



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA

**“MONITOREO DEL PROCESO DE CULTIVO DE MICROALGAS POR
MEDIO DE UN SISTEMA SCADA INCORPORANDO REDES
INALÁMBRICAS DE SENSORES”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO INDUSTRIAL

PRESENTA

OLEA HERNÁNDEZ DAVID MARTINIANO

DIRECTOR

M.C. MOISÉS MANZANO HERRERA

CODIRECTOR

DR. JOSÉ ALFREDO CARAZO LUNA

HUAJUAPAN DE LEÓN, OAXACA, MARZO DE 2020

DEDICATORIA

A Dios, mi escudo, roca fuerte y fortaleza.

A mis padres, Azucena Hernández Nava y Juan David Olea Vera por su esfuerzo, trabajo, apoyo y cariño incondicional. Gracias por estar siempre a mi lado, consejos y su guía para terminar mi carrera profesional.

A mis hermanas, Lucia y Tamar, las dos pequeñas, gracias por motivarme, su apoyo y estar conmigo en todo momento.

A mis abuelos paternos, Teresa Nava Moreno, Floriberta Vera Martínez, Martiniano Olea Olozagaste y Gregorio Hernández Paz por su amor, consejos, por ser ejemplo, llevarme en sus oraciones y por compartir de su sabiduría.

A la familia Olea Vera y Hernández Nava, a cada uno de los miembros que se han preocupado de mí en todo momento, cariño y su apoyo ante las adversidades de la vida para salir victorioso.

A la Lic. Reyna Ortiz Escamilla, por ser parte esencial en el primer acercamiento con la institución y mostrarme los portentos del mundo universitario.

Al M.C. Moisés Manzano por apostar por mí y su apoyo en la etapa final de la carrera universitaria.

A mis amigos, Daniela García Cuevas, Citlalli Martínez Ramírez, Diana Olea Ávila, Carlos Cruz Ortiz, Lidio Ziga Rosette y Carlos Juárez Meneses, por estar conmigo en situaciones de adversidad, triunfos, compartir de alegrías y por todo su apoyo.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por la oportunidad de vivir esta experiencia y compartir el éxito con mis seres queridos.

Agradezco a mis padres y hermanas por brindarme su ayuda y apoyo en todo momento, gracias a ustedes fue posible hacer este trabajo.

A la Universidad Tecnológica de la Mixteca, al Dr. Modesto Seara, directivos, personal administrativo, catedráticos, miembros de seguridad y áreas de servicios por las facilidades brindadas durante la estancia en esta etapa.

A los miembros de la carrera de Ingeniería Industrial, Dr. Álvaro J. Mendoza Jasso, Dr. Ignacio Hernández Castillo, M.C. Moisés Manzano Herrera, Dr. J. Alfredo Carazo Luna, Dra. Orquídea Sánchez López, Dr. Mario Márquez Miranda, M.C. Salvador Montesinos González, M.D. Elizabeth Duarte Beltrán, M.I.A. Carlos Vázquez Cid de León y E. Soraya Gómez Cruz por su guía, motivaciones, por escucharme y brindarme sus consejos a lo largo de los años.

Al profesor M.C. Moisés Manzano Herrera, gracias por darme la oportunidad, compartir de su tiempo a pesar de su trabajo, por su paciencia y por creer en mí para desarrollar el trabajo de tesis, siendo el director de tesis quien en todo momento estuvo al pendiente. Al codirector Dr. Alfredo por su apoyo y confianza.

A los sinodales, Dr. Conrado Aguilar Cruz, M.C. Salvador Montesinos Gonzales, Dr. Mario Márquez Miranda y el Dr. Álvaro Jesús Mendoza Jasso que realizaron las observaciones necesarias para el desarrollo completo del proyecto.

A los profesores de los cuerpos académicos UTMIX-CA-37 y UTMIX-CA-21, a los profesores Dr. Rogelio Valadéz Blanco y la Dra. Paula C. Guadarrama Mendoza, que me permitieron contribuir con el proyecto de “Energías Renovables y Recursos Sustentables” y aprender de las diferentes áreas involucradas.

RESUMEN

El presente trabajo de tesis contribuye, desde la perspectiva de la ingeniería industrial, al proceso del cultivo de microalgas, mediante el diseño, desarrollo e implementación de un sistema de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA), con base en los principios de mejora, eficiencia y adaptación de la tecnología.

El diseño del sistema partió de la revisión de artículos científicos relacionados con temas en el campo de estudio de las microalgas, su cultivo, la obtención de productos a partir de su biomasa, redes de comunicación y sistemas de monitoreo. Asimismo, se realizó la consulta de libros sobre los principios de los sistemas de supervisión, control y adquisición de datos, se consultaron manuales de operación del hardware utilizado, así como normas relacionadas con la interacción de las personas, su entorno y herramientas de trabajo.

En la etapa de validación del sistema se contó con la colaboración del equipo de trabajo del Proyecto OTU, quienes lo emplearon como apoyo para el estudio que realizan en relación con las actividades que conforman la investigación y desarrollo de su prototipo. OTU es un grupo de egresados de nuestra Universidad de la Maestría en Tecnología Avanzada de Manufactura que desarrollan, con apoyo de una organización externa, un prototipo que emplea microalgas para su funcionamiento. Este proyecto es independiente al desarrollado en nuestra universidad.

El sistema SCADA fue desarrollado con el software LabVIEW, incorpora una interfaz gráfica, tendencias, alarmas y se consideraron componentes que facilitan su escalabilidad. Para la adquisición de datos, el sistema integra nodos inalámbricos de sensores y un cDAQ de la marca National Instruments. Para su validación se obtuvieron datos de temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad, para el monitoreo de los sistemas de cultivo. De esta forma se contribuye con el proceso productivo en el marco del proyecto: “Energías Renovables y Productos Sustentables”, a cargo de un grupo multidisciplinario de profesores-investigadores de la Universidad Tecnológica de la Mixteca que conforman dos Cuerpos académicos (UTMIX-CA-37: Ingeniería Industrial y entorno y el UTMIX-CA-21: Ciencias Químico-Biológicas), orientados a desarrollar una planta piloto para la obtención de biocombustibles, con la cual se espera generar un impacto dentro de la institución educativa y en la región mixteca. Este último proyecto es el que da origen a la presente tesis.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE FIGURAS.....	VII
ÍNDICE DE TABLAS.....	VIII
GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS.....	IX
CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Definición del Problema.....	2
1.2 Justificación.....	4
1.3 Hipótesis.....	5
1.4 Objetivos de la investigación	5
1.4.1 Objetivo General:.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos:.....	6
1.5 Descripción del Método y Diseño	6
CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN	8
2.1 Antecedentes	8
2.2 Marco Teórico	9
2.2.1 SCADA	9
2.2.2 Redes inalámbricas de sensores	13
2.2.3 LabVIEW	15
2.2.4 Microalgas	16
2.2.5 Sistemas de cultivo	17
2.2.6 Sensores y actuadores	18
CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA SCADA.....	19
3.1 Planeación	19
3.1.1 Principio de operación del sistema de cultivo.....	19
3.1.2 Preparación de FBR y puesta en marcha del cultivo de microalgas.....	20
3.2 Desarrollo del concepto.....	21
3.2.1 Variables a monitorear.....	21
3.2.2 Sensores para la adquisición de datos.....	21
3.2.3 Tareas de control del sistema SCADA	24
3.3 Diseño a nivel sistema.....	24
3.3.1 Tareas principales de adquisición de datos y control	25
3.3.2 Funciones en modo manual y automático	25

3.4 Diseño a detalle.....	26
3.4.1 Diseño del sistema SCADA	26
3.4.2 Diseño y programación de sistema de alarmas.....	27
3.4.3 Diseño de análisis de tendencias y adquisición de datos.....	31
3.4.4 Diseño e implementación de la interfaz gráfica	32
3.4.5 Integración del sistema de comunicaciones	38
3.5 Pruebas y refinamiento.....	40
3.5.1 Primera prueba	41
3.5.2 Segunda prueba	47
3.5.3 Tercera prueba	53
3.6 Documentación	54
CAPITULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES	55
4.1 Resultados	55
4.2 Conclusiones.....	55
4.3 Trabajo a futuro.....	56
REFERENCIAS	57
ANEXOS.....	60
Anexo A Programación Waspnote.....	60
Anexo B Programación SCADA en LabVIEW.....	71
Anexo C Manual de usuario Sistema SCADA	84

