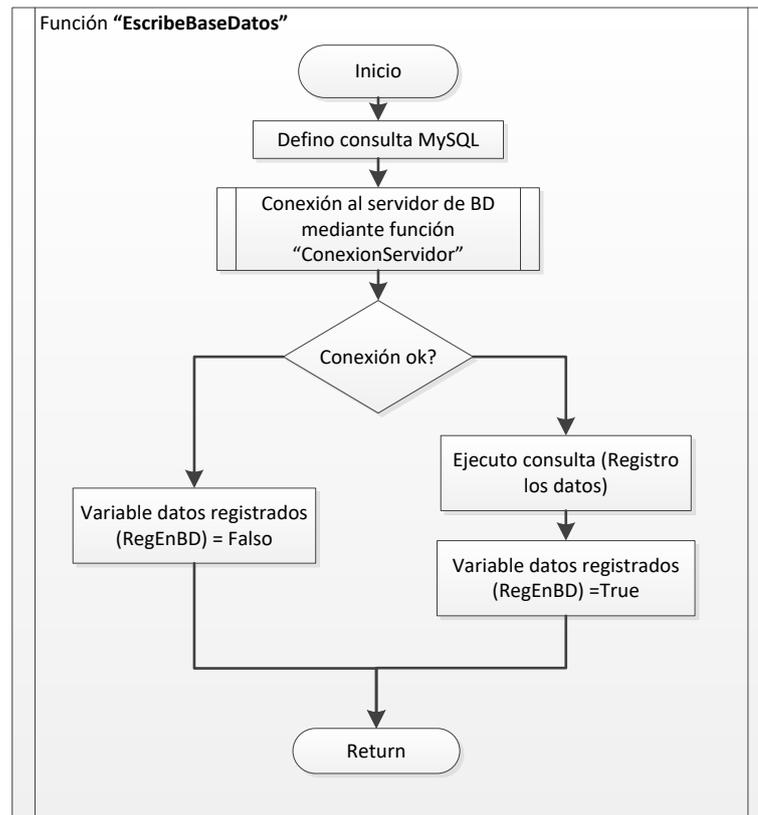


Fig. 47: Función “EscribeBaseDatos”

Para esto, primeramente, define la consulta MySQL mediante la cual insertará los datos en la base:

```
INSERT INTO u405681551_silge.TablaDatos
(IDBolsa, IDModulo, DirEsclavo, Temperatura, Humedad, CO2, Conf, Fecha)
```

pasándole como valores, los datos obtenidos en la consulta.

Luego, se conecta a la base (mediante la función “ConexionServidor”, descrita en el ítem próximo), y si la conexión es exitosa, ejecuta la consulta, insertando los datos en base.

Finalmente, asigna el valor “True” a la variable RegEnBD, que se utilizará para indicar registro correcto del dato. Si por otro lado la conexión no se hubiera podido lograr, configura dicha variable en “False”.

- Función “ConexionServidor”

Esta función es la encargada de establecer la conexión con el servidor de base de datos.

Como primera medida, inicializa una instancia de conexión mediante la librería “**MySQL_Connection.h**”, pasándole al comando la dirección MAC de la placa ethernet.

Luego de inicializada la placa, ejecuta el comando de conexión, a la base de datos pasándole dirección del servidor, puerto, nombre de usuario y comprueba si la conexión es exitosa:

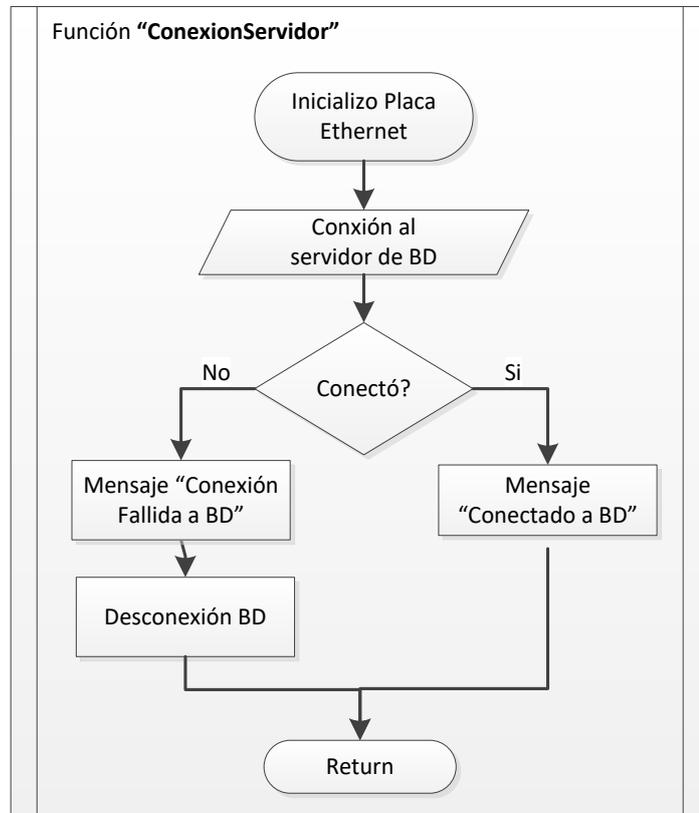
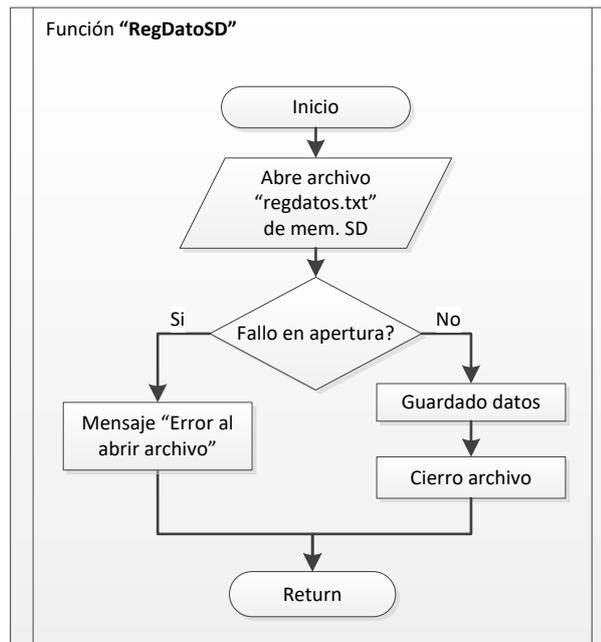


Fig. 48: Funci3n "ConexionServidor"

Si no puede lograr la conexi3n, envía un mensaje (para control interno) y desconecta de la instancia.

- Formateo y registro de datos en tarjeta SD (funci3n "RegDatoSD")
Una vez guardados los datos en la base de datos, la informaci3n es respaldada de forma local en la tarjeta SD, empleando la librería "**SD.h**"



Esta función, primeramente “abre” el archivo de la tarjeta SD donde se guardarán los datos, y consulta si hubo fallo en la apertura. En caso negativo (es decir, si se pudo abrir el archivo), guarda la información obtenida y cierra el archivo. Si no pudo abrir el archivo, muestra un mensaje advirtiendo esta falla.

Registro de datos de los módulos Esclavos

Luego de recabar y registrar los datos del módulo maestro, se solicitan y registran los datos obtenidos por los módulos esclavos.

Este registro se realiza de dos maneras, mediante sendas funciones: en la base de datos externa, y de forma local, en la tarjeta de memoria SD.

- Solicitud de datos al esclavo (función “SolDatoEsc”)

La primera etapa del registro de los datos de los esclavos, se realiza mediante la función “SolDatoEsc”, la cual se encarga de la comunicación con cada uno de los esclavos.

La función ejecuta esta lectura para cada uno de los esclavos, identificados mediante una dirección de esclavo, la cual es única para cada uno.

Debido a la capacidad de transmisión de los puertos serie de los dispositivos Arduino, El dato se envía dividido en dos segmentos, denominados “parte Alta” y “parte Baja” del dato.

Como el canal de comunicaciones es el mismo tanto para la transmisión como para la recepción (modo Half-dúplex), se desarrolló un protocolo de comunicaciones entre el módulo Maestro y módulo Esclavo, que sincroniza el uso del mismo. A continuación, se describe dicho protocolo:

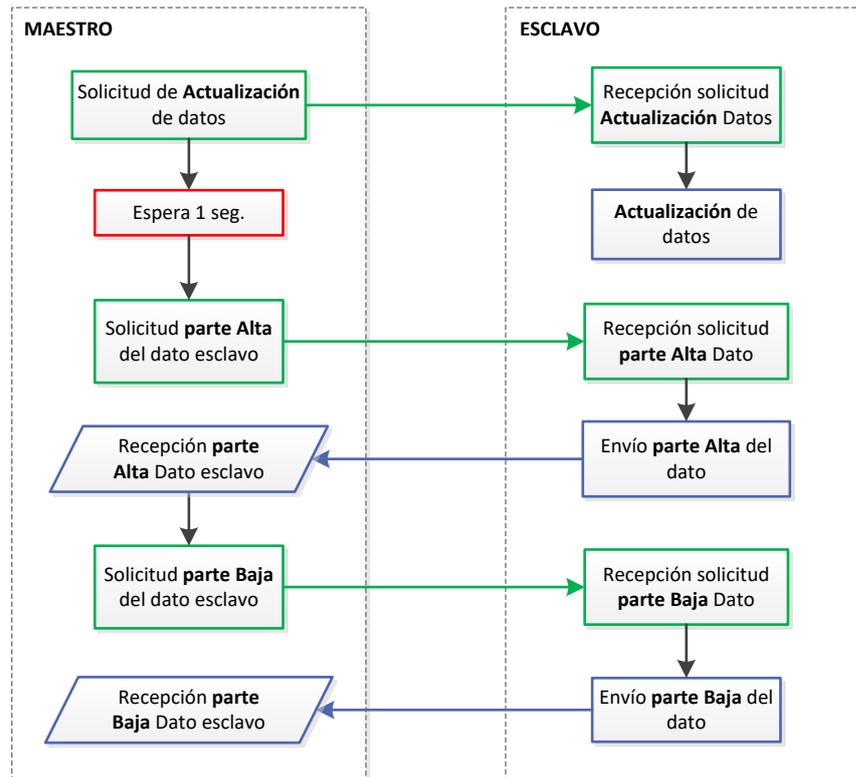


Fig. 49: *Protocolo de comunicaciones Maestro-Esclavo*

- 1º). El Maestro solicita al Esclavo que actualice sus datos.
- 2º). El Esclavo recibe la petición, y actualiza sus datos.
- 3º). El Maestro solicita al Esclavo la parte alta del dato.
- 4º). El Esclavo recibe la petición, y envía el dato solicitado.
- 5º). El Maestro Recibe la parte alta del dato, y solicita al esclavo la parte baja.
- 6º). El esclavo recibe la petición de parte baja, y la envía
- 7º). El Maestro recibe la parte baja del dato.

La función completa de solicitud de datos al esclavo, se detalla a continuación:

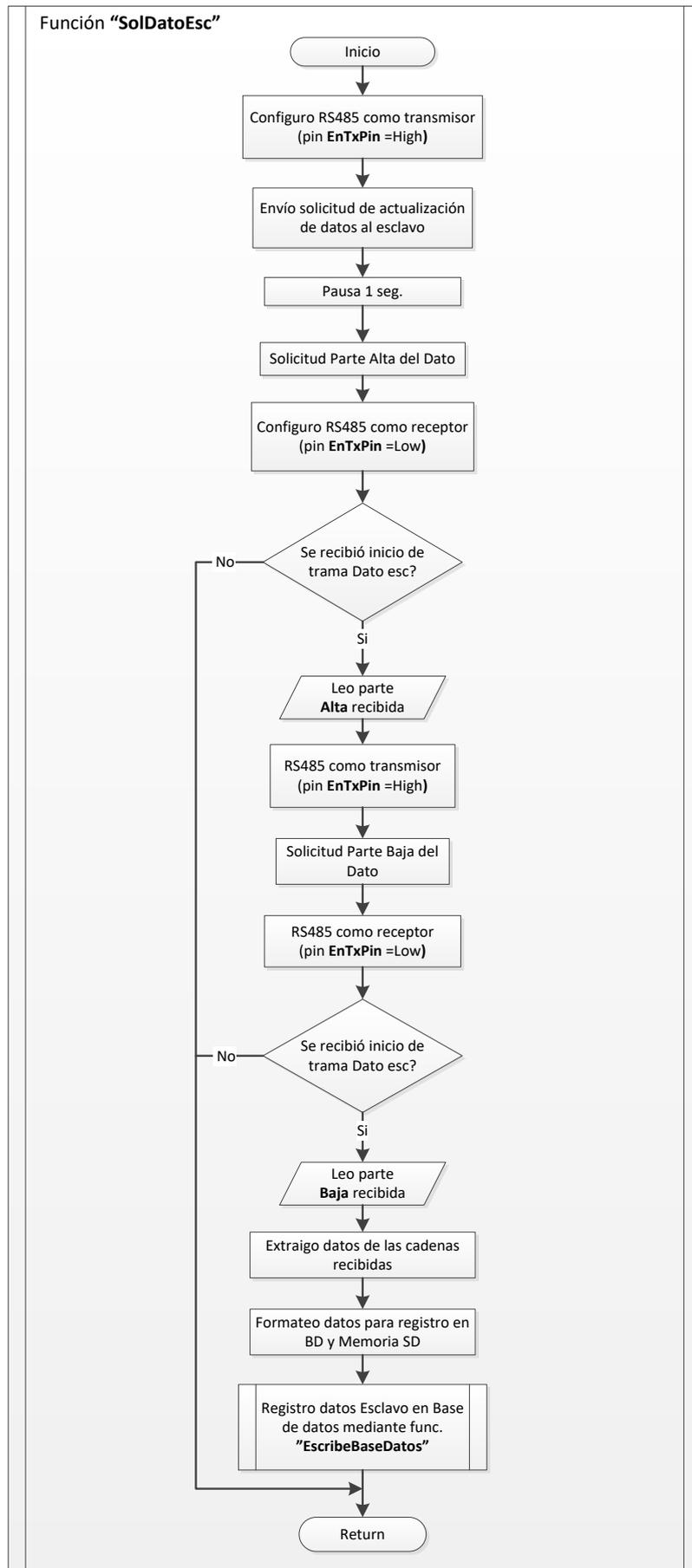


Fig. 50: Función "SolDatoEsc"

Esta función, primeramente, establece al maestro como transmisor en el canal de comunicación, poniendo en “alto” la salida digital “EnTxPin” del Arduino, la cual se encuentra conectada al borne RE y DE de selección de modo del módulo de comunicaciones RS485.

Luego de esto, solicita al esclavo que actualice sus datos, mediante el envío de la trama:



Fig. 51: Trama de solicitud de actualización

Esta trama, cuyo inicio está indicado mediante el carácter “I” es leída por todos los esclavos de la red, los cuales comparan su dirección con la dirección recibida (01 en el ejemplo), y sólo el esclavo destino ejecuta lo solicitado. Dicha acción, es indicada mediante el carácter “D”, que implica la solicitud de actualización de su información.

El maestro luego hace una pausa de 1 segundo, para dar tiempo a que el esclavo culmine su actualización, y vuelve a enviar una trama, esta vez solicitando la parte alta del dato:



Fig. 52: Trama de solicitud parte Alta del Dato

Esta trama es similar a la anterior, con la única diferencia que su último carácter es “H”, indicando al esclavo la solicitud de envío de la parte alta del dato.

Luego el maestro configura el módulo RS485 como Receptor (pin EnTxPin en “bajo”), y se queda esperando el inicio de trama del dato enviado por el esclavo.

La estructura del dato recibido por el esclavo, es:

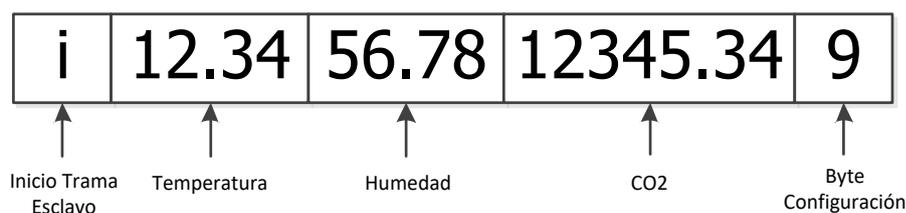


Fig. 53: Trama parte Alta del Dato

Luego del inicio de trama (carácter “i” para el caso del dato de esclavo), esta trama contiene información de:

- Temperatura: en grados centígrados, reservando 2 caracteres para el valor entero y 2 para el valor decimal.
- Humedad: en porcentaje, reservando 2 caracteres para el valor entero y 2 para el valor decimal.
- Dióxido de Carbono: en porcentaje, reservando 5 caracteres para el valor entero y 2 para el valor decimal.
- Byte de Configuración: reservado para indicar valores de configuración del esclavo

Para todos los valores, si los valores poseen menos cifras de las reservadas, los campos “sobrantes” se completan con 0.