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Metodología	6
Figura 2. Funciones del sistema SCADA	10
Figura 3. Sistema SCADA	11
Figura 4. Topologías de las redes inalámbricas de sensores	14
Figura 5. Software LabVIEW.....	15
Figura 6. Visión general de sistemas de biorrefinerías de microalgas.....	16
Figura 7. Representación esquemática del sistema fotobiorreactor	18
Figura 8. FBR utilizado para el cultivo de microalgas.....	20
Figura 9. Puesta en marcha del cultivo de microalgas en el FBR.....	20
Figura 10. Waspote Smart Water.....	22
Figura 11. Partes de un Sistema DAQ	23
Figura 12. Diseño SCADA para el cultivo de microalgas.....	26
Figura 13. Niveles de señalización tipo semáforo del sistema SCADA	28
Figura 14. Colores a utilizar en la alarma visual.....	29
Figura 15. Funcionamiento de la señal visual del estado en los tres niveles	30
Figura 16. Gráfica para mostrar los datos	31
Figura 17. Estructura HMI	33
Figura 18. Vista general de la primera versión HMI	35
Figura 19. Partes HMI primera versión	36
Figura 20. Pestaña "Detalle" HMI primera versión	36
Figura 21. Pestaña "Alarmas" HMI primera versión	37
Figura 22. Pestaña "Archivo" HMI primera versión.....	38
Figura 23. Logotipo de OTU.....	40
Figura 24. Estructura HMI segunda versión	42
Figura 25. HMI segunda versión	42
Figura 26. Mejoras HMI segunda versión.....	43
Figura 27. Pestaña "Detalle" HMI segunda versión.....	44
Figura 28. Pestaña "Alarmas" HMI segunda versión.....	45
Figura 29. Incorporación de la hora de medición	45
Figura 30. Pestaña "Archivo" HMI segunda versión	46
Figura 31. Pestaña "Plano UTM" HMI segunda versión	47
Figura 32. Segunda prueba	47
Figura 33. Estructura HMI tercera versión.....	49
Figura 34. Pantalla principal HMI tercera versión.....	49
Figura 35. Sin conexión pc-nodo sensor.....	50
Figura 36. Valor máximo y mínimo en gráfica	51
Figura 37. Pestaña "Configuración"	52
Figura 38. Pestaña "+"	53
Figura 39 Presentación de datos	53
Figura 40. Manual de usuario SCADA MCM.....	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Comparación de protocolos de comunicación	15
Tabla 2. Funciones del sistema SCADA	25
Tabla 3. Colores para los elementos de información.....	27
Tabla 4. Principios básicos del diseño	32
Tabla 5. Comparación TCP y UDP	39

GLOSARIO DE TÉRMINOS Y ABREVIATURAS

BlueTooth: Sistema de bajo consumo energético para conectar equipos electrónicos entre sí y a Internet mediante señales de radio.

DAQ: *Data acquisition.*

FBR: Fotobiorreactor. Sistema cerrado para cultivo de microorganismos.

IANA: *Internet Assigned Numbers Authority.*

LabVIEW: *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench.*

LoRaWAN: *Low Power Wide Area Network.*

MTU: *Master Terminal Unit*

NI: National Instruments

PC: *Personal computer.*

PLC: *Programmable Logic Controller.*

QFD: *Quality Function Deployment*

RIS: Redes Inalámbricas de sensores.

RTU: *Remote Terminal Unit.*

SCADA: *Supervisory Control And Data Acquisition.*

SigFox: Protocolo ligero para manejar mensajes pequeños.

TCP *Transmission Control Protocol.*

UI: *User interface.*

UDP: *User Datagram Protocol.*

UTM: Universidad Tecnológica de la Mixteca.

WiFi: *Wireless Fidelity.*

WSN: *Wireless Sensor Network.*

ZigBee: Conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo.

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

Hoy en día se presentan diferentes problemas con impacto en la vida humana y en el entorno global como consecuencia de malas prácticas relacionadas con la obtención de recursos y productos [1], por lo que es muy importante encontrar alternativas adecuadas que permitan reducir el impacto negativo de la utilización y producción de productos no sustentables, como en el caso de los combustibles fósiles. En este sentido, se ha desarrollado investigación en lo que se conoce como la biorrefinería, la cual es “es una red de instalaciones que integra el proceso de conversión de la biomasa y equipo para producir biocombustibles, energía y productos químicos de la biomasa” [2].

La biomasa puede ser obtenida a partir de las microalgas, se consideran el “cultivo de base biológica del futuro”. Las microalgas son una fuente rica de proteínas, carbohidratos y lípidos [3], lo que ha permitido que sean utilizadas en áreas como la alimenticia, farmacéutica, fabricación de cosméticos y aromatizantes [4]. Además, consumen CO₂ como fuente de carbono, usan la luz del sol para tomar su energía y tienen altas tasas de productividad. “Las microalgas son organismos fotosintéticos procariotas o eucariotas que pueden crecer rápidamente y vivir en condiciones difíciles debido a su estructura multicelular unicelular o simple” [1].

Un sistema automatizado que permita supervisar, controlar y adquirir datos dentro de los procesos, reduce la necesidad de contar de forma permanente con personal dedicado exclusivamente a vigilar y controlar la planta, así como la cantidad de personas requeridas para la recolección y análisis de datos en el sitio. Con tales sistemas es posible contar con la información actualizada necesaria para la toma de decisiones, factor estrechamente relacionado con el papel que tiene un Ingeniero Industrial dentro de una organización, pues éste debe actuar teniendo como eje la mejora y la optimización. Existen diversas herramientas que ayudan a este fin, como por ejemplo el sistema SCADA (*Supervisory Control And Data Acquisition*), se le denomina así “a cualquier software que permita el acceso a datos remotos de un proceso y permita, utilizando las herramientas de comunicación necesarias para cada caso, el control del mismo” [5]. Estos sistemas al integrarse con redes inalámbricas de sensores (RIS) ofrecen múltiples ventajas sobre el cableado industrial tradicional, como la auto organización, despliegue rápido, flexibilidad y procesamiento inteligente [6], todo esto en beneficio de un sistema óptimo que actúe según las variaciones que en el proceso se presenten.

La integración de tecnología en el cultivo de microalgas, como es el caso de los sistemas para adquirir datos, monitorear y controlar procesos, es un factor a considerar, lo que puede significar la obtención de resultados favorables en esta

industria emergente [7]. Actualmente en diferentes partes del mundo existen instituciones que desarrollan y ofrecen soluciones de este tipo como es el caso de la estadounidense Algae Lab Systems y la española Aqualgae. Es importante mencionar que hacerse de los servicios y productos que se ofrecen por parte de las empresas mencionadas conlleva un costo [8], [9] tanto en su adquisición, como en caso de requerir modificaciones o mantenimiento. Desde el punto de vista del usuario estos sistemas son cerrados, ya que él mismo no puede realizar adecuaciones conforme a sus necesidades prescindiendo del proveedor.

A continuación, se presenta el desarrollo del trabajo a través de una breve descripción de los principales capítulos:

Capítulo 1.

En este capítulo se introduce y describe el problema que se presenta y la relación con el estudio e investigación del cultivo de microalgas, la metodología y el objetivo general y los objetivos específicos.

Capítulo 2.

Se incluye una base de referencia a los conceptos, así como la descripción y desarrollo de la teoría que sirve como guía y antecedente del trabajo, enfocado a los elementos, dispositivos, software, principios, parámetros, características y funcionamiento, mediante la consulta de estudios y bibliografía relevantes para obtener el resultado deseado.

Capítulo 3.

En este capítulo se describe a detalle el proceso de diseño y la realización de cada una de las partes que conforman al sistema SCADA, con base en el enfoque de Karl Ulrich para el desarrollo de productos.

Capítulo 4.

Comprende la implementación del sistema SCADA, así como la puesta en marcha del cultivo de microalgas para la obtención, monitoreo y registro de datos de los parámetros establecidos para su medición.

1.1 Definición del Problema

En la búsqueda de alternativas que sustituyan a las prácticas convencionales para la obtención de productos de uso diario y que representan graves consecuencias al ambiente, el cultivo de microalgas toma mayor importancia como una opción para ser considerada en la industria del futuro. Es por ello que en la Universidad

Tecnológica de la Mixteca se está desarrollando investigación al respecto por parte de los cuerpos académicos UTMIX-CA-37 y UTMIX-CA-21, cuyo objetivo es desarrollar una planta piloto para la obtención de biocombustibles. El cultivo de microalgas se puede realizar en sistemas abiertos o cerrados, donde éstos últimos, conocidos como fotobiorreactores, se prefieren cuando se quiere evitar la contaminación del cultivo y mejorar su control. Actualmente dentro del proyecto, se ha logrado producir microalgas en dos fotobiorreactores de diseño propio, sin embargo, la obtención de datos provenientes de los sensores es limitada, lo que dificulta avanzar en las siguientes etapas del proyecto hacia la obtención de productos. Debido a esto, es importante contar con información actualizada durante el proceso de cultivo que permita optimizar los parámetros considerados para la determinación del crecimiento de los microorganismos con los cuales se está trabajando.

El cultivo de microalgas, a diferencia de otras industrias de procesos, involucra organismos vivos, lo que implica una problemática particular. Aquí toma mayor importancia contar con información actualizada en el momento que se produce directamente en el proceso, ya que los microorganismos dependen de una serie de condiciones particulares para su óptimo desarrollo en función del producto que se requiere obtener. Sin embargo, al igual que otras ramas de la manufactura, se trata de un sistema productivo que requiere monitoreo y control de las variables que afectan la producción, tales como oxígeno disuelto, pH, conductividad, temperatura y la intensidad de la luz.

Para determinar las condiciones ideales, resulta necesario realizar pruebas en múltiples situaciones y escenarios, lo cual representa un reto importante disponer de toda la información generada desde la puesta en marcha del cultivo de microalgas y hasta la cosecha, así como poder almacenar todos estos datos para ser consultados cuando sea necesario.

Para contar con las mediciones de los parámetros de los cultivos generalmente se recurre a una técnica manual, acudiendo al lugar en donde se ubica cada uno de los fotobiorreactores para el registro de los factores con repeticiones en periodos de tiempo cortos entre cada medición dentro de las 24 horas diarias, durante la duración de la prueba que generalmente abarca un lapso de varios días. Esto conlleva a dedicar tiempo y disponibilidad de una persona para realizar esta actividad con el fin de llevar un control del proceso y adquisición de datos de manera fiable.

En el caso específico del proyecto en la UTM, el monitoreo, medición y registro implica el desarrollo de una actividad manual y repetitiva llevada a cabo por un profesor-investigador o la persona interesada. Esta actividad está limitada a realizarse en el tiempo que comprende una jornada laboral en la universidad, siendo

ésta la única forma de obtención de información, dificultando así la realización de la tarea durante el tiempo que comprende el horario nocturno.

La toma de decisiones en el momento adecuado es de vital importancia para el buen resultado de la actividad productiva, ésta debe ser fundamentada en datos para justificar la actuación, una respuesta tardía daría lugar a repercusiones negativas que pudieran desencadenar la pérdida del cultivo en estudio con impacto en los objetivos del proyecto y un mal aprovechamiento de los recursos empleados. Es aquí donde impera la necesidad de contar con un sistema SCADA que permita contar con datos fiables en todo momento, sin la necesidad de desplazarse frecuentemente a la ubicación de cada sistema de cultivo y sin el riesgo de perder información valiosa.

1.2 Justificación

La implementación de procesos productivos en los cuales se tenga un buen desempeño y una buena eficiencia, es un tema fundamental en el ámbito de las organizaciones, tomando en cuenta la optimización de recursos. Por otro lado, el impacto negativo de algunas prácticas durante muchos años, ha propiciado que se generen daños hacia el ambiente, con consecuencias irreversibles y detrimentos en la calidad de vida de poblaciones humanas y de múltiples especies animales, algunas de las consecuencias son apreciables en el diario vivir. En nuestro país esta problemática es perceptible de mayor manera en las zonas que integran la Ciudad de México y sus alrededores, donde es evidente la contaminación del agua y del aire. Un factor importante es la predominante utilización de vehículos, empleados no solo en la capital del país sino también en actividades dentro del territorio del estado de Oaxaca y por supuesto en la región mixteca. Es por esto que la orientación general a nivel global es procurar la conservación del entorno, buscando mejores condiciones en cuanto a la producción y a las buenas prácticas, necesarias para un futuro con desarrollo sustentable y sostenible, siendo las microalgas con sus beneficios en distintos sistemas productivos, un medio para ello.

La implementación del sistema SCADA aplicado en el cultivo de microalgas, permitirá tener un proceso monitoreado en todo momento, a la vez que la persona a cargo le será posible tomar las decisiones adecuadas en el momento correcto con base en los datos adquiridos. La información será obtenida por medio de los sensores que conforman el sistema y se encuentran midiendo los parámetros que intervienen en el desarrollo de los organismos, tales como lo son el oxígeno, el pH, la temperatura y la intensidad de la luz. Todo esto permitirá la obtención de mejores cultivos optimizando los recursos. La biomasa así obtenida es la materia prima base

del proyecto “Energías Renovables y Productos Sustentables”, que lo habilitará para seguir su línea de investigación enfocada en el uso de las microalgas con mira a establecer una planta piloto con un proceso que se desarrolle de manera óptima y contribuya a generar alternativas viables de productos generados en la región por medio del uso de los microorganismos.

Es importante considerar que los medios de transmisión de datos con los cuales se cuenta actualmente en la universidad, son una red ethernet cableada complementada con una red inalámbrica. Dadas las circunstancias relacionadas con la distribución de los diferentes edificios, el uso de esta red en conjunto con el sistema SCADA ayudará a la transmisión de datos del estado de los FBR dentro del campus, así como la consulta en línea y a distancia por los distintos equipos de trabajo.

Con este proyecto, se contribuye en la formación de los estudiantes formados en la Universidad Tecnológica de la Mixteca, en particular en lo indicado en el perfil del Egresado en Ingeniería Industrial, en lo referente a que sea capaz de crear, innovar, asimilar y adaptar la tecnología, esto de acuerdo con lo mostrado en la página en línea de la institución, dentro del apartado de la carrera de Ingeniería Industrial [10], a lo cual el presente trabajo se apega.

1.3 Hipótesis

Un sistema SCADA desarrollado con LabVIEW, contribuirá a mejorar el proceso de obtención de información de un sistema de cultivo de microalgas conformado por fotobiorreactores.

1.4 Objetivos de la investigación

En este apartado se presenta el objetivo general y los específicos bajo los cuales se rige este proyecto de tesis.

1.4.1 Objetivo General:

Monitoreo a distancia de los sistemas de cultivo de microalgas por medio un sistema SCADA desarrollado en LabVIEW.

1.4.2 Objetivos Específicos:

- OE1: Diseñar cada uno de los componentes constitutivos del sistema SCADA que permita la obtención de información de los cultivos en proceso.
- OE2: Integrar el sistema de monitoreo a distancia, empleando las herramientas y equipos disponibles en la UTM.
- OE3: Documentación del trabajo desarrollado y elaboración del manual del sistema.

1.5 Descripción del Método y Diseño

Un sistema SCADA se puede ver de manera general como un producto, que atenderá a una necesidad existente en el proyecto de “Energías Renovables y Recursos Sustentables” teniendo como clientes a los profesores y al resto de personas interesadas, es de esta forma que se toma como base una adaptación de la metodología de desarrollo de productos de Ulrich y Eppinger [11] y se le incorporan las fases de desarrollo de un sistema SCADA propuesto por Rodríguez et al. [12]. De esta forma, las principales fases de la metodología para el desarrollo de esta tesis se encuentran contenidos en la Figura 1.

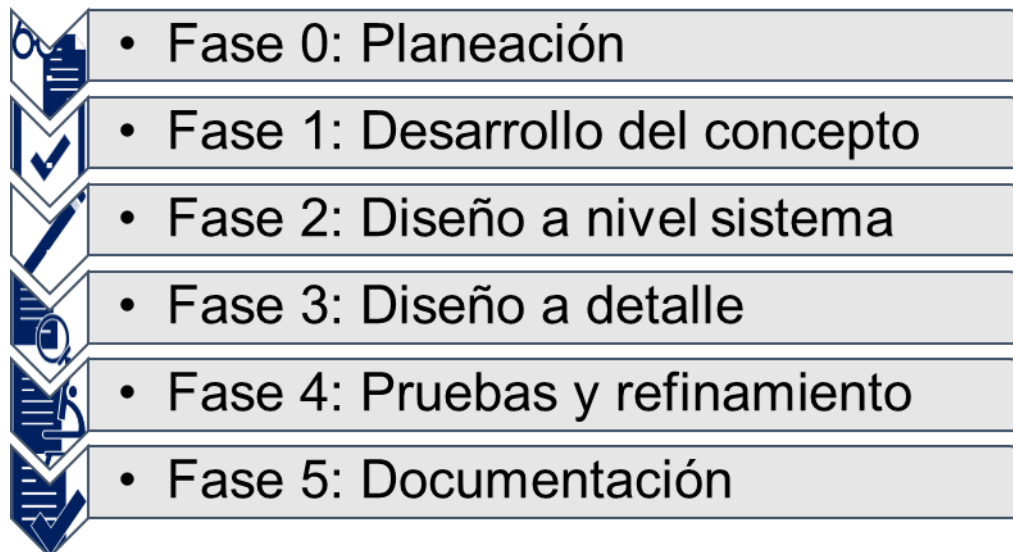


Figura 1. Metodología
Fuente: Con base en [11]

La fase 0 consta de varios puntos, se inició con el estudio del principio de operación del sistema de cultivo y cada uno de los elementos que lo integran, además de la

preparación del fotobiorreactor y se culminó con la puesta en marcha del cultivo de microalgas en el fotobiorreactor, esto con el fin de conocer el proceso para continuar con la siguiente etapa.