Una vez recibido la parte alta del dato, el maestro configura el módulo como transmisor, y le envía al esclavo, la solicitud de parte Baja del dato:

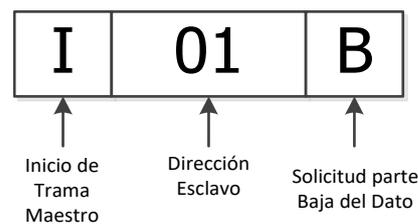


Fig. 54: Trama de solicitud parte Baja del Dato

Esta trama es similar a la anterior, con la diferencia que el carácter de solicitud es ahora “B”.

Luego de enviada esta solicitud, se configura como receptor, y queda a la espera del envío de la parte Baja del dato.

La trama recibida, tendrá ahora la siguiente estructura:



Fig. 55: Trama parte Baja del Dato

esta trama contiene información de:

- I: Inicio de trama del esclavo.

- ID Bolsa: identificador de la bolsa donde se encuentra instalado el módulo. Este dato se configura en el módulo esclavo, y es el mismo para todos los módulos ubicados en el mismo silo bolsa. Reserva 4 caracteres.
- ID Módulo: identificador del módulo esclavo. Es único, y distinto para cada módulo maestro. Se configura en el esclavo, y reserva 4 caracteres.
- Dirección esclava: dirección del esclavo, que lo identifica dentro de la red RS485. Este dato se configura en cada esclavo, y debe ser único para cada elemento de la red. Reserva 2 caracteres.
- Fecha y Hora: contiene la información de la Fecha y Hora en que realizó la lectura de los sensores. Se envía en formato dd-mm-aaaa-HH-MM-SS, donde dd: día, mm: mes, aaaa: año, HH: hora, MM: minutos, SS: segundos. Reserva en total 19 caracteres entre datos y separadores.

Una vez recibidas las dos partes del dato esclavo, el maestro extrae los datos de las cadenas, y les da formato para luego registrarlas en la base de datos y en la memoria SD.

Finalmente, mediante la función “EscribeBaseDatos” (ya descrita en página 41) registra los datos del esclavo en la Base de Datos, y en la tarjeta de memoria SD mediante la función “RegDatoSD” (descrita en página 42)

- Control y Alerta por Fuera de Rango (Función “ControlFR”)

Como último paso, y ante cada registro de datos en la base de datos, el sistema ejecuta un script php en el servidor web, que controla y alerta la existencia de algún valor fuera de rango, mediante el envío de un correo electrónico.

El esquema de esta función es la siguiente:

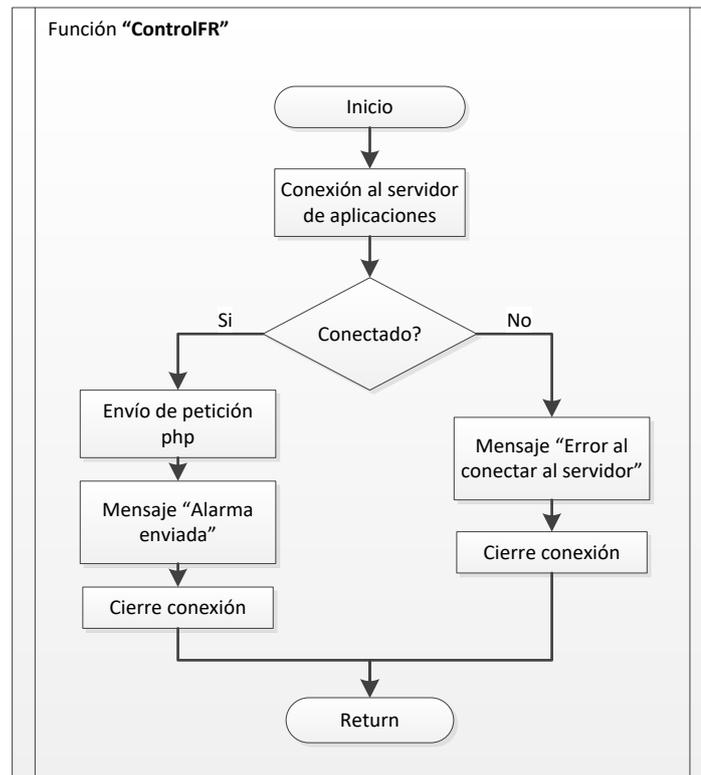


Fig. 56: Función "ControlFR"

Primeramente, la función ejecuta un comando de conexión con el servidor web, y en caso de lograrlo, envía la petición php:

"envmail.php?Bandera=1 HTTP/1.1"

Esta petición, y el script que ejecuta, se desarrolla con mayor profundidad en el capítulo 2.3.4 Mail - .

Finalmente, la función cierra la conexión.

2.1.6.3. Reloj de Tiempo Real

El reloj interno que poseen los sistemas Arduino no resultan apropiados para llevar el control real del tiempo, ya que están compuestos principalmente por un contador cuya función principal es de indicar cuánto tiempo lleva encendido el Arduino, por lo cual carece de energía propia, y al perderse la alimentación, este contador se reinicia y se pierde el registro.

Por este motivo es necesario incorporar un reloj de tiempo real RTC (Real Time Clock), que permita la manipulación de registros temporales, y asegure además que los mismos se mantendrán aún luego de una interrupción de la alimentación del sistema.

El reloj externo empleado en el sistema desarrollado es el módulo **Tiny RTC**, que además de incorporar un reloj de tiempo real Maxim/Dallas DS1307, incluye una batería para memorizar los datos y una pequeña memoria EEPROM 24C32.

El módulo Tiny RTC

Está basado en el circuito integrado RTC DS1307 de MAXIM y la EEPROM AT24C32 de ATMEL, compartiendo ambos el mismo bus comunicación con el Protocolo I2C.

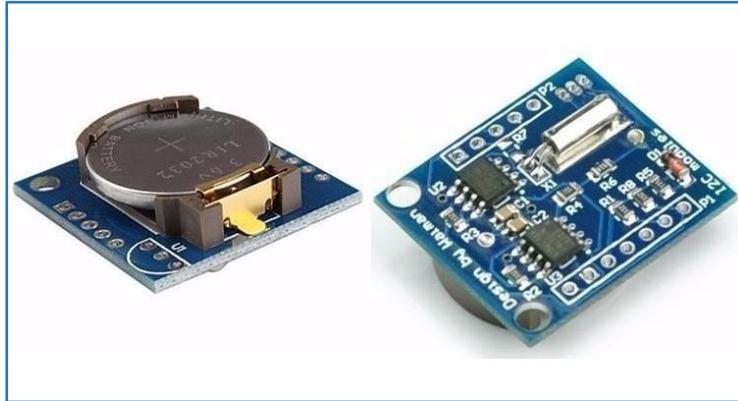


Fig. 57: *Reloj Tiny RTC*

Posee una memoria EEPROM AT24C32, que permite almacenar 32Kbits (4K Bytes) de datos de manera permanente.

Funciones:

- Hora: Segundos, minutos, horas
- Fecha: número día, día de la semana, mes y año
- Compensación de año bisiesto
- Pin de salida a 1 Hz para llevar el tiempo en otros componentes

Especificaciones técnicas

- Voltaje de Operación: 3.3V - 5V
- Integrados principales: AT24C32 y DS1307.
- Dirección I2C del DS1307: Read(11010001) Write(11010000)
- Memoria EEPROM AT24C32 (4K * 8bit = 32Kbit = 4KByte)
- Comunicación I2C, solo utiliza 2 cables.
- La batería puede mantener al RTC funcionando por 10 años.

La comunicación entre el Arduino y el Modulo RTC se realiza también mediante el bus I2C. Dicha conexión se muestra a continuación:

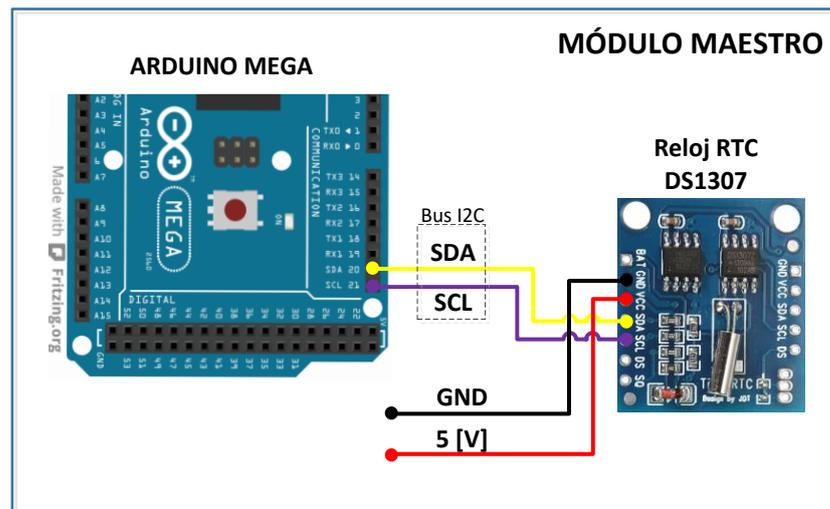


Fig. 58: Conexión del reloj RTC al módulo maestro

2.1.6.4. Módulo de comunicaciones RS485

Como ya se detalló en el punto 2.1.2 - Red 485, se emplea un transceptor RS232 – RS485 para implementar la red de comunicación entre el maestro y los esclavos. Este módulo está descrito también en dicho punto.

Los pines que emplea el maestro para operar el transceptor son:

- Pin 16 – TX2: Transmisión del puerto serie 2
- Pin 17 – RX2: Recepción del puerto serie 2
- Pin 7 – Salida digital: configuración del módulo como Transmisor (High) o Receptor (Low)

2.1.6.5. Sonda de medición

El maestro emplea para la toma de datos, una sonda de medición tipo "lanza", como la ya descrita en el punto 2.1.5 - Sonda de medición.

Los pines que emplea para conectarse con los sensores son:

- Pin A0: entrada analógica para la lectura del valor del sensor de CO2
- Pin 6: Entrada digital para leer los valores enviados por el sensor de Temperatura y Humedad.

2.1.7. Módulo Esclavo

Como se detalló anteriormente, el sistema de adquisición de datos está constituido por una red de dispositivos conectados en red, configurada tipo maestro-esclavo.

Los esclavos, poseen como función, recabar los datos de Temperatura, humedad y CO2 del punto del silo bolsa donde se encuentra instalado, y enviarlos al módulo maestro, cada vez que éste lo solicita.



Fig. 59: *Módulo esclavo*

Cada esclavo posee un código identificador único en la red, entonces, cuando el maestro necesita la información de un esclavo en particular, realiza una petición de datos en forma de broadcast, a todos los esclavos de la red, enviando en dicha petición el código del esclavo del que necesita los datos, y si bien todos la reciben, sólo el identificado con este código, responderá.

2.1.7.1. Estructura de los módulos esclavo

Los módulos esclavos están compuestos por:

- Unidad de Control y Procesamiento
- Software de Control
- Módulo de comunicaciones RS485
- Sonda de medición

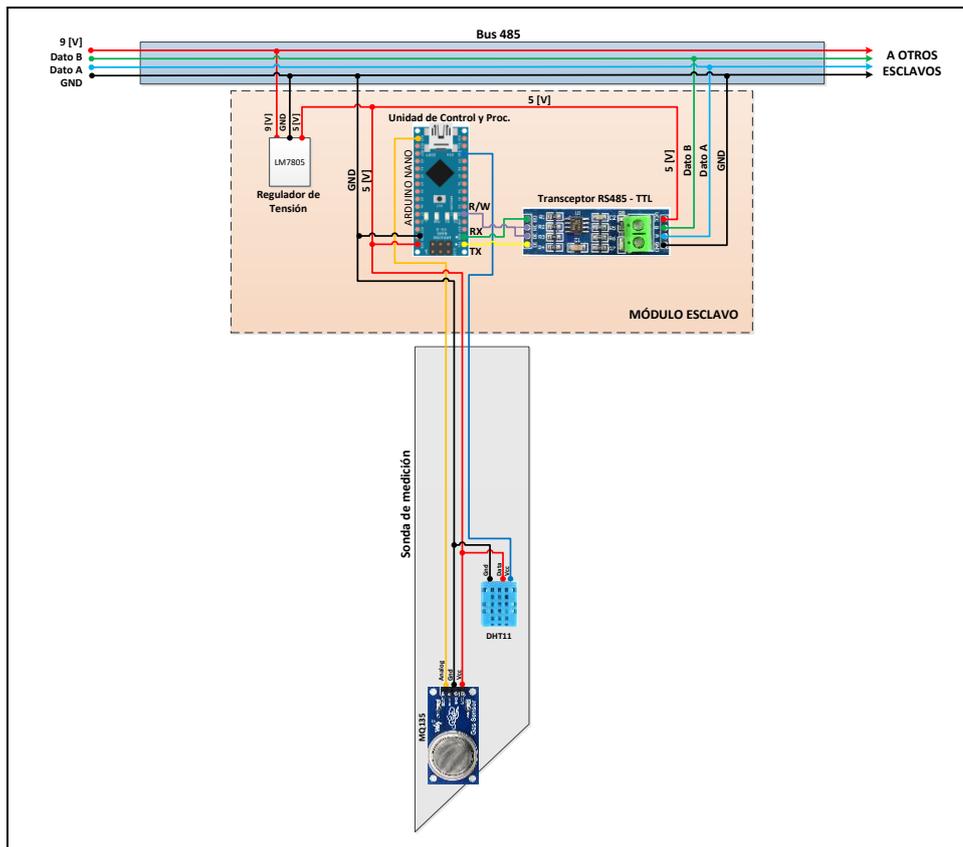


Fig. 60: Esquema módulo Esclavo

2.1.7.2. Unidad de Control y Procesamiento

En los módulos esclavos, la unidad de Control y Procesamiento se encarga de realizar la lectura de los sensores, recabando los valores de temperatura, humedad y CO2, acondicionarlos, y enviarlos al módulo maestro cada vez que éste lo solicita.

Por necesitar menores recursos que los maestros, los módulos esclavos están desarrollados empleando como controlador, una placa Arduino NANO, de menor tamaño y prestaciones que el controlador empleado en el módulo maestro.

Arduino Nano V3 Atmega328

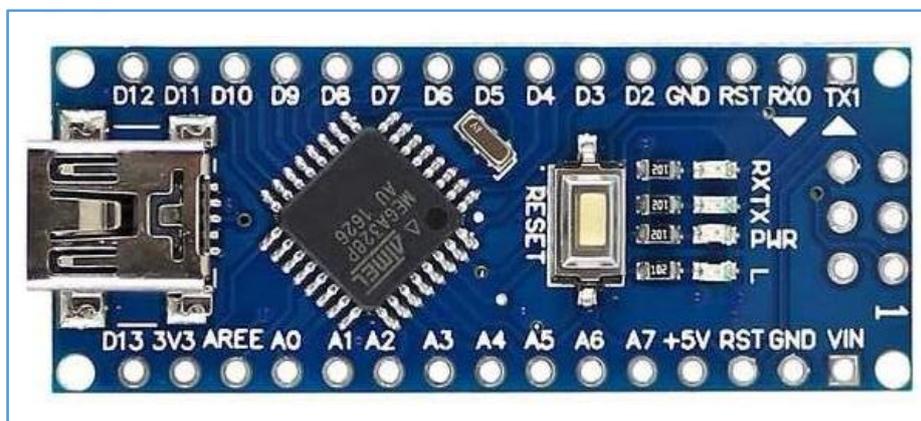


Fig. 61: Placa Arduino Nano CH340

La placa Arduino Nano es un pequeño y completo procesador, basada en el microcontrolador ATmega328P.

Si bien está pensada para utilizarse montada en protoboard, debido a sus reducidas dimensiones (18,5 x 43,2 mm) la hacen ideal para integrarla en desarrollos donde el tamaño sea un factor a considerar.