De esta forma se dio paso a la fase 1, que constó en la elaboración del listado de las variables a monitorear en el cultivo de microalgas, posteriormente se seleccionaron los sensores para la adquisición de datos tomando en consideración los recursos con los que se cuentan para el proyecto. Por último, se determinaron las tareas de control del sistema SCADA con las características que se considerarían para el diseño.

En la fase 2, el diseño en el nivel sistema consistió en determinar las tareas principales de adquisición de datos y control que permitirían cumplir con el objetivo de estudio de la etapa y las necesidades del proyecto. Por último, se llevó a cabo la asignación de las funciones a realizar en modo manual y en modo automático, de modo que éstas sean las apropiadas conforme a su importancia y prioridad.

La fase 3, diseño de detalle, comprendió en un inicio el diseño y programación de los sistemas de alarmas, análisis de tendencias y adquisición de datos. Así, una vez completado, se continuó con el diseño e implementación de la interfaz gráfica, esto considerando los puntos y normativas adecuadas para tal fin. En el último paso de este apartado, se realizó la integración del sistema de comunicaciones para la transferencia de datos desde la ubicación del fotobiorreactor hasta el sistema SCADA vía ethernet.

Durante la fase 4, con relación a las pruebas y refinamiento, se procedió a realizar la integración de las partes del sistema SCADA, para su posterior puesta en marcha con todos sus componentes y por último pasar a la verificación del correcto funcionamiento de cada subsistema haciendo una colaboración con el proyecto de OTU. Este último tenía por objetivo llevar a cabo el estudio de las microalgas contemplando su desarrollo bajo ciertas condiciones, lo que a su vez permitió realizar las pruebas y validación del presente trabajo.

Por último, la fase 5 de documentación, se incluyó la elaboración de manuales de operación del sistema SCADA con el fin de facilitar su utilización en futuros trabajos. Se incluyeron apartados para el manejo de la interfaz y de cada uno de los componentes de programación.

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

2.1 Antecedentes

Las actividades enfocadas a alcanzar el objetivo que el proyecto de “Energías Renovables y Productos Sustentables” se ha propuesto son múltiples, en la línea de investigación se encuentran tres trabajos que han servido para sentar las bases del presente documento.

En primera instancia, la selección de instrumentos debe ser llevada a cabo de manera adecuada y óptima considerando las necesidades y con una perspectiva a futuro, esto se realizó en la tesis denominada “Instrumentación de un fotobiorreactor de panel tipo *airlift* para el cultivo de microalgas”[13], con la que se establecen los criterios de evaluación y se concluye qué dispositivos son los más apropiados para ser considerados para su inclusión en la investigación relacionada con el proyecto de los cuerpos académicos UTMIX-CA-37 y UTMIX-CA-21. En este trabajo se hace uso del AHP (Proceso Analítico Jerárquico) como técnica para la selección de los instrumentos para asegurar que éstos cumplen con las necesidades del proyecto, se consideran factores como prestaciones, características, precio, entre otros y con base en los resultados de ponderación obtenidos se alcanza la mejor elección de los dispositivos.

En segundo lugar, de acuerdo al orden cronológico, se cuenta con la tesis que lleva por título “Diseño y manufactura de un fotobiorreactor para el cultivo de microalgas” [14], desarrollada por Rodríguez Camacho, ésta tuvo como resultado el diseño y construcción de un fotobiorreactor con capacidad de operación para 25 L, destinado para realización de investigaciones en torno al cultivo de microalgas y la obtención de biomasa. El trabajo se rigió bajo el principio de innovación del diseño para, con la utilización de las herramientas de ingeniería industrial como el Despliegue de la Función de la Calidad (o QFD por sus siglas en inglés), simulación y métodos de selección.

Dentro de las actividades más recientes en el proyecto se cuenta con el trabajo de tesis correspondiente a la “Manufactura de un fotobiorreactor tipo “Airlift” para mejorar la eficiencia productiva en la generación de biomasa algal” desarrollado Ballesteros Briseño [15]. En éste, basándose en el primer diseño, se definen mejoras en la eficiencia de mezclado.

2.2 Marco Teórico

El cultivo de microalgas es un tema que involucra conocimientos en diferentes áreas, tales como el estudio de las microalgas, sus sistemas de cultivo, monitoreo y control del sistema productivo, entre otros. En esta sección se tratan los principales temas relacionados con el presente trabajo de tesis.

2.2.1 SCADA

Para el estudio de las microalgas se han integrado sistemas de adquisición de datos y de control como herramientas para facilitar la operación de plantas productivas, determinar las mejores condiciones de operación y además para ayudar a la generación de conocimiento, utilizando fotobiorreactores y adaptando herramientas para maximizar los beneficios como resultado de la actividad con microalgas [16], [17], ya sea de forma experimental o empleando simulación [18].

Los primeros sistemas de control de supervisión y adquisición de datos basados en computadora (SCADA) fueron desarrollados en los años 60 para resolver los problemas que se presentaban en las fábricas mediante la aplicación de la automatización [5], [19], donde el personal encargado de realizar la tarea contaba con luces, registradores de gráficos y paneles de medidores con los cuales de manera manual y por medio de perillas monitoreaba el proceso que se llevaba a cabo en la fábrica. Conforme el tiempo ha transcurrido, también los sistemas SCADA han ido evolucionando debido al cambio del entorno industrial, conservando algunos dispositivos utilizados en los primeros sistemas [20].

Un sistema SCADA permite el monitoreo y medición, son empleados en industrias como la de generación y transmisión de electricidad, industria química y petroquímica, transporte, producción de aceite, gas y acero, así como también en el campo de la investigación y desarrollo. Los sistemas SCADA realizan cuatro funciones principales (ver Figura 2), los sistemas actuales tienen como característica el que utilizan comunicaciones a larga distancia [21].



Figura 2. Funciones del sistema SCADA

Fuente: Con base en [21]

Los sistemas SCADA se constituyen por software y hardware, este último consta de múltiples elementos como sensores a distancia y unidades de terminales remotas (RTU) para la obtención de datos que se envían a subestaciones o a una estación central (MTU) mediante un sistema de comunicación que puede ser por medio de cable, fibra óptica, radio, línea telefónica, microondas e incluso satélite (ver Figura 3). Con la información recibida en la estación central, se emplea una interfaz de operador para visualizar información y ejercer control a distancia donde se emplea una Interfaz Hombre-Máquina (HMI; por sus siglas en inglés) [19], [20].

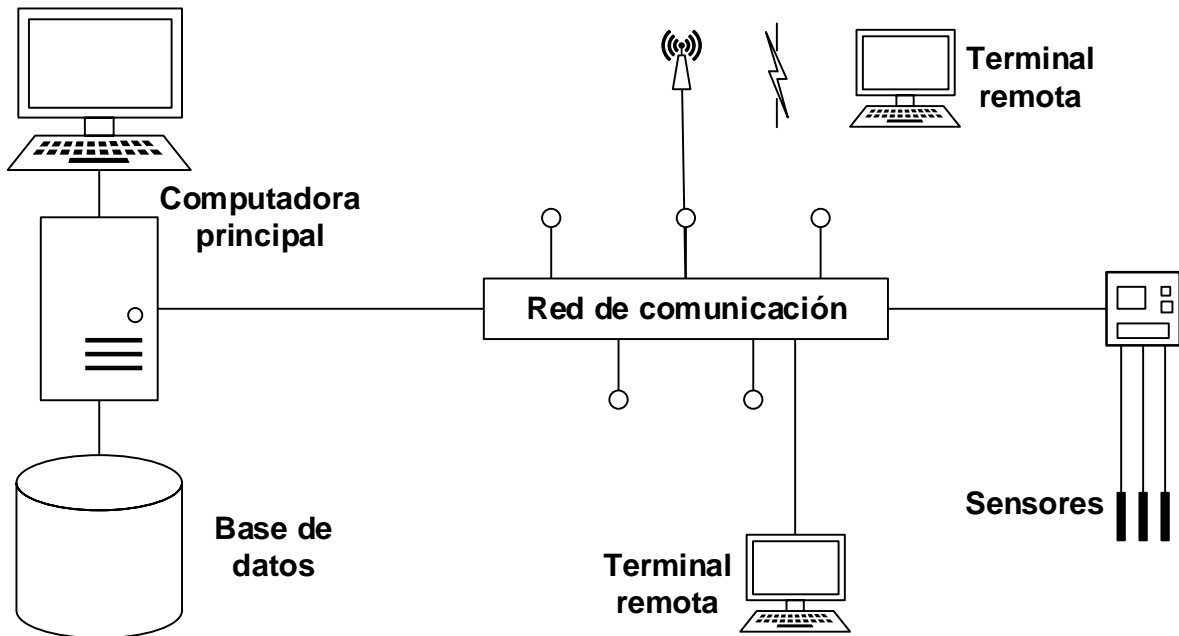


Figura 3. Sistema SCADA
Fuente: Con base en [20]