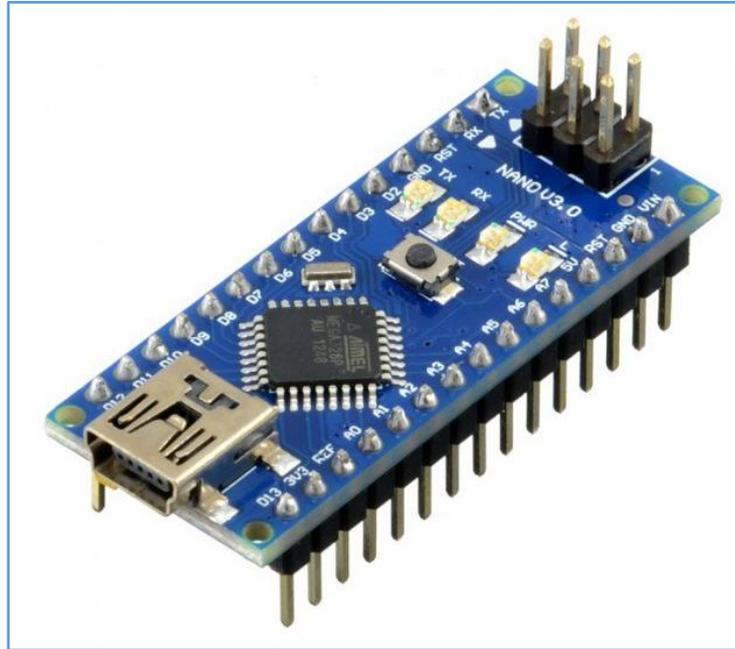


Fig. 62: Placa Arduino Nano para montaje en protoboard

En el caso del sistema desarrollado, esta tarjeta se aloja dentro de la “lanza” de medición, permitiendo introducirla de forma completa dentro del silo bolsa, minimizando de esta forma el deterioro que se produce en la misma, al instalar el sistema.

Las principales características de esta placa son:

- Microcontrolador: Atmel ATmega328.
- Tensión de Operación (nivel lógico): 5 V
- Tensión de Entrada (recomendado): 7-12 V
- Tensión de Entrada (límites): 6-20 V
- Pines E/S Digitales: 14 (de los cuales 6 proveen de salida PWM)
- Entradas Analógicas: 8 Corriente máx. por cada PIN de E/S: 40 mA
- Memoria Flash: 32 KB (ATmega328) de los cuales 2KB son usados por el bootloader (16 KB – ATmega168)
- SRAM: 2 KB (ATmega328) (1 KB ATmega168)
- EEPROM: 1 KB (ATmega328) (512 bytes – ATmega168)
- Frecuencia de reloj: 16 MHz

- Dimensiones: 18,5mm x 43,2mm

2.1.7.3. Software de Control

Al igual que para el módulo maestro, la unidad de control y procesamiento esclavo ejecuta de forma cíclica un listado de instrucciones, denominado "Sketch". Este código contiene las funcionalidades que debe realizar, y se encuentra estructurado en 3 grandes bloques bien diferenciados: Cabecera (donde se declaran las variables y se incluyen librerías), Setup (se ejecuta por única vez al iniciar la ejecución del programa) y Loop (que se ejecuta de forma cíclica e ininterrumpida).

Por último, se definen las funciones que se utilizarán en la ejecución del programa.

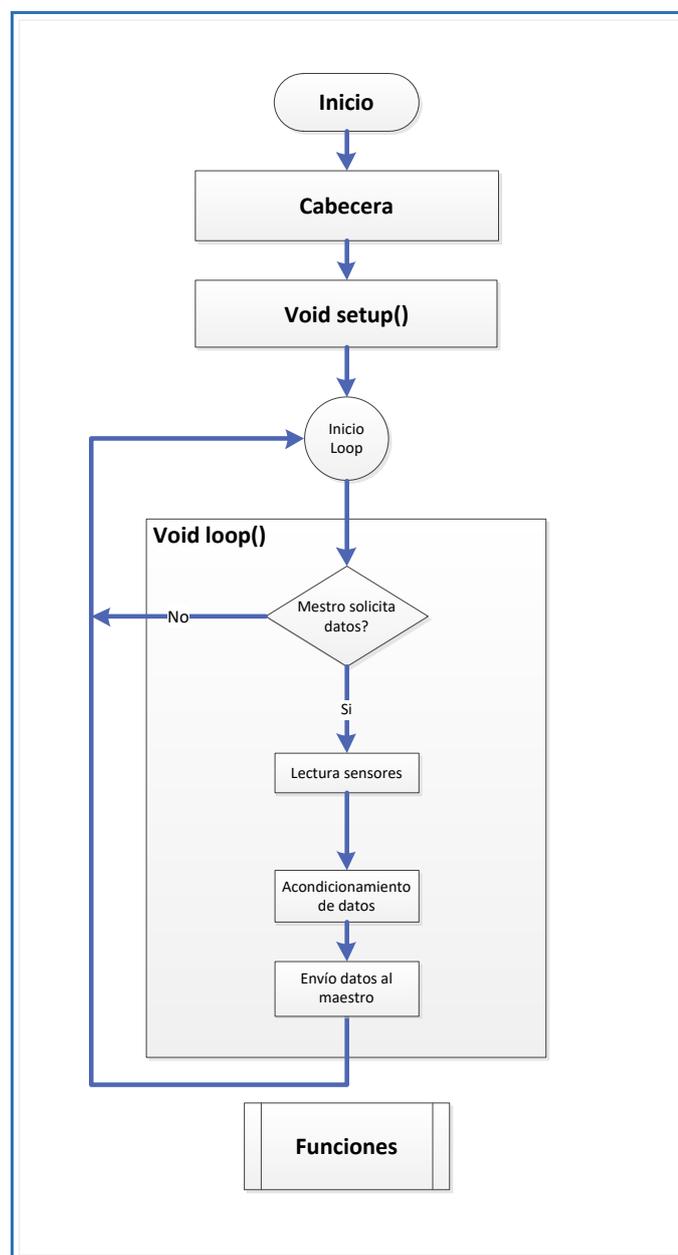


Fig. 63: Esquema de bloques principales del programa esclavo

A continuación, se describen las principales funciones del programa de los módulos esclavos.

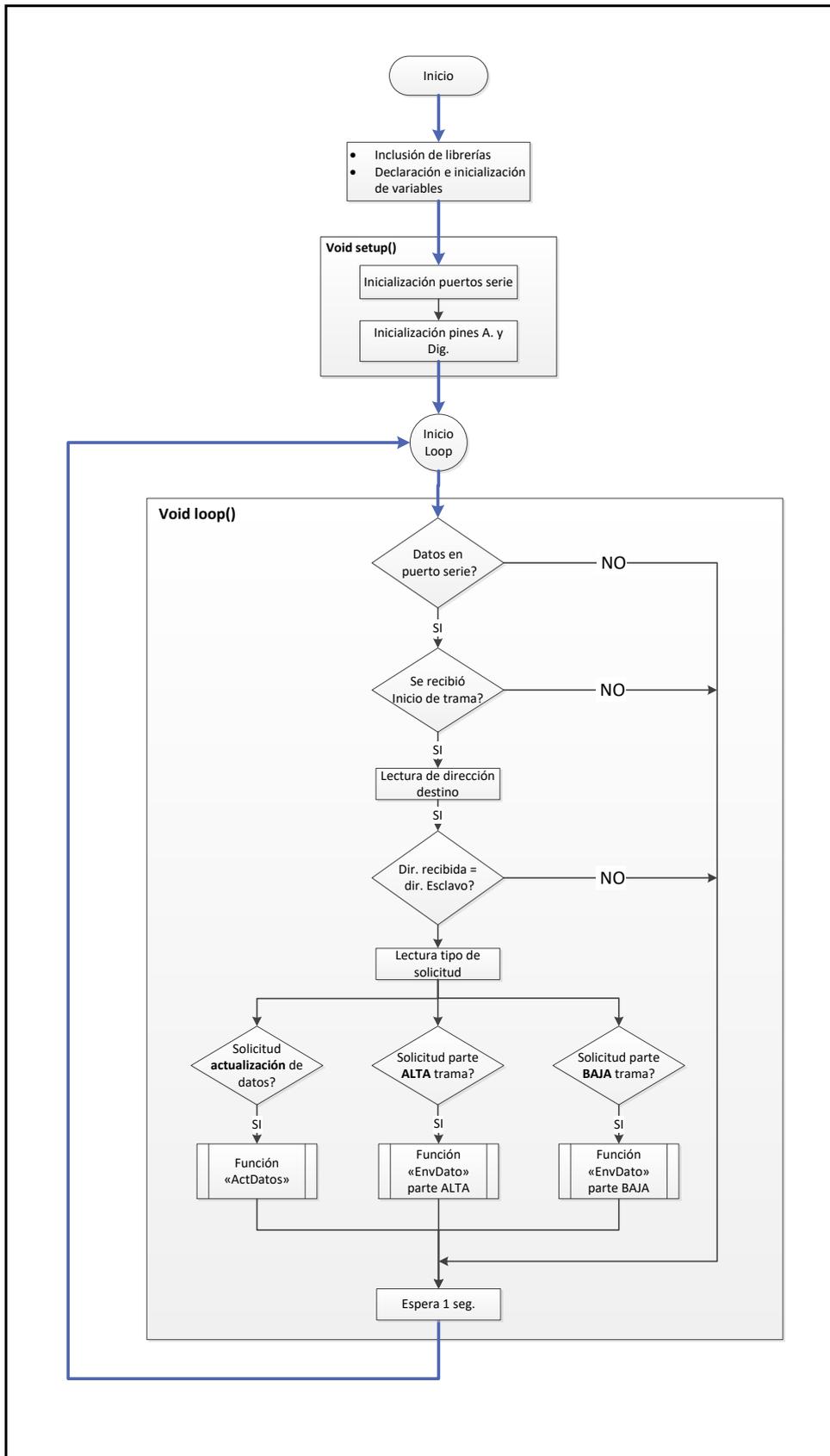


Fig. 64: Funciones principales módulos esclavos

Encabezado

Se declaran las librerías que se utilizarán en el software, para el manejo de:

- Sensor de Temperatura y Humedad DHT11 (DHT.h)
- Medidas de tiempo (TimeLib.h)

También se declaran todas las variables y constantes utilizadas en el Sketch, y sus tipos.

También se define la dirección del esclavo, con la cual se identificará dentro de la red.

Setup

En este bloque se:

- Inicializan los puertos serie.
- Pines de entrada y salida analógicos y digitales
- Configura Fecha y Hora.
- Se asignan los valores de IDBolsa, IDMódulo y bite de Configuración.

Luego de realizar estos procesos, el programa realiza una pausa de 1 segundo para darle tiempo a que concluya con el proceso de inicialización.

Loop

Como ya se mencionó, este bloque se ejecuta de forma cíclica e ininterrumpida después del setup, y es la sección principal del programa.

Básicamente, lo que realiza el programa es leer constantemente el puerto serie, hasta que detecte que se envió un dato. Al detectarlo, lo lee, extrae la dirección destino (todas las solicitudes enviadas por el maestro contienen la dirección del esclavo destino), y lo compara con su dirección. Si son iguales (es decir, si la petición se realizó a dicho esclavo), lee que tipo de petición recibida, y ejecuta la acción, que puede ser:

- Actualización de datos
- Solicitud de parte Alta del dato
- Solicitud de parte Baja del dato.

Este proceso de comunicación entre maestro y esclavo, al igual que la conformación de las tramas de comunicaciones, fueron descrito en el capítulo "Registro de datos de los módulos Esclavos".

Cada una de las acciones llevadas a cabo por el esclavo, en respuesta a la petición del maestro, se efectúa mediante la ejecución de funciones. Estas funciones se detallan a continuación:

- Actualización de datos (Función "ActDatos")

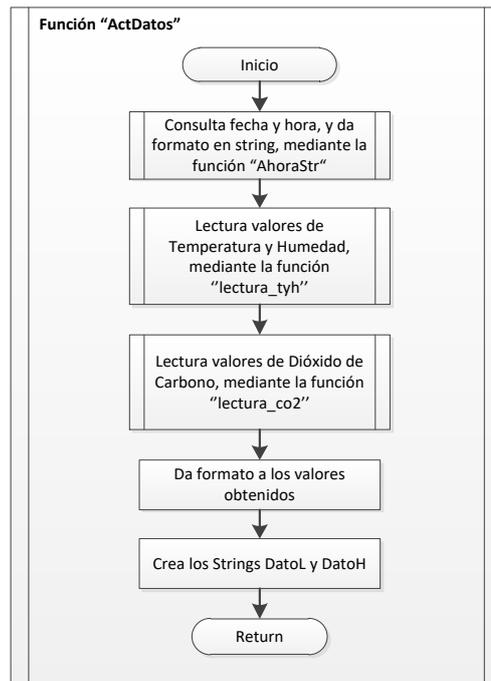


Fig. 65: Esquema función ActDatos

Esta función primeramente lee la fecha y hora del esclavo, y le da formato en string, mediante la función "AhoraStr".

Luego lee los valores de temperatura y Humedad, mediante la función "lectura_tyh", y el valor de Dióxido de Carbono, mediante la función "lectura_co2" (ambas funciones ya han sido detalladas en el punto 2.1.6.2 - Software de Control).

Luego de obtenidos los datos, les da formato, y finalmente arma las cadenas "DatoL" y "DatoH", que serán posteriormente transmitidas al maestro.

- Envío de datos (Función "EnvDatos")

Luego de solicitar al esclavo que actualice sus datos, el maestro le solicita primero la parte alta de los datos, y luego de recibida, solicita la parte baja.-

El envío de ambas partes, es realizado por el esclavo mediante la función "EnvDatos", a la cual se la ejecuta, pasándole como parámetro, el string a transmitir.

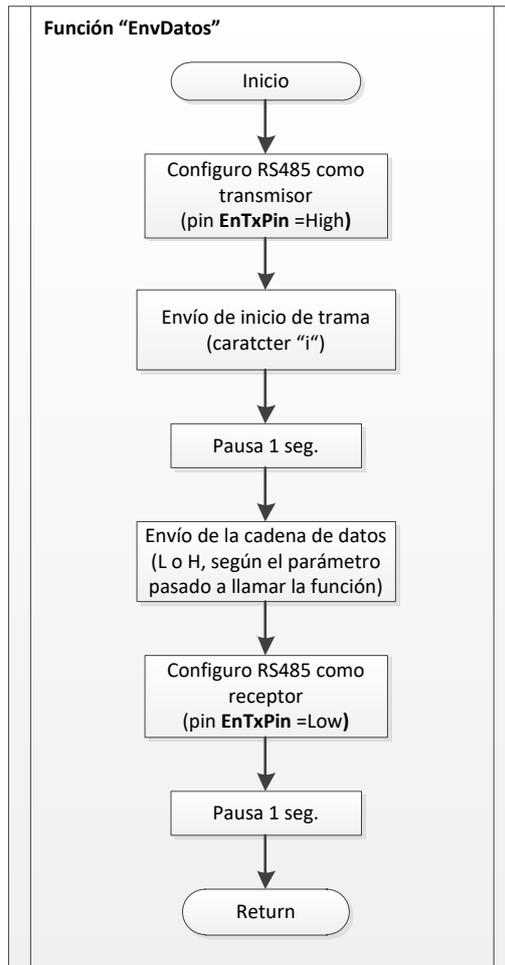


Fig. 66: Esquema función "EnvDatos"

Al ejecutar esta función, siguiendo el protocolo implementado para la transmisión de datos, (ver punto 2.1.6.2 - Software de Control) se configura primeramente el módulo 485 como transmisor, y luego de una pausa de 1 seg., escribe en el puerto serie, el string recibido como parámetro. Posteriormente realiza una pausa de 1 seg., para asegurarse que los datos han sido transmitidos, y vuelve a configurar el módulo 485 como receptor (quedando a la espera de una nueva petición por parte del maestro).