Los principales componentes que constituyen al hardware de un sistema SCADA son los siguientes [22]:

- Computadora Central o MTU (*Master Terminal Unit*)
Es la computadora principal del sistema que suele ser una PC con la cual se realizan funciones como:
 - Interrogar y transmitir periódicamente a las RTU.
 - Actuar como interfaz del operador, incluyendo recolección y presentación de información de variables históricas o en tiempo real, además de la administración de alarmas.
 - Ejecutar software especializado para realizar las funciones específicas de la supervisión del SCADA.
- Computadoras Remotas o RTU
Están situadas en nodos estratégicos del sistema, reciben las señales de los sensores y comandan los elementos finales de control ejecutando el software de la aplicación SCADA gestionando y controlando subestaciones.
- Red de comunicación

CAPÍTULO 2. FUNDAMENTOS TEÓRICOS DE LA INVESTIGACIÓN

Se gestiona la información que los instrumentos de campo envían a la red de computadoras, el tipo de sistema de transmisión de información o BUS se determinan las necesidades del sistema y el software utilizado. En este sentido cabe señalar que existen sistemas SCADA que mediante la utilización de protocolos de comunicación estándares realizan el intercambio de los paquetes de datos, algunas de las formas de comunicación pueden ser Bluetooth, microondas, satélite y cable.

- Instrumentos de campo
En este apartado se ubican los elementos que permiten se lleve a cabo la automatización o control del sistema, dentro de los cuales se encuentran PLC, controladores de procesos industriales y actuadores, así como los encargados de la captación de información del sistema incluidos sensores y alarmas.

La parte que constituye el software es fundamental debido a que es un medio con el cual se comunican los elementos que conforman el hardware, existen dos tipos y se distinguen por ser abiertos o de propiedad [5], [20]. Los software libres o abiertos tienen una ventaja con respecto a los que se catalogan como de propiedad, esto es debido a que aportan interoperabilidad al sistema, i.e. que tienen “la capacidad de mezclar equipos de diferentes fabricantes” [20] permitiendo contar con un software flexible para la conformación del sistema SCADA.

La integración de un sistema SCADA implica considerar el software de computadora a utilizar. Debido a que se proporcionan componentes básicos específicos para la aplicación, es necesario diseñar, escribir, probar e implementar por separado para cada sistema. El costo del software está en función del tamaño y su naturaleza, debido a que algunos de ellos pueden ser compatibles con diferentes tipos de hardware y software [21].

Los elementos que forman parte del software son: interfaz de usuario, pantallas gráficas, alarmas, datos de tendencias, bases de datos e interfaz RTU. Asimismo, facilitan prestaciones al sistema, tales como escalabilidad, acceso a los datos, comunicación en redes de información, tolerancia a fallas y redundancia, así como el procesamiento distribuido [20].

El autor Rodríguez Penin [5] define los siguientes elementos constitutivos de los sistemas SCADA:

- **Interfaz gráfica:** Permite la elaboración de pantallas de usuario con múltiples combinaciones de imágenes y/o textos, definiendo así las funciones de control y supervisión de planta.
- **Tendencias:** Son las utilidades que permiten representar la evolución de variables del sistema.
- **Alarmas:** Se basan en la vigilancia de los parámetros de las variables del sistema.
- **Escalabilidad:** Este concepto está básicamente relacionado con la posibilidad de ampliar el sistema con nuevas herramientas o prestaciones y los requerimientos de tiempo necesarios para implementar estas ampliaciones.

Las aplicaciones de los sistemas SCADA en procesos son múltiples, por tal razón es que se considera la adición de nuevas tecnologías para contrarrestar los impedimentos que se presentan en algunas instalaciones. Un avance importante, en ámbito de la tecnología de detección inalámbrica, son las redes inalámbricas de sensores (RIS), las cuales cumplen los requerimientos específicos de la producción industrial y proveen mejores condiciones de monitoreo en comparación con los sistemas que utilizan cableado [23].

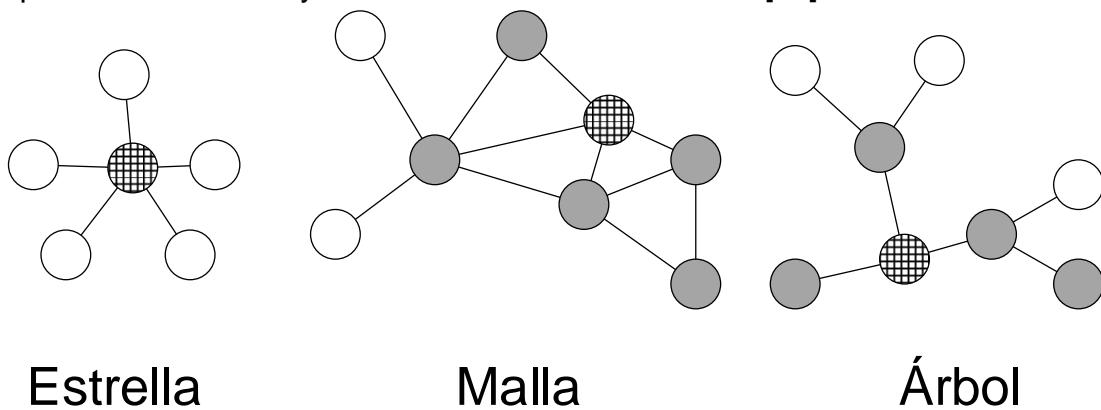
2.2.2 Redes inalámbricas de sensores

Una red inalámbrica de sensores (WSN; por sus siglas en inglés) es un conjunto de nodos, cada uno de ellos conformado por sensores, capacidad de procesamiento y comunicación inalámbrica. Los nodos se distribuyen en un área determinada de acuerdo con el estudio y aplicación de interés, un nodo RIS está conformado por cuatro unidades básicas [24]:

- **Unidad de procesamiento:** Es la parte que controla y coordina las funciones de cada una de las unidades principales.
- **Unidad de censado:** Permite la adquisición de información del medio que se observa.
- **Unidad de alimentación:** Provee la energía requerida para alimentar el nodo.
- **Unidad de comunicación:** Es la parte encargada de intercambiar información utilizando un medio inalámbrico.

La aplicación de redes inalámbricas de sensores no se encuentra restringida a un campo en específico, dentro de las implementaciones se pueden mencionar algunas referentes al monitoreo de la calidad del aire, monitoreo forestal, monitoreo climatológico y monitoreo de la calidad del agua [25].

La ruta de comunicación entre nodos no está predefinida ya que se encuentra en función a la organización de las RIS, para ello se definen tres tipologías de comunicación (Figura 4). La primera es la tipología tipo estrella en la que un nodo tiene la función de coordinar la comunicación con el resto de los elementos que integren la red, de donde es importante señalar que al implementar la tipología de este tipo se suele contar con un nodo con prestaciones superiores a las del resto para pre procesar y transmitir la información, tarea del nodo coordinador. La configuración de tipo malla es la segunda tipología para las RIS, suele ser la implementación más común y cuenta con un número amplio de rutas para comunicarse entre dos nodos lo que permite ser más confiable y agrega redundancia. Por último, se tiene la topología de tipo árbol, que se caracteriza por tener ramificaciones integradas por nodos hoja y nodos intermedios, donde estos últimos hacen la función de enrutador, es importante agregar que en esta tipología se requieren un mayor número de saltos desde el nodo terminal hasta el enrutador lo que deriva en un mayor retardo en las transmisiones [24].



○ Coordinador ● Enrutador ● Nodo Terminal

Figura 4. Topologías de las redes inalámbricas de sensores
Fuente: Con base en [24]

La comunicación entre nodos se realiza por medio de distintos protocolos de comunicación, dentro de estos se encuentra: WiFi (IEEE 802.11), ZigBee (IEEE

802.15.4), LoRaWAN, BlueTooth (IEEE 802.15.1), SigFox, entre otros [24], [25]. Las características principales de estas tecnologías se presentan en la Tabla 1.

Tabla 1. Comparación de protocolos de comunicación

Protocolos	Rango	Tasa de transferencia de datos	Consumo de energía
WiFi	~100 m	11 Mbs	Medio
ZigBee	~10 m	≤0.25 Mbs	Ultra bajo
LoRaWAN	≤10 km	50 kbs	Muy bajo
BlueTooth	10-100 m	1 Mbs	Bajo
SigFox	40 km	1 kbs	Muy bajo

Fuente: Con base en [24], [25]

2.2.3 LabVIEW

Las herramientas informáticas facilitan la integración de elementos de hardware y software para su aplicación, un ejemplo de ello es el software LabVIEW (acrónimo de *Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench*), propiedad de la empresa National Instruments [26]. LabVIEW es un lenguaje y medio de programación gráfica que permite visualizar cada aspecto de la aplicación, además incluye la configuración de las partes que constituyen el hardware para integrar los datos de medidas, análisis y depuración, así como permitir al usuario diseñar interfaces personalizadas [26], [27].