- Formateo de datos (Funciones "formato" y "f2sFormato")

Para asegurar que la longitud de la trama enviada sea siempre la misma (permitiendo luego, desde el maestro, la extracción de los datos enviados), el esclavo emplea las funciones "formato" y "f2sFormato", según el dato a formatear sea de tipo entero o float (en este caso, extrae las partes entera y decimal del dato como entero, y les da formato mediante la función "formato"):

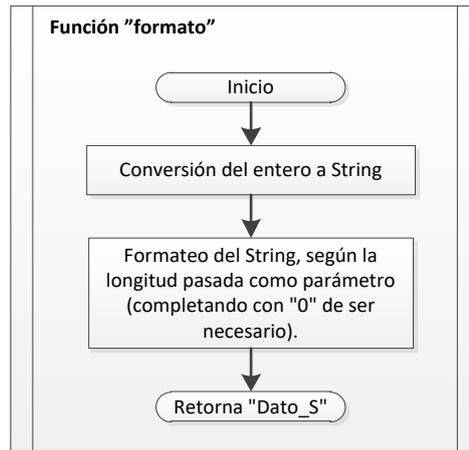


Fig. 67: Esquema función "formato"

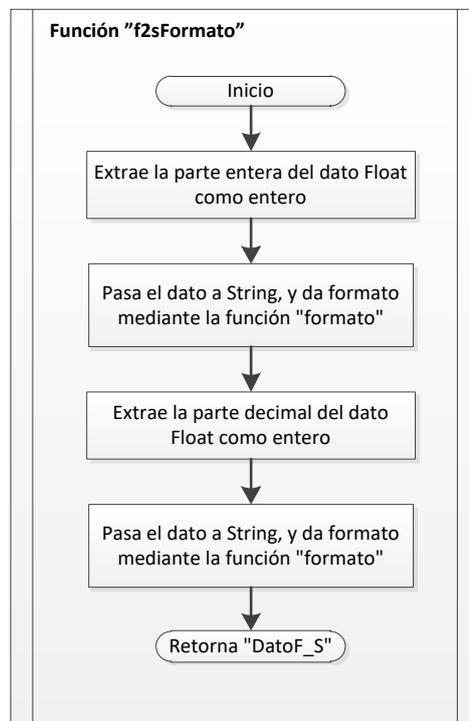


Fig. 68: Esquema función f2sFormato

2.1.7.4. Módulo de comunicaciones RS485

Como ya se comentó, los módulos esclavos se conectan al maestro, mediante una red 485.

Esta red, y el transceptor utilizado, ya ha sido detallado en el punto 2.1.2 ("Red 485", capítulo 2.1.2).

Los pines que emplean los esclavos para operar el transceptor son:

- Pin TX1: Transmisión del puerto serie 1
- Pin RX1: Recepción del puerto serie 1
- Pin digital D2 – Salida digital: configuración del módulo como Transmisor o Receptor

2.1.7.5. Sonda de medición

A igual que el maestro, los esclavos utilizan para la medición de la condición de almacenamiento dentro del silo bolsa, una sonda de medición tipo "lanza", como la ya descrita en el punto 2.1.5.

Los pines que utilizan los módulos esclavos para conectarse con los sensores son:

- Pin A1: entrada analógica para la lectura del valor del sensor de CO₂
- Pin 6: Entrada digital para leer los valores enviados por el sensor de Temperatura y Humedad.

2.2. Sistema de registro y Visualización

Cada vez que el sistema de adquisición de datos DAQ recaba los valores de los sensores de un módulo (maestro o esclavo), lo registra en la base de datos del sistema, y luego envía una petición de ejecución de un script php al servidor, para su evaluación.

El servidor ejecuta este script, que lee el último dato registrado en la base de datos (que se corresponde a los últimos valores ingresados por el DAQ), y los analiza, determinando su carácter, tomando como referencia los rangos de las tablas enunciadas en el punto 1.1.1.1 – "Tabla de rangos y condiciones de almacenamiento".

De esta evaluación, el script determina si debe enviar un mail al usuario, y su tipo (urgencia, informativo, etc.).

El usuario, al recibir dicho aviso vía mail determinará la acción a seguir, pudiendo visualizar las condiciones de almacenamiento completas y estado del silo bolsa desde la página "Registros", del sitio Web del sistema (el mail recibido, contiene un link que lleva directamente a dicha página, con los valores de bolsa y módulo en que se detectó el valor fuera de parámetro).

Los datos obtenidos y registrados, además de ser consumidos de la forma detallada, quedan almacenados en la base de datos para cualquier otro tipo de análisis.

2.2.1. Esquema general del sistema de Registro y Visualización

El sistema de Registro y Visualización, está compuesto por:

- Servidores
 - De Base de datos
 - De dominio y Sitio Web
 - De aplicaciones

- De correo electrónico
 - Base de datos
 - Aplicaciones
 - Sitio WEB

2.3. Servidores

Todos los servidores empleados en el sistema implementado son virtuales de tipo “cloud”, contratados a la empresa proveedora de hosting denominada “Hostinger”.

La elección de este proveedor se debió, fundamentalmente, a que ofrece los servicios de base de datos MySQL, que es con la que se deseaba trabajar.

Los servidores (virtuales) empleados son:

Servidor de Base de Datos

Es el servidor que aloja la base de datos donde se registran los datos obtenidos de los sensores por los módulos del sistema.

Para su administración, el proveedor dispone de una serie de opciones, accesibles desde el sitio al que se accede una vez logueado con nombre de usuario y contraseña

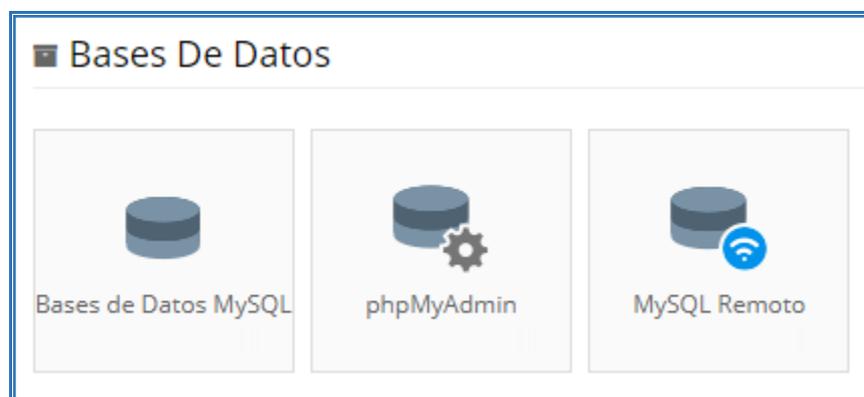


Fig. 69: Herramientas disponibles en el servidor de Base de Datos

Para la configuración del servidor, se dispone de una serie de opciones que permiten gestionar las bases de datos definidas, y los usuarios:

The screenshot shows a web interface titled "Lista de Bases de Datos y Usuarios MySQL Actuales". It features a search bar and a table with the following data:

Base de Datos MySQL	Usuario MySQL	Host MySQL	Uso de Disco, MB
u405681551_silge	u405681551_admin	localhost	0.10

Below the table, there are several action buttons: Eliminar (red), Reparar (blue), Obtener uso (green), Copia de Seguridad (brown), Cambiar Contraseña (grey), Modificar permisos (orange), and phpMyAdmin (yellow).

Fig. 70: Panel de configuración del servidor de Base de Datos

Servidor de Dominio

Para la página web del sistema, se contrató a la misma empresa de hosting el servicio de provisión de dominio, y se registró el dominio "silge.xyz":

The screenshot shows the domain information for "silge.xyz". The page is updated 1 second ago. It is divided into two sections: "Domain Information" and "Registrant Contact".

Domain Information:

- Domain: silge.xyz
- Registrar: Hostinger, UAB
- Registered On: 2018-12-01
- Expires On: 2019-12-01
- Updated On: 2019-01-31
- Status: ok
- Name Servers: ns4.hostinger-ar.com, ns3.hostinger-ar.com, ns2.hostinger-ar.com, ns1.hostinger-ar.com

Registrant Contact:

- Organization: Maximiliano Ruiz
- State: Entre Rios
- Country: AR

Fig. 71: Información del dominio registrado

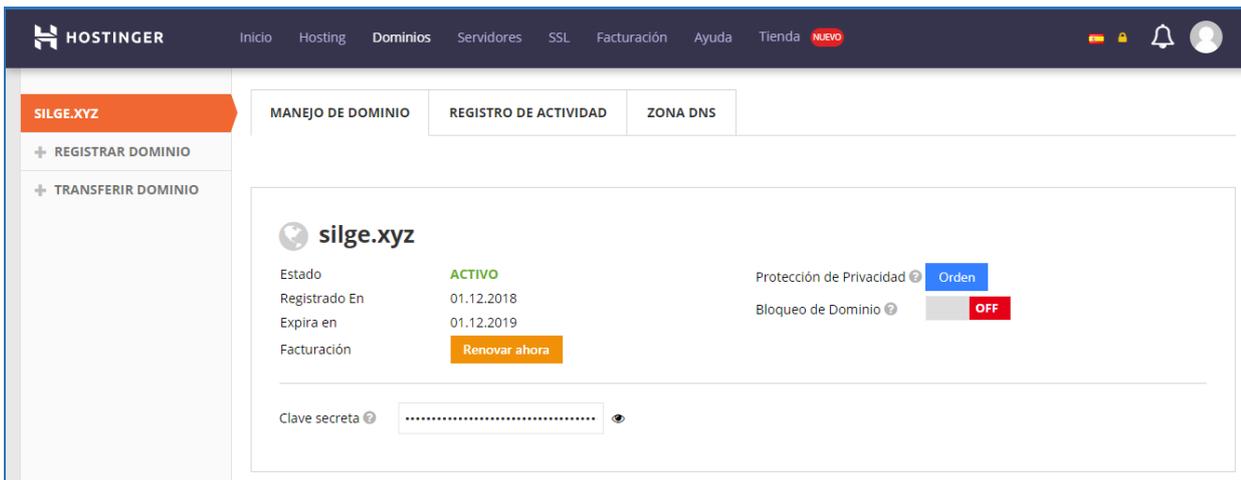


Fig. 72: *Página de administración de dominios del proveedor Hostinger*

Servidor de Archivos y FTP

Para alojar los archivos del sitio web del sistema, y administrar su transferencia, se contrató un servicio de FTP, al que se subieron los archivos del sitio

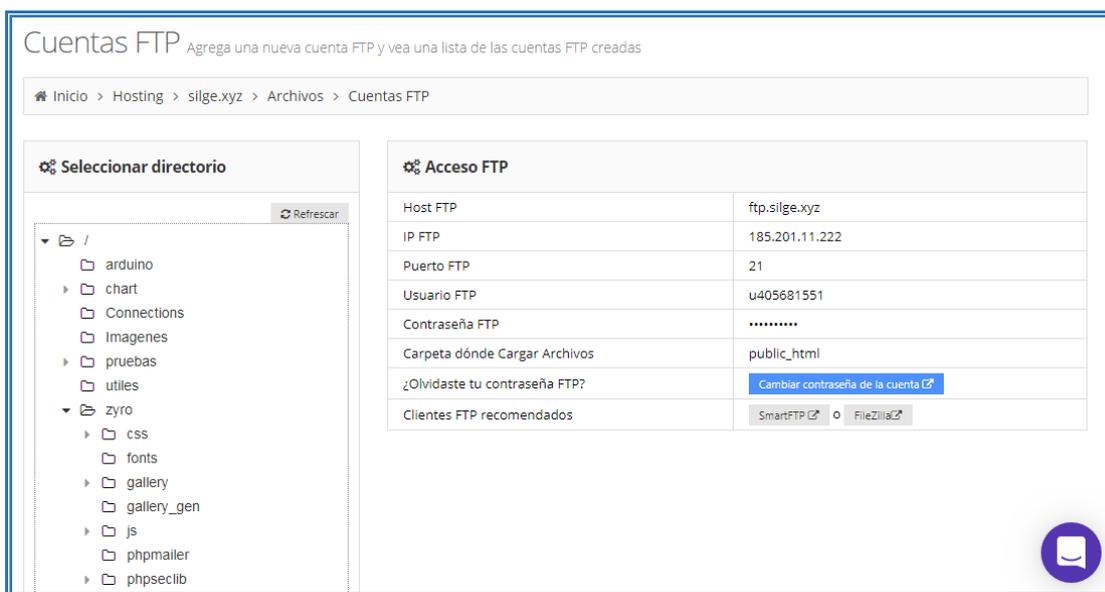


Fig. 73: *Página de administración del servidor FTP*

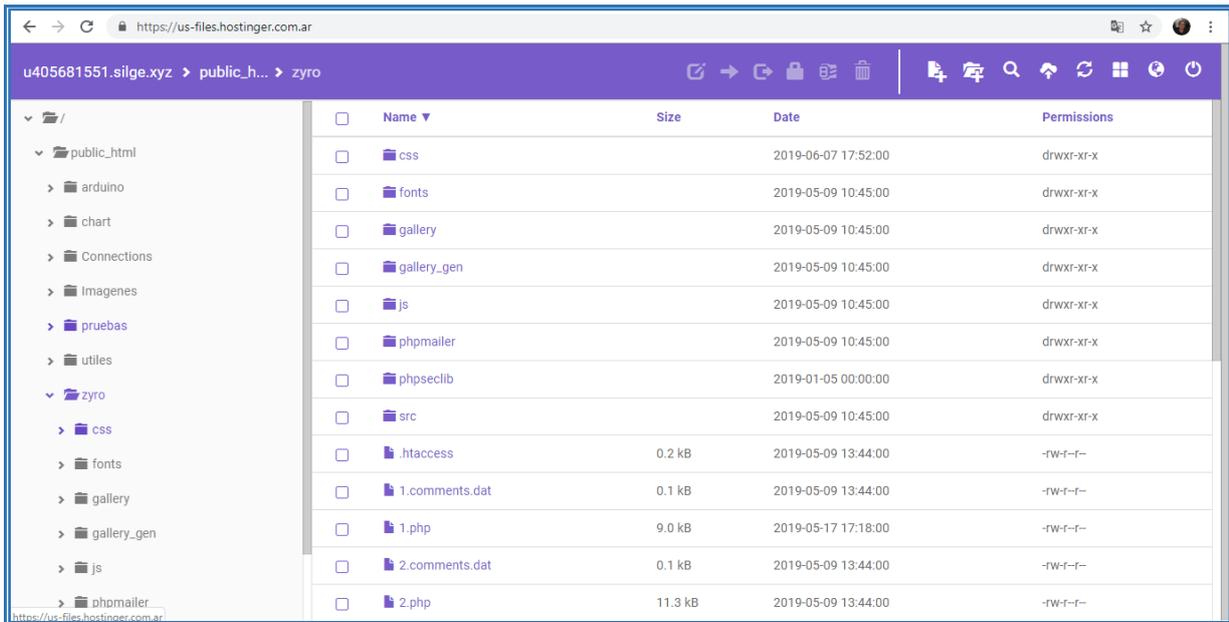


Fig. 74: Página de administración de archivos del servidor Hostinger

2.3.1. Base de Datos

La base de datos empleada en el proyecto es MariaDB, versión 10.2, un sistema de gestión de bases de datos derivado de MySQL (de la empresa Oracle). La decisión de emplear este sistema de almacenamiento de datos, se debió a su amplia difusión a nivel mundial, y disponibilidad de recursos y material informativo.



Su administración se realiza mediante la herramienta “phpMyAdmin”, versión 4.8.5, provista por la empresa de hosting (Hostinger).

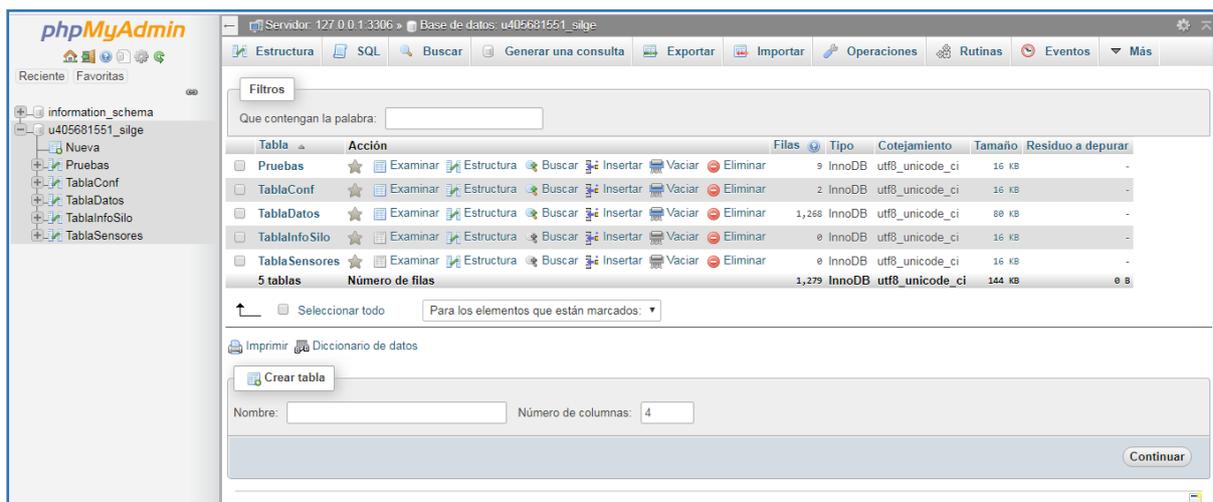


Fig. 75: Base de datos del sistema

La base de datos del sistema se denomina “u405681551_silge” (nombre asignado por el proveedor), y está compuesta por las tablas:

- **Pruebas:** tabla auxiliar, creada para realizar pruebas del sistema de manera segura, sin que afecte al resto de los registros.
- **TablaConf:** tabla destinada al almacenamiento de los parámetros de configuración del sistema. No se emplea en el actual prototipo, ya que dichos parámetros se definen directamente en el software de los módulos, pero queda ya planteada y disponible para futuros desarrollos.
- **TablaInfoSilo:** Tabla destinada al almacenamiento de información de los distintos Silos que pudieran estar definidos dentro del sistema. Esta tabla no se utiliza en el desarrollo propuesto, ya que se trabaja para un único silo (Silo 1), pero queda disponible para su futura implementación.
- **TablaSensores:** Tabla que permite almacenar información de los distintos sensores utilizados en el sistema, como marca, modelo, tecnología, fecha de calibración, ubicación, etc. Esta tabla no se emplea en el actual desarrollo.
- **TablaDatos:** es la tabla principal del sistema. Almacena la totalidad de los registros obtenidos por los sensores, y demás información referida a la toma de la muestra.

2.3.2. Tabla “TablaDatos”

Como se dijo, es la tabla principal del sistema, ya que almacena la totalidad de la información generada por los módulos:

IDData	FechaRegistro <small>Fecha de escritura en base</small>	IDBolsa	IDModulo	DirEsclavo	Fecha <small>Fecha toma muestra</small>	Temperatura	Humedad	CO2	Conf
46433	2019-07-17 15:43:24	1	2	16	2019-07-17 13:03:46	17.70	53.00	10.00	1
46434	2019-07-17 15:43:45	1	0	17	2019-07-17 13:03:46	0.00	0.00	0.00	1
46435	2019-07-17 15:44:02	1	1	1	2019-07-17 13:05:09	19.10	59.00	25.00	3
46436	2019-07-17 15:44:18	1	0	15	2019-07-17 13:05:09	0.00	0.00	0.00	1
46437	2019-07-17 15:44:47	1	2	16	2019-07-17 13:05:09	17.80	53.00	10.00	1
46438	2019-07-17 15:45:09	1	0	17	2019-07-17 13:05:09	0.00	0.00	0.00	1
46439	2019-07-17 15:45:25	1	1	1	2019-07-17 13:06:33	19.10	59.00	25.00	3
46440	2019-07-17 15:45:42	1	0	15	2019-07-17 13:06:33	0.00	0.00	0.00	1
46441	2019-07-17 15:46:11	1	2	16	2019-07-17 13:06:33	17.80	53.00	9.00	1
46442	2019-07-17 15:46:32	1	0	17	2019-07-17 13:06:33	0.00	0.00	0.00	1
46443	2019-07-17 15:46:49	1	1	1	2019-07-17 13:07:56	19.20	59.00	24.00	3
46444	2019-07-17 15:47:05	1	0	15	2019-07-17 13:07:56	0.00	0.00	0.00	1
46445	2019-07-17 15:47:34	1	2	16	2019-07-17 13:07:56	17.80	53.00	10.00	1
46446	2019-07-17 15:47:56	1	0	17	2019-07-17 13:07:56	0.00	0.00	0.00	1

Fig. 76: Registros de la tabla “TablaDatos”

Está conformada por las columnas:

#	Nombre	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado	Comentarios	Extra	Acción
1	IDData	int(6)			No	Ninguna		AUTO_INCREMENT	Cambiar Eliminar Más
2	FechaRegistro	datetime			No	current_timestamp()	Fecha de escritura en base		Cambiar Eliminar Más
3	IDBolsa	int(4)			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
4	IDModulo	int(4)			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
5	DirEsclavo	int(2)			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
6	Fecha	datetime			No	Ninguna	Fecha toma muestra		Cambiar Eliminar Más
7	Temperatura	float(5,2)			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
8	Humedad	float(5,2)			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
9	CO2	float(6,2)			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más
10	Conf	int(1)			No	Ninguna			Cambiar Eliminar Más

Fig. 77: Estructura de la tabla “TablaDatos”

- IDData (Tipo: Entero. Long: 6.)
Es un campo autoincremental, que identifica de manera única a cada registro registrado en la base. Este campo es además la clave principal de la tabla.
- FechaRegistro (Tipo: Datetime)
Registra fecha y hora en que se inserta el registro en la base de datos. La completa de forma automática una función de la base de datos, cada vez que se inserta un nuevo registro.
- IDBolsa (Tipo: Entero. Long: 4.)
Identifica el número de bolsa a la que pertenece el registro insertado
- IDModulo (Tipo: Entero. Long: 4.)
Identifica módulo (ya sea maestro o esclavo), que realizó la lectura de los valores almacenados. Cada grupo de sensores (CO2, Temperatura y Humedad) pertenecen a un módulo.
- DirEsclavo (Tipo: Entero. Long: 2.)
Registra la dirección de cada módulo, por la cual se identifica de manera única en la red 485, y es la que emplea el módulo maestro para solicitar datos a un esclavo en particular. De forma genérica se denomina “DirEsclavo”, pero el maestro también posee una dirección, que por convención es siempre 01.
- Fecha (Tipo: Datetime)
Registra la fecha y hora en que el módulo realizó la toma de los valores. Esta puede ser distinta de la fecha de registro.
- Temperatura (Tipo: Float. Long: 5. Decimales: 2)
Registra el valor de la temperatura leída por el sensor del módulo dentro del silo bolsa. Es un valor expresado en grados Centígrados, decimal, de tres cifras enteras.

- Humedad (Tipo: Float. Long: 5. Decimales: 2)
Guarda el valor leído por el sensor de Humedad del módulo al que pertenece, indicando la humedad relativa intergranaria, presente dentro del silo bolsa. Es un valor decimal, de tres cifras enteras.
- CO2 (Tipo: Float. Long: 6. Decimales: 2)
Este campo almacena el valor de concentración de dióxido de carbono presente dentro de la bolsa, obtenido por el sensor MQ135 del módulo registrado. Es un valor decimal, de cuatro cifras enteras, ya que permite registrar el CO2 de forma porcentual (que es el caso empleado en el sistema desarrollado), o por “parte por millón”.
- Conf. (Tipo: Entero, Long: 1)
Este campo almacena en forma de byte, 8 bits que se emplean para especificar ciertos valores de configuración del módulo que realiza la lectura de los datos, que permiten especificar el estado del mismo.

2.3.3. Sitio Web

Para la representación y visualización de los datos registrados por el sistema, se desarrolló un sitio WEB, que además suministra información sobre el proyecto.

La dirección de acceso a la misma es:

www.silge.xyz

Este sitio está compuesto por 4 páginas web:

- Inicio
- Proyecto
- Registros
- Contacto

2.3.3.1. Página de inicio

La página de inicio, es la primera página a la que se accede, al ingresar en el explorador de internet, la dirección principal del sitio.

Dirección web: *www.silge.xyz*

SilGe
Gestión de Silos

INICIO PROYECTO REGISTROS CONTACTOS

SilGe Gestión de Silos

Sistema de Monitoreo para Silaje Flexible.



La conveniencia de instalar un sistema de Monitoreo Continuo de variables para sus Silobolsas

Registro de Valores



Toda la información en tiempo real del estado de su Silobolsa, en un solo sitio.

Contacto



Por más información, por favor no dude en contactarnos a través de nuestros canales de comunicación.

Acerca del Proyecto



Un proyecto. Un fin de camino.
El presente desarrollo ha sido elaborado como proyecto final de la carrera de Ingeniería Electrónica, por los alumnos Maximiliano Ruiz y Marcelo Furiós.
Queremos agradecer a nuestras familias, amigos y profesores, que nos acompañaron en este camino, y en general a toda la comunidad Universitaria Tecnológica, de la cual estamos orgullosos de pertenecer.

La forma más segura de tener éxito, es intentarlo una vez más
T. A. Edison

© 2019 silge.xyz

f t

Fig. 78: Página web de inicio

Esta página, al ser de inicio, muestra una breve reseña del contenido de las demás páginas del sitio.

2.3.3.2. Proyecto

En esta página, se explica el fin del sistema, y se especifican las condiciones de funcionamiento.



SilGe
Gestión de Silos

INICIO **PROYECTO** REGISTROS CONTACTOS



Proyecto



Sistemas de Silaje Flexibe o Silobolsa.

- El sistema de silaje flexible denominado comúnmente "Silobolsa", es una solución tecnológica, que consiste en el almacenamiento de grano en bolsas plásticas herméticas.
- En su interior, el proceso respiratorio de los seres vivos (granos, hongos, insectos, etc.) consume el oxígeno (O2) y genera dióxido de carbono (CO2), logrando así una atmósfera automodificada.
- Estas condiciones reducen o suprimen a la vez la capacidad de reproducción y desarrollo de dichos seres vivos y la propia actividad del grano, facilitando su conservación.
- Como contrapartida, demanda mayor cuidado que los sistemas tradicionales, ya que malas condiciones de almacenamiento se traducen directamente en mermas en el rendimiento del grano cosechado.



Monitoreo Continuo. Una solución inteligente.

La pérdida en la calidad de grano acopiado en los sistemas de silaje flexibles o silobolsa, depende principalmente de las condiciones internas de almacenamiento. Por tal, es sumamente importante un monitoreo continuo del estado de su masa granaria, a fin de detectar problemas que puedan afectar su calidad final. El sistema de sensado y registro remoto de variables internas de silobolsas, desarrollado y presentado, tiene como objetivo:

- Proporcionar información en tiempo real del estado de las principales variables (Temperatura, Humedad y CO2) que intervienen en los procesos biológicos que se llevan a cabo dentro de los silobolsa.
- Alertar sobre variaciones o valores fuera de rango que puedan ocasionar pérdidas o disminución de la calidad del grano ensilado. Alertar sobre posibles acciones vandálicas.
- Proveer información para análisis estadísticos, que ayuden a optimizar el rendimiento final de la cosecha.



Números.

- Típicamente, un silobolsa completo (entre 60 y 70 metros de longitud) almacena unas 200 toneladas de soja.
- Tomando como referencia el precio de la soja en abril 2018, de \$6.500/ton, resulta que el valor de cada silobolsa lleno asciende a \$ 1.300.000,00
- Si el promedio de pérdidas en este tipo de almacenamiento por problemas de conservación es del 3% (datos aportados por INTA), tendremos una pérdida económica por bolsa aproximada de \$ 39.000,00. -

Haciendo un análisis de la propuesta presentada, se puede advertir la conveniencia de implementar este tipo de sistemas de monitoreo y alerta, ya que su costo equivale a un 30% de la pérdida económica que pretende reducir.

© 2019 silge.xyz




Fig. 79: Página web del Proyecto

2.3.3.3. Registros

Es la página principal del sitio. Permite visualizar los valores obtenidos por el sistema, de diferentes maneras, constituyendo una importante herramienta para el usuario final ya que ante una alerta, permite conocer el estado completo del silo bolsa.



Fig. 80: Página web de visualización de los datos obtenidos por el sistema

Selección de parámetros

Este panel, que se encuentra sobre la parte derecha de la página, permite seleccionar e introducir los parámetros que serán tomados para representar los valores del sistema.

Selección de parámetros

Bolsa: 1
Módulo: 1
Fecha: 19/07/2019
Hora: 07:10
[Enviar]

Fig. 81: Panel de selección de parámetros

Estos parámetros son:

- **Bolsa:** número de bolsa a representar. El menú muestra en las opciones sólo los ID de bolsas existentes, permitiendo seleccionar una de estas de la lista.
- **Módulo:** permite seleccionar el módulo que se tomará en cuenta para obtener los datos a mostrar. Al igual que la Bolsa, permite, de un menú desplegable, seleccionar uno de los módulos disponibles de la bolsa seleccionada.
- **Fecha:** campo de entrada que permite ingresar día, mes y año de los datos a representar, bien a través de un cuadro de texto que valida automáticamente el contenido, o bien mediante una interfaz especial de selección de fechas.
- **Hora:** Campo de entrada para indicar la hora de la toma de los datos que se desea representar.

El diagrama del script del panel es:

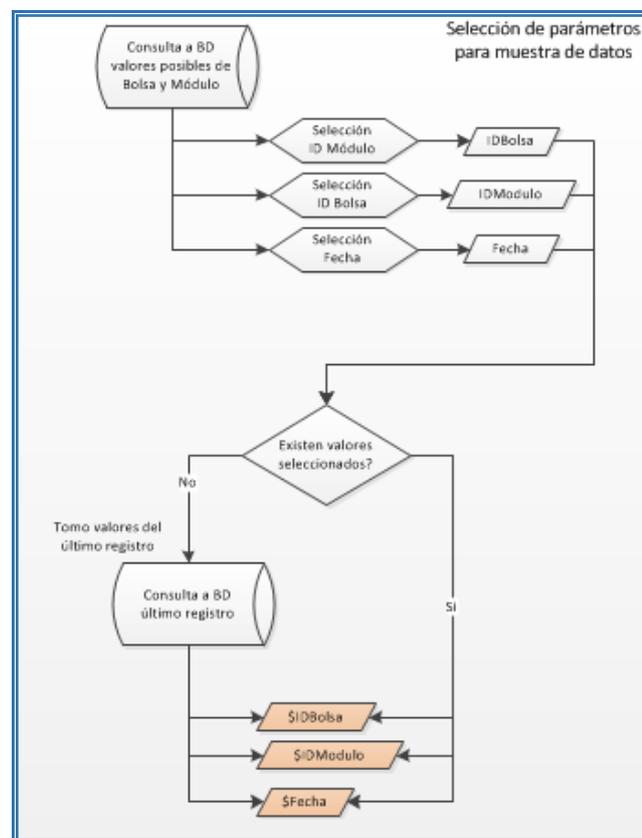


Fig. 82: Selección de parámetros

Visualización de parámetros

Muestra los parámetros con los que se seleccionaron los valores que se muestran en la página.

Parámetros

Id Bolsa: 1

Id módulo: 1

Fecha: 19-07-2019

Hora: 07:10:59

Fig. 83: Información de parámetros seleccionados

Estado de la bolsa

Muestra los datos de todos los módulos del silo bolsa seleccionado, en la fecha y hora indicada. Al estar además representado este valor en distintos colores, permite al usuario conocer a “primera vista”, la situación del silo, e identificar si existe alguna situación anómala que requiera su atención.