La herramienta de programación gráfica LabVIEW (Figura 5) permite desarrollar de manera rápida aplicaciones de diferentes tamaños, ya sea a pequeña escala o sistemas integrados a gran escala. Dentro de las principales características que ofrece se encuentran su amplia gama de juegos de herramientas, implementación de interfaz de usuario simple (UI) y entorno de programación multiproceso [28].



Figura 5. Software LabVIEW

2.2.4 Microalgas

Las microalgas son organismos con los que se ha trabajado en diferentes partes del mundo, donde se han obtenido diferentes productos que se tienen como alternativa viable para sustituir a aquellos generados con técnicas comunes de producción basadas en el uso de recursos no renovables y con consecuencias medioambientales irreversibles. Algunas de las aplicaciones se encuentran en productos alimenticios y en materia energética como lo son la obtención de biocombustibles [3], [4], [29]. El proceso de generación de productos a partir de microalgas consta de varias etapas como se muestra en la Figura 6.

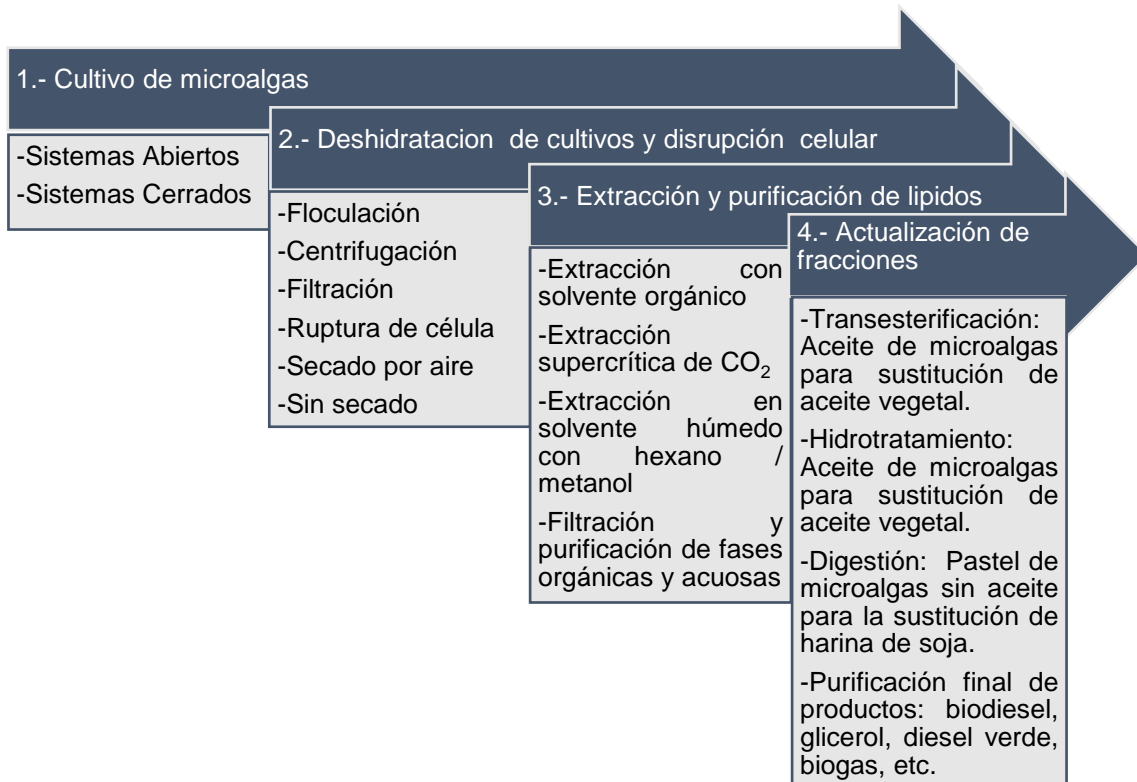


Figura 6. Visión general de sistemas de biorrefinerías de microalgas
Fuente: Con base en [29]

Existen diferentes tipos de microalgas algunas de las más conocidas y estudiadas son del tipo *Chlorella*, *Cryptocodinium*, *Cylindrotheca*, *Dunaliella*, *Isochrysis*, *Nannochloris*, *Nannochloropsis*, *Neochloris*, *Nitzschia*, *Phaeodactylum*, *Porphyridium*, *Schizochytrium* y *Tetraselmis* [1], las características propias de cada especie permiten que sean mejores en aplicaciones específicas.

Un cultivo óptimo de microalgas depende de variables tales como los nutrientes disponibles, parámetros físico-químicos y las condiciones de iluminación para el buen desarrollo de los organismos [30]. Los factores que influyen en el crecimiento de las algas según Borowitzka [31] se clasifican en tres tipos: abióticos, bióticos y operacionales.

- **Factores abióticos:** los factores que se incluyen son luz donde depende la cantidad y calidad, temperatura, concentración de nutrientes de nitrógeno (N), fósforo (P) y carbono orgánico (C), oxígeno disuelto (O₂) y dióxido de carbono (CO₂), pH, salinidad y químicos tóxicos.
- **Factores bióticos:** se consideran en esta clasificación patógenos como bacterias, hongos y virus, depredación por zooplancton y competencia.
- **Factores operacionales:** se consideran factores como mezcla, tasa de dilución, profundidad, adición de bicarbonato o dióxido de carbono y frecuencia de cosecha.

2.2.5 Sistemas de cultivo

La producción de microalgas se puede desarrollar mediante sistemas de cultivos que pueden ser de tipo abierto o cerrado, donde los primeros son aquellos que no se encuentran controlados como lo puede ser estanques o lagos. Los sistemas de cultivo cerrados (ver Figura 7) tienen como característica que las condiciones son controladas y se denominan fotobiorreactores (FBR), estos se definen como un dispositivo que se emplea para el cultivo de microorganismos en un ambiente cerrado y en condiciones controladas [32]–[34], presentan ventajas como la reducción de pérdidas de CO₂, evitan la contaminación y minimizan el riesgo de invasión de otros microorganismos competidores, además permiten alcanzar mayores densidades de microalgas que se traduce en producciones más altas [1], [35].

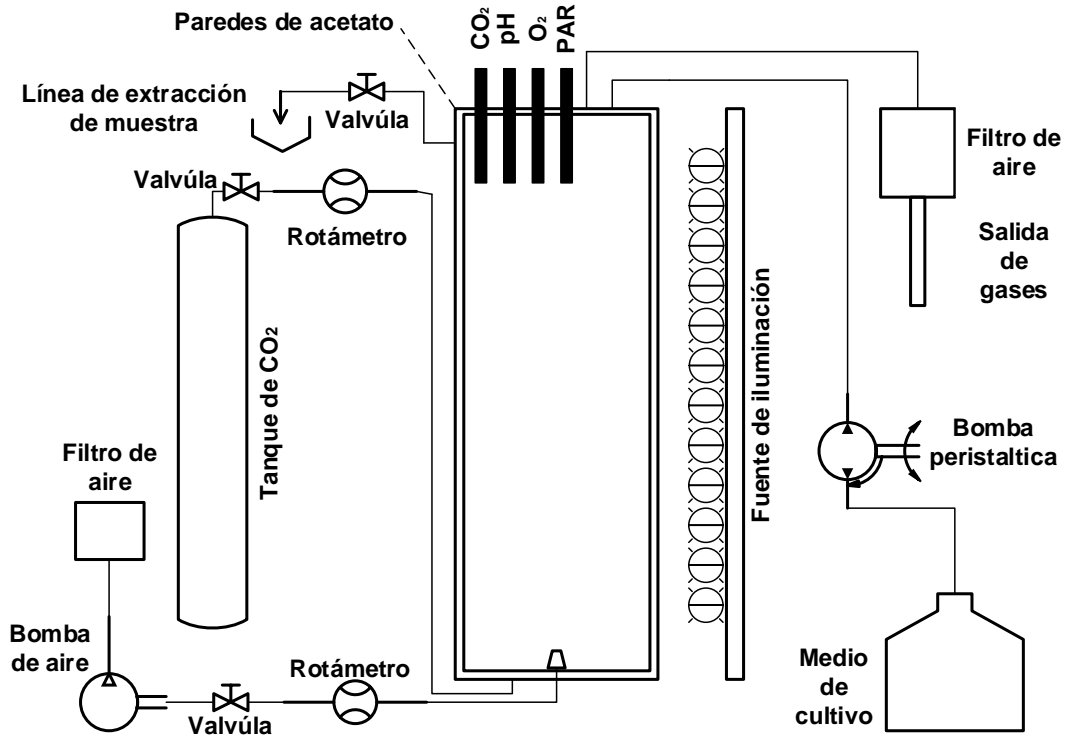


Figura 7. Representación esquemática del sistema fotobiorreactor
Fuente: Con base en [35]

2.2.6 Sensores y actuadores

En la producción del cultivo de microalgas es importante el crecimiento, por lo que tener un buen control permite alcanzar un buen resultado, razón por la cual son monitoreados factores como oxígeno, el pH, temperatura e intensidad de la luz [35]. Es por ello que los sistemas destinados para el cultivo deben contar con el equipo adecuado para la obtención de datos conocida como adquisición de datos DAQ por sus siglas en inglés y se necesita la conversión de un fenómeno físico en una señal eléctrica que se pueda medir [36], tales como sensores que permitan la recolección de información que facilite tener un buen control, realizar el análisis del comportamiento del sistema y así poder mejorar el proceso de cultivo de los microorganismos.