Los colores empleados, son los determinados en la tabla indicada en el punto 1.1.1.1, pág. 13

Estado Bolsa 1							
	Mod.: 1	Mod.: 2	Mod.: 3	Mod.: 4	Mod.: 5	Mod.: 6	Mod.: 7
Temp.[°C]	16.40	18.20	16.20	38.11	58.32	28.39	78.80
Hum.[%]	12.00	11.20	88.00	12.80	55.30	20.80	17.08
CO2[%]	0.73	10.80	1.09	0.90	2.10	11.08	2.36
	19-07-2019	19-07-2019	19-07-2019	19-07-2019	19-07-2019	19-07-2019	19-07-2019

Fig. 84: Representación del estado del Silobolsa

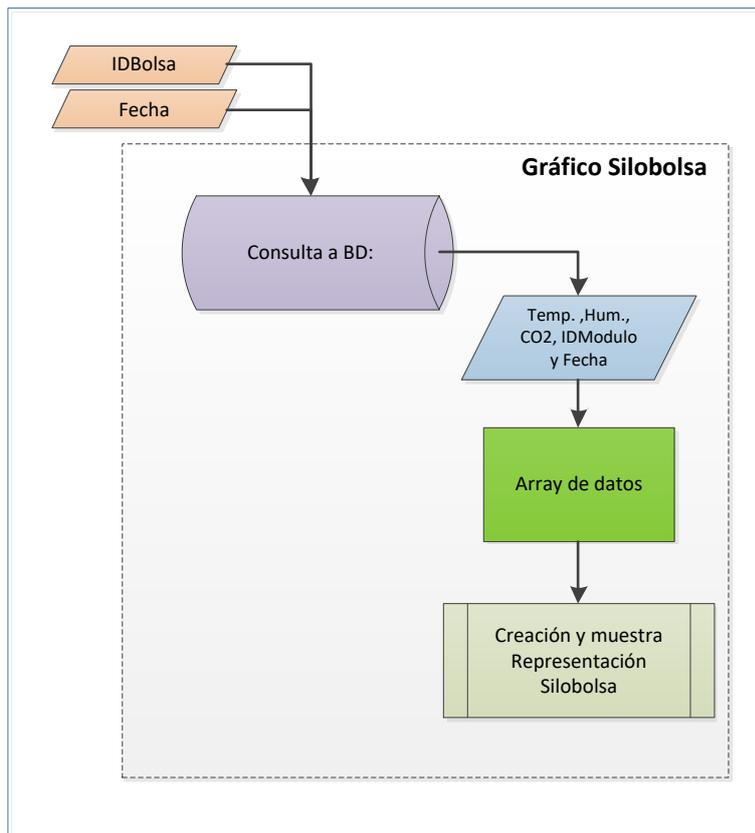


Fig. 85: Diagrama del script que representa el Silo

Los colores con que se dibujarán las celdas de la tabla de registros, se asignan mediante la función “DefinirColor”, según los rangos determinados en la tabla indicada en el punto 1.1.1.1, pág. 13

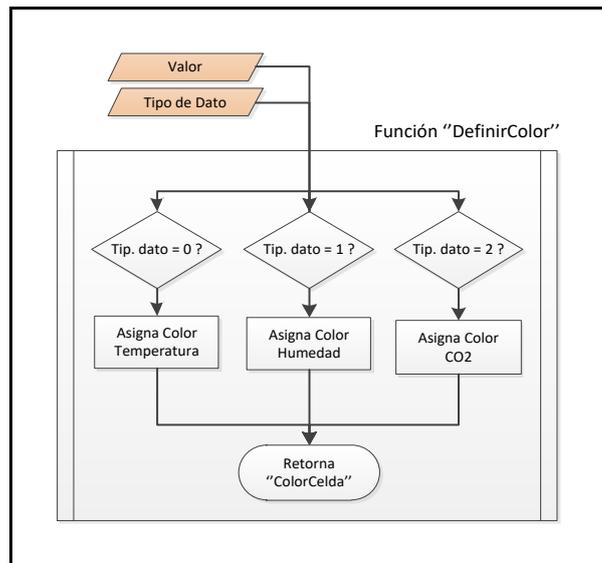


Fig. 86: Función “DefinirColor”

Tabla de registros

Muestra los valores del módulo seleccionado, y sus anteriores 10 registros.

Permite visualizar en detalle las características de los registros obtenidos.

Reg. diario Bolsa 1, Mód. 1

ID	Fecha	Hora	Temperatura	Humedad	Co2
48219	19-07-2019	07:06:43	16.40	12.00	0.73
48212	19-07-2019	06:36:28	16.50	78.00	0.69
48205	19-07-2019	06:06:14	16.70	78.00	0.87
48198	19-07-2019	05:36:00	16.70	77.00	0.69
48191	19-07-2019	05:05:46	16.90	77.00	0.73
48184	19-07-2019	04:35:32	17.00	76.00	0.59
48177	19-07-2019	04:05:17	17.20	76.00	0.54
48170	19-07-2019	03:35:03	17.30	76.00	0.53
48163	19-07-2019	03:04:49	17.50	77.00	0.53
48156	19-07-2019	02:34:35	17.60	77.00	0.51
48149	19-07-2019	02:04:21	17.70	77.00	0.53

La información mostrada es de control de registro.

Fig. 87: Tabla de Registros

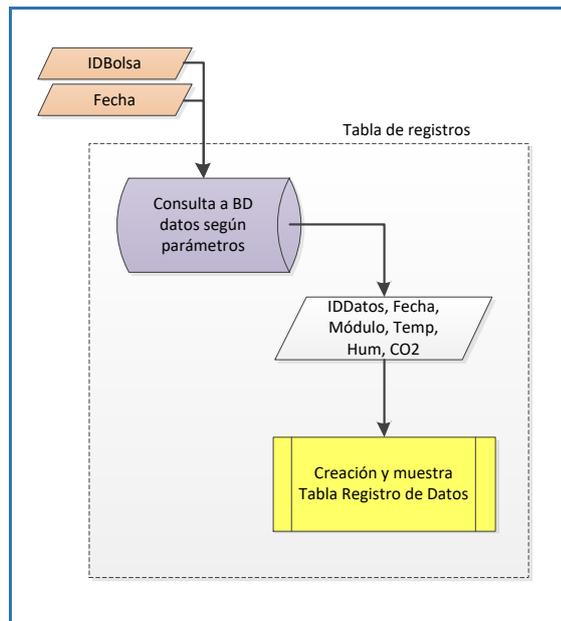


Fig. 88: Diagrama del script de la “Tabla de Registros”

Gráfico de valores.

Muestra una gráfica de los 48 últimos valores de temperatura, humedad y CO2 leídos por los sensores del módulo seleccionado.

De esta manera, el usuario dispone de una representación de la variación de los parámetros del silo bolsa, en las últimas 24 horas (considerando un funcionamiento normal del sistema, donde se toma una muestra cada 30 minutos).

Este panel permite hacer zoom sobre la gráfica, para obtener así mayor detalle de cierta parte de la misma. Además, permite mostrar u ocultar alguna de las curvas representadas, y lograr de esta forma mayor claridad en la representación.

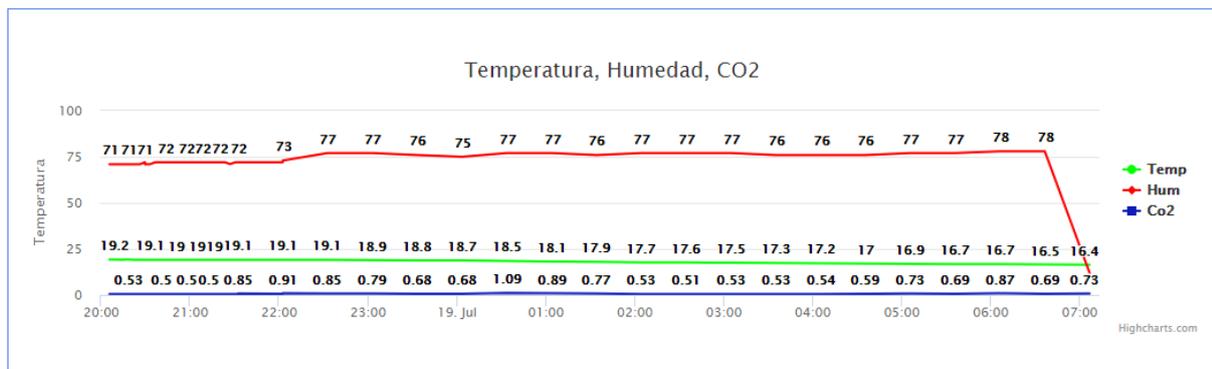


Fig. 89: Representación gráfica de los valores de un módulo del silobolsa

El esquema del script que grafica los datos es:

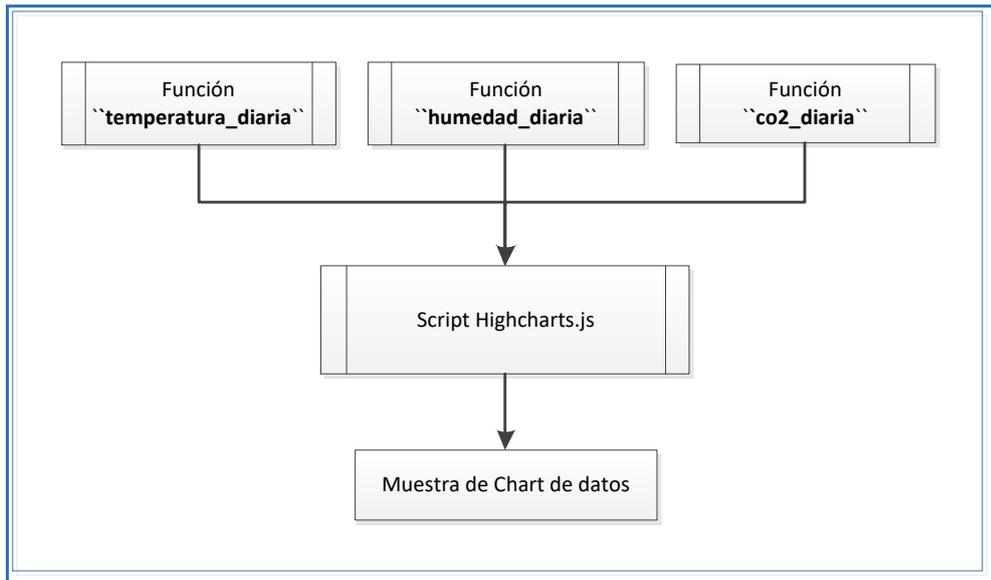


Fig. 90: *Chart de Datos*

y los valores que se representan en la gráfica, se obtienen de las siguientes funciones:

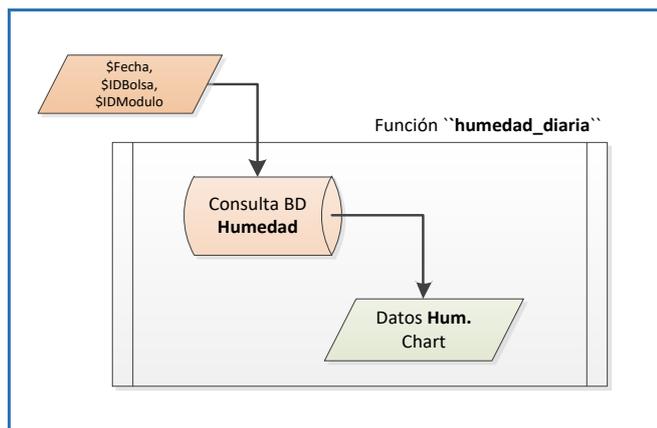


Fig. 91: *Función "humedad_diaria"*

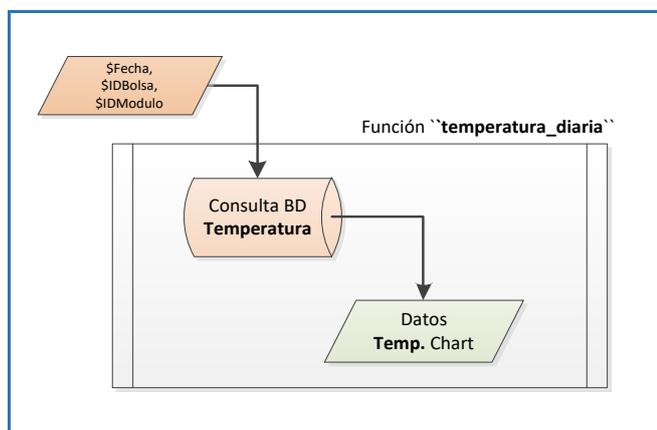


Fig. 92: *Función "temperatura_diaria"*

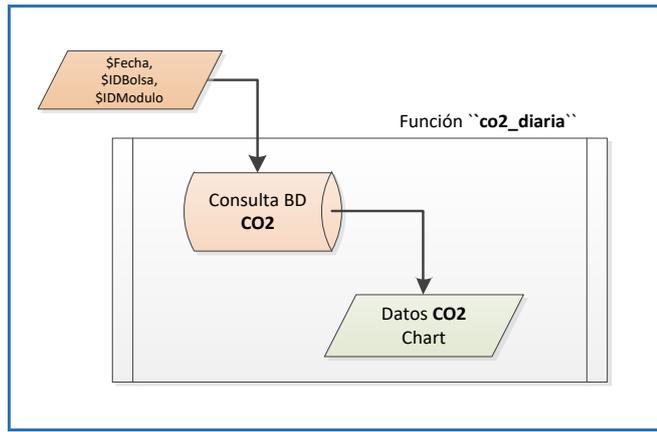


Fig. 93: Función “co2_diaria”

A continuación, se muestra la estructura principal del script 3.php, que muestra la página de Registro de Datos

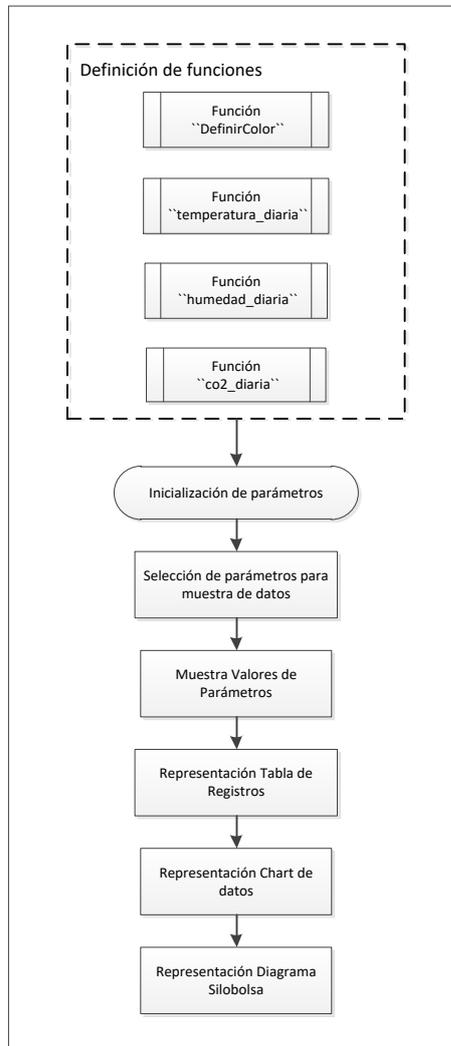


Fig. 94: Estructura del archivo “3.php”

2.3.3.4. Contacto

Esta página proporciona información de los desarrolladores del proyecto, y permite el envío de un formulario de contacto.



Fig. 95: *Página web de Contacto*

Al ingresar los datos, y oprimir el botón “Enviar”, envía un mail a la dirección del proyecto (info@silge.com.ar)

2.3.4. Mail

Como se desarrolló en el cap. 2.1.6.2, página 49, una vez que el sistema toma datos de los sensores del maestro o del esclavo, y los registra de forma correcta en la base de datos, ejecuta un script php en el servidor de aplicaciones, que evalúa el último registro ingresado en la base de datos (que corresponde a dicho último dato ingresado por el sistema), y determina, según una tabla predefinida de valores y la evalúa, determinando si debe enviar un mail de alerta.

El destinatario de dicho mail está definido en el script, y el título del mensaje se determina, según el rango de valores al que pertenece. 1.1.1.1 - Tabla de rangos y condiciones de almacenamiento.

2.3.4.1. Envmail.php

Básicamente, este script, primeramente, lee los datos pasados por url, y si se solicita evaluación de datos, lee el último registro de la base para determinar el estado de la bolsa y módulo, y los 3 anteriores registros, para determinar, mediante estos valores históricos, si no ha sufrido alguno de sus valores, una variación fuera de rango.

Luego de obtenidos los datos, determina primeramente el título del mail, según la tabla de rangos definida en el capítulo 1.1.1.1, luego arma una tabla, y muestra los valores, empleando la función “DefinirColor” para determinar el color con que se presentarán los colores, y de esta forma darle una idea al usuario, a primera vista, si existe una situación que requiera atención inmediata.

Finalmente, una vez armado el mensaje, lo envía.