CAPÍTULO 3. DISEÑO DEL SISTEMA SCADA

El desarrollo del sistema SCADA, visto como un producto que debe satisfacer las necesidades del cliente, conlleva a realizar una planeación y considerar aspectos propios del proceso al cual se enfocará, por lo que es importante iniciar conociendo los principios de operación del sistema de cultivo, identificar las variables a monitorear, preparar los sensores, definir las tareas principales que realizara el sistema, para finalmente desarrollar vía software todas los componentes del sistema y la integración de los mismos. Con un primer prototipo, es posible pasar a la fase de pruebas y refinamiento, donde se realizan las correcciones, mejoras y adecuaciones necesarias para obtener una versión final. Este desarrollo llevado a cabo conforme a la metodología propuesta en el Capítulo 1, concluye con la documentación del mismo.

3.1 Planeación

El sistema SCADA es la suma de varios elementos que incluyen parte de hardware y software, este puede ser considerado como un producto que debe de cumplir con la satisfacción de las necesidades y requerimientos del cliente, por tal razón es importante conocer a detalle el proceso y las actividades realizadas en el cultivo de microalgas.

3.1.1 Principio de operación del sistema de cultivo

Para entender las implicaciones y problemáticas presentes en las actividades del cultivo de microalgas propias del estudio que se lleva a cabo en la Universidad Tecnológica de la Mixteca, la recopilación de la información de las necesidades e implicaciones previas a comenzar con el diseño, tomó mayor importancia. Se partió en un inicio con las actividades enfocadas a conocer todas las etapas del proceso del cultivo, desde la siembra de microalgas, las actividades en laboratorio derivadas del escalamiento, pruebas y técnicas para determinar el crecimiento como conteo celular, análisis de colorimetría, entre otros, desarrollados en las instalaciones de la universidad.

3.1.2 Preparación de FBR y puesta en marcha del cultivo de microalgas

En etapa del cultivo de las microalgas en un fotobiorreactor, se busca aprovechar al máximo los recursos con parámetros de operación adecuados, para ello el FBR utilizado para la preparación y posterior puesta en marcha es el propuesto y desarrollado en el trabajo de tesis “Diseño y manufactura de un fotobiorreactor para el cultivo de microalgas” [14], que se muestra en la Figura 8.

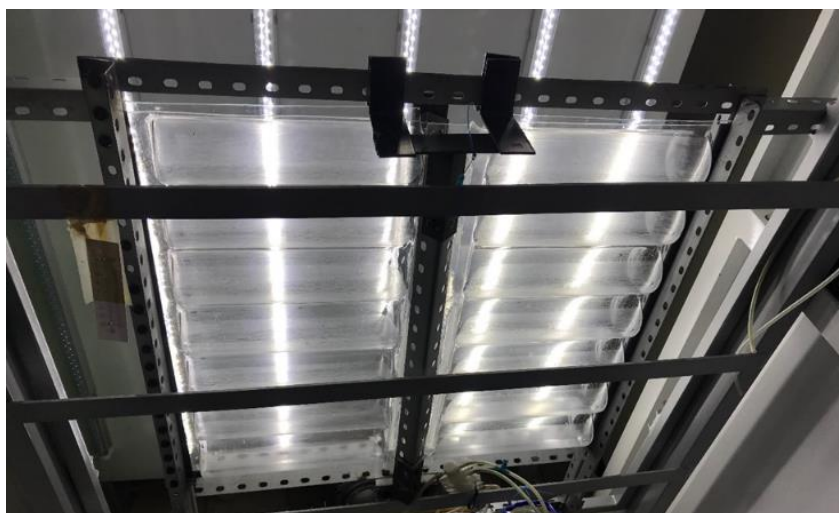


Figura 8. FBR utilizado para el cultivo de microalgas

El principio de operación del fotobiorreactor es fundamental en el proceso de puesta en marcha del cultivo de microalgas en el FBR (Figura 9), para el cual se consideran las siguientes etapas:

- Desmontado y desarmado de FBR.
- Limpieza de cada una de las partes.
- Armado y montaje de fotobiorreactor.
- Esterilización de fotobiorreactor.
- Preparación de medio de cultivo.



Figura 9. Puesta en marcha del cultivo de microalgas en el FBR

3.2 Desarrollo del concepto

Detectar cuáles son las necesidades es una actividad de gran importancia para el desarrollo del concepto, que involucra el identificar necesidades, generar y evaluar conceptos alternativos que son asociados a una descripción, función y características acompañadas de especificaciones.

3.2.1 Variables a monitorear

De acuerdo con la consulta bibliográfica sobre el estudio de microalgas mostrada en el Capítulo 2, algunas de las principales variables a monitorear en el cultivo de microalgas son:

- Temperatura
- pH
- Oxígeno disuelto
- Conductividad

Estos factores se deben de cuidar para el buen desarrollo de los microorganismos, y para fines de estudio pueden servir de referencia para determinar bajo qué condiciones su crecimiento es más favorable para obtener mejores resultados.

3.2.2 Sensores para la adquisición de datos

En cuanto a que se trata de una producción con organismos vivos, la adquisición de información de un proceso en particular requiere de dispositivos que sean aptos y con características que permitan su incorporación en el mismo, de tal manera que toma mayor relevancia tener instrumentos adecuados para la obtención de datos. Es por ello que para el trabajo se ha recurrido a la utilización de hardware con prestaciones correctas para el monitoreo del cultivo de microalgas que son parte de los instrumentos que se cuentan bajo el concepto del proyecto de “Energías renovables y recursos sustentables” y enseguida se presentan.

Waspote Smart Water

Es un dispositivo que forma parte del catálogo de la empresa Libelium dentro de la clasificación *Quick and Sense!*, es un tipo de nodo sensor que permite implementar redes de Internet de las cosas, escalables y con costos mínimos de mantenimiento. Constan de una carcasa resistente y con conectores externos específicos para acoplar sensores, sus funciones se configuran de acuerdo a la programación del nodo [37].



Figura 10. Waspote Smart Water
Fuente: [38]

Existen varias configuraciones específicas del dispositivo Waspote que se clasifican de acuerdo al tipo de aplicación [39], para el trabajo se utilizó la versión Smart Water (Figura 10), esta es una plataforma de sensores inalámbricos para el monitoreo remoto de la calidad del agua con conectividad celular (3G, GPRS, WCDMA) y de largo alcance 802.15.4/ZigBee (868/900MHz). Algunas implementaciones son para el monitoreo del agua potable, detección de fugas químicas en ríos, medición remota de piscinas y para medir los niveles de contaminación del agua de mar, los parámetros que se pueden medir incluyen pH, oxígeno disuelto (OD), potencial de oxidación-reducción (ORP), conductividad (salinidad), turbidez, iones disueltos y temperatura. Los nodos Smart Water están listos para desplegarse de inmediato y las sondas de sensores pueden ser recalibradas o ser cambiadas en el campo [38].

La programación del nodo sensor se realiza mediante la utilización del *software* Waspnote Pro IDE parte de Libelium. La empresa brinda la explicación de cómo instalar y usar el Entorno de Desarrollo Integrado para Waspnote o IDE, por sus siglas en inglés, utilizado para escribir, compilar y cargar el código, en donde se pueden encontrar y utilizar diferentes librerías de acuerdo a los sensores a utilizar. También incluye los recursos y protocolos de comunicación necesarios para transmitir los datos que se obtengan del proceso [40].

cDAQ

Los sensores son dispositivos que dependiendo del tipo y a sus características requieren de componentes adicionales y de circuitos para que se pueda producir correctamente una señal para que pueda ser leída con precisión. El proyecto "Energías renovables y productos sustentables" cuenta con un dispositivo DAQ y de una serie de sensores, que son el resultado de un trabajo previo de instrumentación realizado en el 2017 [13].

Algunos de los sistemas DAQ se basan en PC, esto para aprovechar la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y la conectividad [36]. En la Figura 11 se muestran el sensor, dispositivo DAQ y una PC, elementos que conforman un sistema DAQ.