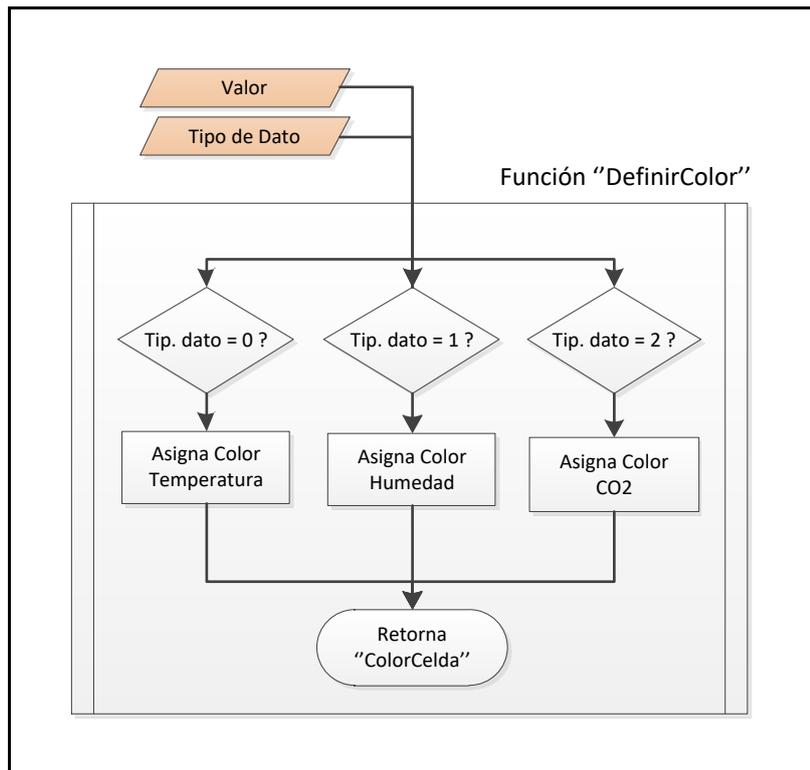


Fig. 96: Función “DefinirColor”

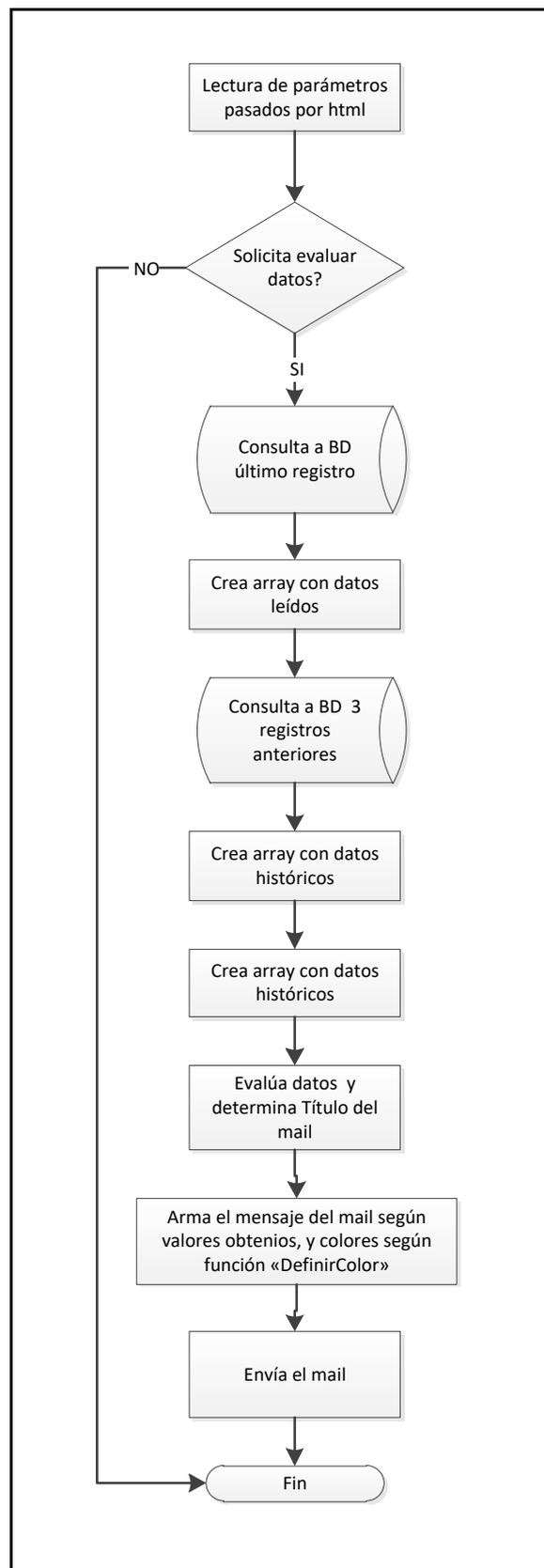


Fig. 97: Diagrama de bloques del script `envmail.php`

2.3.4.2. Mail

A continuación, se presenta una muestra del mail recibido:

De: u405681551@srv176.main-hosting.eu [mailto:u405681551@srv176.main-hosting.eu] En nombre de info@silge.xyz
 Enviado el: martes, 16 de julio de 2019 9:15
 Para: maxiruiz@gmail.com
 Asunto: ALERTA SilGe - Variación abrupta de CO2 en silobolsa

Se detectaron valores fuera de rango en Bolsa 1, Módulo 1

Fecha muestra: 15-07-2019, hora: 19:33:58

	Muestra 0	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3			
Fecha - Hora	Fecha:15-07-2019 Hora: 19:33:58	Fecha:09-07-2019 Hora: 12:03:00	Fecha:09-07-2019 Hora: 12:02:00	Fecha:09-07-2019 Hora: 12:01:00			
	Valor	Valor	Variación	Valor	Variación	Valor	Variación
Temperatura	55.70	20.60[°C]	170.39%	167.00[°C]	-66.65%	16.00[°C]	248.13%
Humedad	51.00	10.50 %	385.71%	10.50 %	385.71%	10.50 %	385.71%
CO2	18.00	1.00	1700%	2.00	800%	1.00	1700%

Acceda al registro de los valores [aquí](#)

Fig. 98: e-mail recibido, al detectarse un valor fuera de rango

En el último párrafo, debajo de la tabla, el mail presenta un link, desde donde, haciendo "clic", se puede acceder directamente a la página de registros, y visualizar los valores representados en la tabla.

CO2	18.00	1.00	1700%	2.00
Acceda al registro de los valores aquí				

Fig. 99: Link en el mail para acceder a los registros presentados.

Capítulo 3. Resultados

Como resultado final, se obtuvo un prototipo funcional de un sistema de adquisición, registro y análisis de variables para sistemas de almacenamiento de granos con atmósfera auto modificada, y la determinación de sus condiciones de almacenamiento.

Si bien la aplicación permite la visualización de la información y envío de alerta vía mail, su potencial principal reside en la información almacenada en la base de datos, permitiendo futuros desarrollos para su análisis con fines predictivos, estadísticos, etc.

Como evaluación del producto logrado, se realizó un análisis FODA el cual se muestra a continuación

Fortalezas

- Toma de datos en forma continua. Ventaja frente a otros sistemas, que requieren que un operador realice la lectura de los sensores “in situ”.
- Independencia geográfica
- Configurable según el tamaño del silo bolsa.
- Desarrollado con componentes económicos, y de amplia disponibilidad en el mercado nacional.
- Diseño robusto. Se minimizó el empleo de comunicación inalámbrica.
- Producto de diseño y fabricación nacional.
- No agresivo en la toma de datos.
- Sistema de respaldo de información, ante cortes de comunicación a internet.
- Para su comunicación a internet, se desarrolló teniendo en cuenta equipamiento de conectividad de redes habituales, ampliamente difundido.
- El costo del equipo completo, representa un 30%, aproximadamente, de la pérdida económica que reduce.
- El sistema puede ser comercializado en distintas modalidades: venta del equipo, alquiler, leasing, comodato o prestación del servicio de monitoreo, entre otros.
- Trabaja con servidores online. No hace falta disponer de equipamiento informático costoso y complejo.
- Se puede utilizar en silo bolsas que acopien cualquier variedad de grano, o forraje.
- Alerta de estados que necesiten atención del usuario mediante el envío de mails, con la ventaja de no necesitar la instalación de aplicación alguna.

Oportunidades

- Independencia geográfica para el usuario. Puede acceder a los datos desde cualquier parte del mundo, con la única condición, de poseer conexión a internet.
- Los volúmenes de cosecha son cada vez mayores, y el empleo de silo bolsas como método de almacenamiento se encuentra en constante crecimiento.
- Existen pocas soluciones similares en el mercado.
- El sector agrícola incorpora cada vez más tecnología a sus sistemas productivos.
- Los resultados del empleo del sistema, se ven directamente reflejados en un aumento del rinde de la cosecha, y su correspondiente impacto económico.

Debilidades

- Necesidad de alimentación eléctrica en el lugar donde se instala, y conexión a internet.
- Fabricación con componentes importados, con precios de referencia en dólares.
- Módulos maestros y esclavos cableados, con la dificultad en la instalación que esto implica.
- En la versión desarrollada, se requiere de cierta capacidad técnica para instalar el sistema, y configurarlo.
- Posee costo fijo mensual, de alquiler de hosting de los servidores que emplea el sistema.

Amenazas

- El sector al que pertenecen los potenciales usuarios, es reticente al uso de nuevas tecnologías.
- Es un equipamiento electrónico funcionando a la intemperie, con lo cual está expuesto a descargas atmosféricas, interferencias debido a maquinarias, daños por fenómenos meteorológicos, etc.

Capítulo 4. Análisis de Costos

Para la realización de este proyecto se necesitaron un total aproximado de tres meses.

Este tiempo fue necesario para:

- Recopilar información sobre cómo afecta al grano del cereal almacenado en silo bolsas, de acuerdo a los cambios de temperatura, humedad y dióxido de carbono producido en el ambiente que lo rodea.
- Compra de materiales y dispositivos que brinden la calidad y funcionalidad adecuada para la realización del proyecto.
- Desarrollo de la lógica de programación sobre un hardware elegido que permite además mejoras en futuras versiones.
- Realizar pruebas, reprogramación y ensamble del equipo final para garantizar su correcto funcionamiento.

Además del valor económico debido a este tiempo de trabajo, se ha invertido un total aproximado de \$ 40.000,00 para desarrollar el sistema completo, que se detallará próximamente.

Se decidió diseñarlo de manera tal que sea un equipamiento para nada invasivo sobre el silo bolsa, ya que se instala al realizarse el almacenamiento del cereal y permanece allí hasta su posterior vaciado.

Así mismo, el sistema permite la toma de datos de forma remota, sin intervenir físicamente sobre el silo bolsa.

Es por esto por lo que su diseño resultó ser seguro, robusto y sencillo. Solo requiere de que en el lugar, haya instalación eléctrica cercana y conexión a internet.

A continuación, se detallan los gastos que fueron necesarios para la realización de este proyecto y posteriormente se expresará el costo final del equipo para el público en general.

4.1. Detalle de costos

Materiales

Producto	Cant.	Precio Unitario	Total
Placa Arduino Mega 2560	1	\$ 715,00	\$ 715,00
Placa Arduino Nano	6	\$ 205,00	\$ 1.230,00
Shield Comunicaciones Ethernet Arduino W5100	1	\$ 470,00	\$ 470,00
Conversor Rs485 Ttl Max485 Transceiver Arduino Mona	7	\$ 70,00	\$ 490,00
Enlaces Wifi Tp Link - Cpe210	1	\$ 2.000,00	\$ 2.000,00

Sensor Humedad Relativa Y Temperatura Dht22	7	\$ 250,00	\$ 1.750,00
Sensor De Dióxido De Carbono MQ135	7	\$ 200,00	\$ 1.400,00
Lanza Acero inoxidable 63,5 Mm (2 1/2) X 1,2 Mm. 1 Metro	7	\$ 550,00	\$ 3.850,00
Gabinete PVC 20 x 10 x 10	1	\$ 400,00	\$ 400,00
Cable UTP exterior - Cat6 -exterior - Kelyx	100	\$ 12,00	\$ 1.200,00
Varios: cables, conectores, fichas, prensacable, otros	1	\$ 1.000,00	\$ 1.000,00
TOTAL			\$ 14.505,00

Tabla 4: Costo de materiales

Se debe tener en cuenta que estos productos fueron adquiridos en calidad de minorista, por los que si se compran en mayores volúmenes, el costo será considerablemente menor, reduciendo así los costos de material.

Mano de obra

Actividad	Horas	Precio/hora	Total
Desarrollo	300	\$ 300	\$ 90.000,00
Compra materiales	5	\$ 250	\$ 1.250,00
Montaje y pruebas	50	\$ 300	\$ 15.000,00
TOTALES	355		\$ 106.250,00

Tabla 5: Costo mano de obra

La cantidad total de mano de obra necesaria para el desarrollo completo del sistema desarrollado es de 355 horas hombre.

Como se observa, el impacto que tendría este costo sobre el costo final del producto sería muy fuerte, arrojando un total de \$ 120.755,00.

Total

El valor aproximado de \$ 120.755,00 se compone de un 88% por mano de obra y un 12% por materiales. Sin embargo, al considerar un estimativo de ventas para el primer año de comercialización en 10 unidades, el valor de producción de cada una sería \$ 35.000,00 aproximadamente, lo cual es un costo mucho más razonable. La proporción en este caso sería de 60% por mano de obra Y 40% de materiales.

Capítulo 5. Discusión y Conclusión.

Como objetivo del proyecto, se planteó el desarrollo de un sistema para monitorear el estado de almacenamiento de un silo bolsa, mediante el censado de ciertas variables indicadoras que intervienen en los procesos biológicos presentes en su interior.

En este sentido, se cumplieron con creces dichos objetivos, ya que el sistema desarrollado además de obtener la información, la almacena y muestra empleando un medio de acceso global como lo es internet. Además, se incorporó una funcionalidad de envío de una alerta ante la detección de valores fuera de rango.

Pero el mayor potencial del sistema desarrollado reside en el registro del estado del silo bolsa en una base de datos, permitiendo utilizar dichos datos como fuente de información para realizar análisis de tipo estadísticos, predictivos, etc.

Por otro lado, una importante característica del sistema es que permite realizar la toma de datos de forma continua, y en el instante que se lo precise. Esto es una importante ventaja sobre otros sistemas de control disponibles en mercado, donde la toma de datos debe realizarse de forma manual leyendo uno a uno los sensores, lo que implica un mayor esfuerzo operativo, y limita la frecuencia con que puede recabarse la información. Además, este tipo de soluciones ofrecen resultados incompletos, ya que sólo miden una de las variables (dióxido de carbono).

Si bien el sistema presentado se trata de un prototipo funcional, ante las pruebas realizadas respondió de forma apropiada, logrando obtener en todo momento los resultados esperados.

En cuanto al aspecto constructivo, podemos destacar su robustez y fiabilidad en la toma de datos ya que, al estar destinado al uso exterior, se emplearon medios "cableados" para la comunicación entre los módulos, evitando así cualquier error en la transmisión interna de datos. Pero a su vez, esto significó uno de los principales problemas en el diseño, ya que las distancias entre maestro y esclavos (10 metros aproximadamente) resultaron excesivas para el puerto de comunicaciones que integran los controladores empleados. Para resolver este problema, se implementó como capa física de comunicaciones el protocolo RS485, que permite una distancia máxima teórica de 1.200 metros.

Otro tema importante a resolver fue la comunicación del sistema con los servidores virtuales alojados en "la nube" ya que generalmente, en los sitios donde se emplazan los silo bolsa (campo, alejado de los centros urbanos), la conectividad a internet es deficiente. Para reducir este inconveniente se diseñó el sistema de forma tal que la salida a internet se obtiene mediante un punto de acceso ethernet, sin importar como el mismo sea logrado, permitiendo emplear componentes de conexión LAN/WAN habituales.

Una forma de resolver este aspecto de la conectividad sería mediante un servicio de acceso satelital, lo cual, si bien implica un mayor costo económico, posibilitan la

conexión a internet de aquellas zonas rurales que no posean otras formas de cobertura. -

Como se mencionó en el inicio del capítulo, el sistema desarrollado presenta su mayor potencial en la obtención y registro de datos, y en el tratamiento que se les pueda dar a los mismos. En la versión implementada, éstos sólo se consumen para mostrar en una página web el estado del silo bolsa (y las variaciones de sus valores), y para disparar un alerta vía mail ante la detección de valores fuera de rango. Pero su potencial es mucho mayor, ya que se puede pensar por ejemplo en analizar los factores internos que produzcan una disminución de la calidad del grano almacenado, estudios estadísticos que provean información sobre las condiciones óptimas de llenado y vaciado de las bolsas, etc. Estos desarrollos quedan pendientes para futuras mejoras del sistema.-

Otro desarrollo que no se implementó pero queda planteado, es la incorporación de una aplicación móvil que permita al usuario visualizar el estado del silo bolsa, desde un dispositivo personal como puede ser su celular o Tablet. Desde esta misma aplicación, podría además recibir alertas ante valores fuera de rango (que hoy se comunican vía mail) mediante notificaciones push.-

Como mejora a las prestaciones del equipo, incluimos a continuación un estudio realizado para incorporar un kit de alimentación eléctrica generada mediante energía solar.

5.1. Alimentación mediante energía solar

5.1.1. Introducción

La energía solar, es una fuente ilimitada de energía natural que tiene importantes propiedades y ventajas sobre muchas otras fuentes de energía. Lo más importante de esta energía pura, y que se puede destacar como una gran ventaja, es que principalmente es de naturaleza inagotable, renovable y de utilización libre. Pero, para su utilización, es necesario tener en cuenta su naturaleza intermitente, su variabilidad fuera del control del hombre y su baja densidad de potencia a la hora de su recolección.

Para ilustrar mejor lo anterior, cabe resaltar y tener en cuenta además de sus ventajas, sus dificultades, las cuales conllevan a la necesidad de transformar esta energía natural en otra forma de energía para su almacenamiento y posterior uso.

5.1.2. Objetivo

Es objetivo de este apartado brindar la opción de alimentar a nuestro proyecto mediante un sistema de alimentación solar. El mismo, tiene como finalidad proveer una fuente de alimentación independiente de la red eléctrica, de bajo mantenimiento y bajo costo.

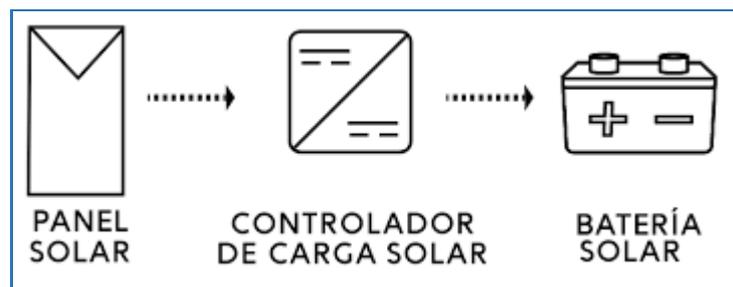


Fig. 100: Esquema alimentación solar

5.1.3. Determinación de potencia

Para el diseño, es necesario primeramente determinar el consumo total de los dispositivos que integran nuestro proyecto.

A continuación, se muestra una tabla con la potencia requerida por cada uno de los componentes, identificados según sean del módulo maestro o de los esclavos, y el total del sistema para un silo bolsa (compuesto por 1 maestro y 6 esclavos).

Componente	Maestro		Esclavo	
	Cantidad	Consumo total (Wh)	Cant o.	Consumo total (Wh)
Placa Arduino Mega	1	0,5		
Placa Arduino Nano			6	0,6
Sensor de humedad y temperatura dht22 Arduino	1	0,00025	6	0,0015
Sensor de dióxido de Carbono MG811	1	0,8	6	4,8
Convertor RS485 Ttl Max485 Transceiver Arduino Mona	1	0,00025	6	0,0015
Shield comunicaciones Ethernet Arduino W5100	1	0,915		
Enlace Wifi punto a punto TPLink cpe210	1	0,5		
Consumo Total Maestro		2,7155		
Consumo Total 6 esclavos				5,403

Tabla 6: Tabla potencias requeridas por módulo

Lo que hace un total de 8,1185 Wh (8,1185 watts por hora) por cada silo bolsa en la que es instalado.

5.1.4. Cálculo capacidad total de las baterías

Una vez que hemos determinado el consumo que demanda nuestro proyecto, debemos fijar qué tiempo de autonomía queremos obtener para alimentar a nuestro sistema. Como el panel solar entrega energía durante cierta cantidad de horas al día, tenemos que almacenar la energía captada durante ese tiempo en baterías, para que nuestro sistema esté funcionando las 24 horas del día.

Para el diseño, vamos a suponer una autonomía de 1 día. Entonces, vamos a calcular, mediante la siguiente fórmula, que capacidad total de corriente debe tener nuestra batería (o banco de baterías) para alimentar durante 1 día a nuestro sistema.

$$Capacidad\ total = \frac{Demanda\ energía\ \left(\frac{Wh}{día}\right) \times días\ de\ autonomía}{Pd \times Tensión\ de\ batería} \times Pérdidas$$

Donde:

- Demanda de energía (Wh/día) = energía total que demanda nuestro sistema en un día. Como calculamos, consume 8,1155 Wh, en un día serían 194,84 Wh/día (redondearemos a 195 Wh/día).
- Días de autonomía = la autonomía en días que queremos (en nuestro diseño vamos a suponer 1 día de autonomía)
- Pérdidas: son las pérdidas de energía (debido a los cables, conexiones, distancias, etc.). Que se estima aproximadamente en un 15%
- Pd = Profundidad de descarga de las baterías (en nuestro caso, vamos a utilizar baterías de electrolito absorbido y se estima en un 70%)
- Tensión de la batería = en nuestro sistema, vamos a utilizar baterías de 12V.

Entonces, si reemplazamos los valores en nuestra fórmula,

$$Capacidad\ total = \frac{195 \left(\frac{Wh}{día}\right) \times 1\ día}{0,7 \times 12\ V} \times 1,15 = 26,7\ Ah$$

O sea, nuestro banco de baterías debe ser capaz de entregarnos 26,7 Ah en un día.

5.1.5. Cantidad de baterías

Elegimos baterías de electrolito absorbido de 12 V – 7Ah, entonces, hacemos el siguiente cálculo para determinar la cantidad de baterías necesarias para cumplir con esa demanda de corriente:

$$\text{Cantidad de baterías} = \frac{\text{Capacidad total}}{\text{Capacidad de cada batería}}$$

Calculando:

$$\text{Cantidad de baterías} = \frac{26,7 \text{ Ah}}{7 \text{ Ah}} = 3,81 \text{ baterías}$$

De esta manera, determinamos que necesitamos 4 baterías para entregar a mi sistema la energía necesaria para que esté funcionando autónomo durante, aproximadamente, 24 horas.

El banco de baterías debe estar compuesto entonces, por 4 baterías en paralelo, de manera que entregue 12 V y 28 Ah.

5.1.6. Panel Solar

El siguiente paso en nuestro diseño, es determinar que panel solar vamos a utilizar que sea capaz de cargar a nuestro banco de baterías durante las horas en la que hay luz solar. Para tal propósito, debemos tener en cuenta el tiempo en que hay radiación solar efectiva en la zona donde va a ser instalado. En nuestro país ronda las 4 horas promedio.

Para la carga de las baterías, se debe intercalar un regulador de carga entre el panel y nuestro banco de baterías. La función que cumple el regulador, es de cortar el paso de corriente cuando las baterías están cargadas y no dejar circular corriente inversa de las baterías hacia el panel solar. En otras palabras, optimiza la vida útil de las baterías y protege al panel solar.

Dependiendo de cuál regulador se usaría, se producen pérdidas, y determina de esta manera, la eficiencia del mismo. En nuestro diseño, usaremos un regulador PWM Solarline 12 V - 10A que tiene una eficiencia del 80%.

La potencia que nuestro panel solar debe generar en un día, se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Potencia panel por día} = \frac{\text{Potencia requerida}}{\text{Eficiencia regulador}}$$

$$\text{Potencia panel por día} = \frac{195 \text{ W/día}}{0,8} = 243,75 \text{ W/día}$$

O sea, nuestro panel nos debe entregar 243,75 W en el día, para cargar nuestro banco de baterías. Y teniendo en cuenta que son 4,5 h las horas de radiación solar efectivas, obtenemos:

$$\text{Potencia panel por hora} = \frac{\text{Potencia panel por día}}{\text{Cantidad de horas de radiación}}$$

Y así nos da la potencia del panel solar:

$$\text{Potencia panel} = \frac{243,75 \text{ W/día}}{4,5 \text{ hs}} = 54,16 \text{ Wh}$$

Comercialmente, encontramos el panel solar Solarline CP-60P que nos entrega 85W y una corriente a máxima potencia de 3,3 Ah. Por lo tanto, como necesitamos 28 Ah para cargar nuestro banco en 4,5 h (lo que da 6,22 Ah), conectaremos en paralelo a dos paneles CP-60P para obtener así 6,60 Ah y asegurarnos de lograr la carga necesaria.

5.1.7. Elevadores/reguladores de tensión

Nuestro proyecto, debe alimentarse con diferentes tensiones de acuerdo a los dispositivos utilizados. El Arduino y los sensores, se conectan a 5V y el enlace Wifi cpe210 a 24V.

Se conecta a la salida del banco de baterías, un regulador 7805, quien nos entrega 5V regulados, para energizar así, tanto al Arduino como a los sensores.

En el caso del cpe210, necesitamos elevar la tensión de 12V a 24V y lo logramos mediante un convertidor XL6009.

5.1.8. Diagrama de conexión

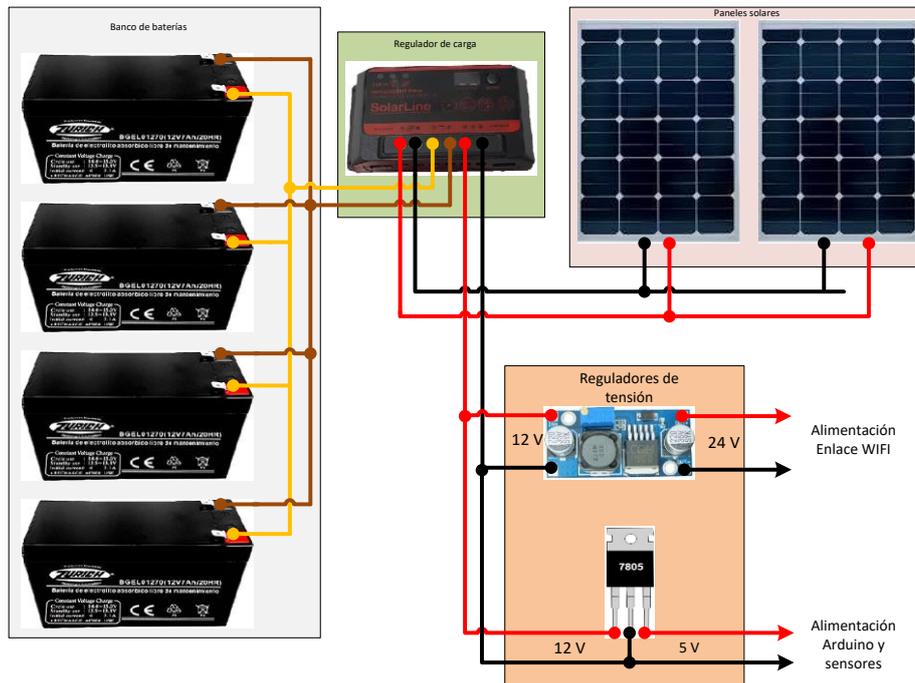


Fig. 101: Diagrama general del sistema de alimentación solar

5.1.9. Cálculo de costos

A continuación se estiman los costos para alimentar el proyecto para un silo bolsa.

Componente	Cantidad	Precio Unitario	Total
Panel Solar 60W Solarline CP-60P	2	\$ 3.000,00	\$ 6.000,00
Regulador de carga Solarline 12V 10A	1	\$ 995,00	\$ 995,00
Batería gel 12V – 7Ah	4	\$ 700,00	\$ 2.800,00
Regulador de tensión 7805	1	\$ 25,00	\$ 25,00
Convertidor elevador de tensión XL6009	1	\$ 125,00	\$ 125,00
Cables y conectores		\$ 300,00	\$ 300,00
Total			\$ 10.245,00

Tabla 7: Cálculo de costos

Capítulo 6. Literatura Citada.

6.1. Referencias

- Publicación INTA “Almacenamiento de granos secos en silobolsa”. Behr E. y Zapata L. 2017. Serie Extensión INTA Paraná.
- ABADIA B. Y R. BARTOSIK 2013. Manual de buenas prácticas en poscosecha de granos. Ediciones INTA. Buenos Aires.
- BARTOSIK R. 2014. Origen, presente y futuro del silobolsa argentino en granos. SAC. XVI Expo poscosecha de granos y semillas.
- Sitio web Revista Chacra – “La importancia del monitoreo de la bolsa en poscosecha”. <http://www.revistachacra.com.ar/nota/la-importancia-del-monitoreo-de-la-bolsa-en-la-poscosecha>
- Almacenaje de Soja en Silobolsa: Evaluación Económica y Distribución Óptima de Ventas. Autor/es: Martin Hansen (Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Mar Del Plata), Hernan Urcola y Ricardo Bartosik (Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria, EEA Balcarce), Argentina
- Almacenamiento en Silo Bolsa y Calidad del Grano. Autor/es: Ricardo Bartosik; Leandro Cardoso; Diego de la Torre y Bernadette Abadía. EEA INTA Balcarce, Argentina. 17/11/2015, para el 1º Congreso Internacional de Almacenamiento de Granos en Silo Bolsa realizado en Mar del Plata / Balcarce, octubre de 2014.-
- Modelización de la distribución de la temperatura y humedad en granos almacenados en silos-bolsa. Analía Gastón, Rita Abalone, Armando Cassinera, Miguel. Consejo de Investigaciones Universidad Nacional de Rosario, Facultad de Ciencias Exactas, Ingeniería y Agrimensura. Instituto de Física Rosario
- Almacenaje de girasol con diferentes contenidos de humedad en silo bolsa. Enviado para su publicación en el Primer Congreso Internacional de Almacenamiento de Granos en Silo Bolsa. Hotel Presidente Perón, 13 al 16 de Octubre de 2014. Mar del Plata, Argentina.
- Cardoso, M.; Bartosik, R.; Rodriguez, J. 2007. Estudio de la evolución de la humedad de los granos individuales en silo bolsas de maíz y soja. IX Congreso Argentino de Ingeniería Rural y I del MERCOSUR. 19-22 septiembre de 2007, Córdoba, Argentina.
- <https://www.infocampo.com.ar/el-gobierno-proyecta-140-millones-de-toneladas-para-la-campana-agricola-2018-2019/>

6.2. Imágenes

- Fig 1: Estimación de producción de granos para la campaña 2018/19. Fuente: Sitio web Infocampo. www.infocampo.com.ar/wp-content/uploads/2018/11/unnamed-1.jpg
- Fig 2: Silobo bolsas instaladas en campo. Fuente: Sitio web Infocampo. <https://www.infocampo.com.ar/tag/barcazas-de-granos>

- Fig 3: Principales factores que afectan la respiración de los granos y microorganismos. Fuente: Publicación Factores que afectan la concentración de dióxido de Carbono en el aire intersticial de trigo almacenado en bolsas plásticas herméticas. Juan Rodríguez, Ricardo Bartosik, Leandro Cardoso, Diego Croce. INTA EEA Balcarce, Universidad Nac. de Mar del Plata, Facultad de Agronomía.
- Fig. 4: Silo bolsa instalado en campo- Fuente: Sitio web Diario La Nación. <https://www.lanacion.com.ar/economia/campo/vuelve-disputa-productores-gremio-silobolsas-denuncian-amenazas-nid2203769>
- Fig. 5: Silo bolsas- Fuente: Sitio web Agromas. <http://www.agromas.com.uy/productos/ipesasilo.html>
- Fig. 6: Llenado de Silo bolsa. Fuente: Sitio web Qseeds. <https://qseeds.com.ar/poscosecha-de-maiz-pautas-para-el-almacenaje-seguro-en-silo-bolsa/>
- Fig. 7: Noticia robo a silo bolsas. Diario “La Razón”, de Chivilcoy. Fuente: Sitio noticias La Razón de Chivilcoy. <https://www.larazondechivilcoy.com.ar/locales/2018/11/10/roban-20-mil-kilos-de-soja-danan-dos-silos-bolsas-106201.html>
- Fig. 8: Sitio web Agrovoz. <http://agrovoz.lavoz.com.ar>
- Fig. 9: Publicación Almacenaje de maíz, trigo, soja y girasol en bolsas plásticas herméticas. Bartosik , Ricardo, Juan Carlos Rodríguez, Hector Malinarich y Leandro Cardoso. INTA EEA Balcarce.
- Fig. 10: Publicación monitoreo de Silobolsas Mediante medición de CO₂, Bartosik et al., 2010
- Fig. 11: Publicación monitoreo de Silobolsas Mediante medición de CO₂, Bartosik et al., 2010
- Fig. 12: Publicación monitoreo de Silobolsas Mediante medición de CO₂, Bartosik et al., 2010