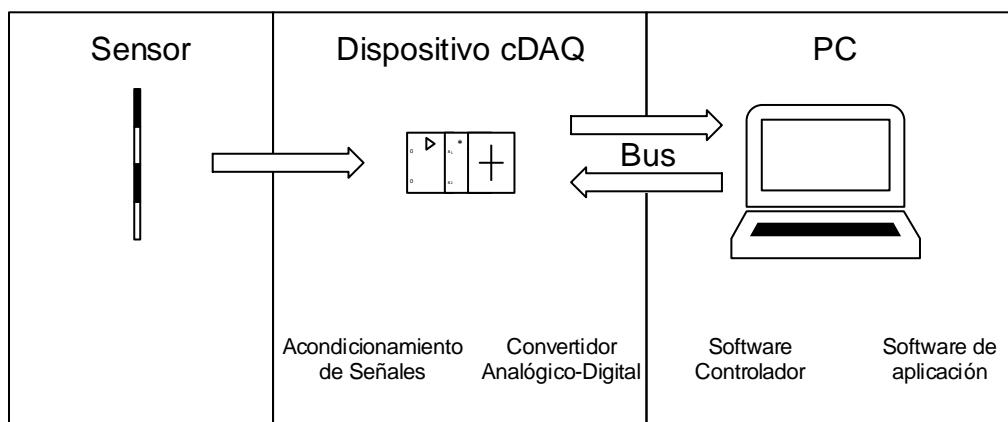


Figura 11. Partes de un Sistema DAQ
Fuente: Con base en [36]

El dispositivo DAQ a utilizar en este trabajo es un producto que ofrece al mercado la empresa National Instruments en su catálogo, en este caso se hace referencia al dispositivo cDAQ-9188, que es un hardware que "actúa como la interfaz entre una

PC y señales del mundo exterior. Funciona principalmente como un dispositivo que digitaliza señales analógicas entrantes para que una PC pueda interpretarlas. Los tres componentes clave de un dispositivo DAQ usado para medir una señal son el circuito de acondicionamiento de señales, convertidor analógico-digital (ADC) y un bus de PC.” [36].

En el software LabVIEW se ofrecen diversas funciones para la conexión de diferentes dispositivos para la medición de diferentes parámetros. La conexión del programa elaborado con el cDAQ se realiza con la herramienta “DAQ Assistant” que permite, mediante una pequeña interfaz, configurar las conexiones físicas y los parámetros a medir.

3.2.3 Tareas de control del sistema SCADA

Las necesidades detectadas, las actividades realizadas y la consulta a profesores investigadores involucrados en el proyecto, se presentan a continuación:

- Que incluya mediciones de temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad.
- Que las mediciones sean fáciles de consultar.
- Que se pueda guardar el registro de mediciones.
- Que se pueda monitorear.
- Que la interfaz sea amigable.
- Que se incluyan gráficas.
- Que sea estéticamente agradable.
- Que sea escalable.

3.3 Diseño a nivel sistema

En este apartado se presentan los aspectos y partes del sistema SCADA desarrollado para su aplicación en el cultivo de microalgas en la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

3.3.1 Tareas principales de adquisición de datos y control

La definición de las tareas de adquisición y control que se identificaron son las siguientes:

- Medición a distancia de las variables de interés del sistema de cultivo de microalgas como lo son temperatura, oxígeno disuelto, pH y conductividad.
- Mostrar los datos adquiridos numéricamente y gráficamente para la consulta del usuario en el momento que sea necesario.
- Emitir una señal visual del estado de los parámetros en función de los límites establecidos para cada una de las variables a medir para cada fotobiorreactor.
- Incluir una señal auditiva para indicar que uno o más parámetros a medir se encuentra fuera de los límites de control.
- Generar una base de datos para guardar el registro de las mediciones obtenidas con la implementación del sistema SCADA.

3.3.2 Funciones en modo manual y automático

Las funciones del sistema SCADA se clasifican en dos partes, en modo manual y en modo automático. En el primero se destinan al usuario para que las realice antes de la ejecución o durante la misma. En el caso del modo automático son aquellas actividades que se realizarán por parte del programa desde el momento en que se pone en marcha hasta que se finaliza.

Tabla 2. Funciones del sistema SCADA

Funciones del sistema SCADA	
Modo manual	Modo automático
<ul style="list-style-type: none"> • Configuración de los parámetros habilitados para la medición. • Ingresar el valor de los límites de control para las alarmas. • Activación de los fotobiorreactores a monitorear. 	<ul style="list-style-type: none"> • Activar sistema de alarmas. • Registrar cuando se activaron las alarmas. • Generar un archivo para cada FBR y guardar el valor de las mediciones obtenidas.

Fuente: Elaboración propia

3.4 Diseño a detalle

El diseño a detalle comprende información amplia al respecto de cada una de las partes que constituyen al SCADA, así como de sus características y especificaciones.

3.4.1 Diseño del sistema SCADA

En todo trabajo es importante tener una idea o un concepto de lo que se llevará a cabo para que sirva de guía en el momento que se materialice. Para el diseño del sistema SCADA se tomaron en cuenta los principios de funcionamiento de los sistemas de supervisión y adquisición de datos [5], así como las necesidades existentes y los recursos disponibles en el momento de la realización del trabajo así como el hardware que se pudiera incorporar en un futuro. Se presenta en la Figura 12 el diseño tomado como base del trabajo desarrollado.

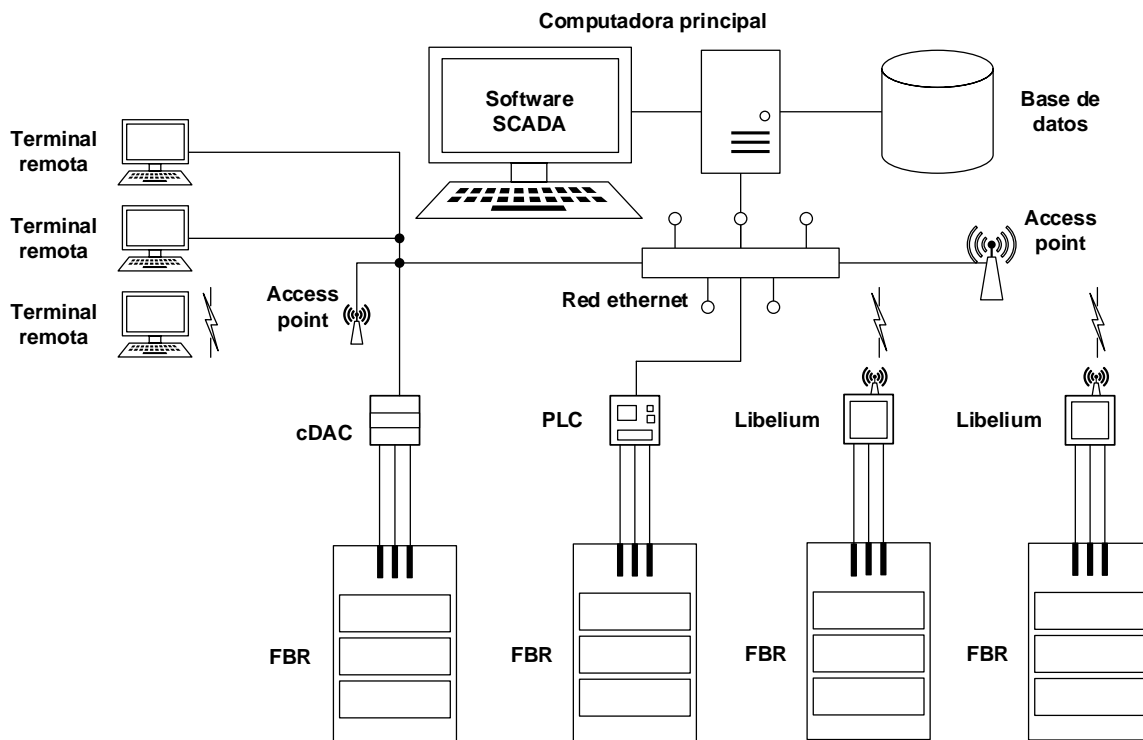


Figura 12. Diseño SCADA para el cultivo de microalgas
Fuente: elaboración propia

El diseño propuesto del SCADA para el cultivo de microalgas considera una computadora principal con las siguientes especificaciones:

Procesador: Intel core i5-6200u

RAM: 8 Gb

Sistema operativo: Windows 10

Las funciones a realizar tienen que ver con la ejecución del programa y el almacenamiento de la información utilizando una red ethernet para la comunicación, ya sea por medio de cable o inalámbrica, con los nodos sensores Libelium, cDAQ o PLC, uno para cada fotobiorreactor.

3.4.2 Diseño y programación de sistema de alarmas

Las alarmas tienen como base la vigilancia de los parámetros de las variables del sistema, y son sucesos no deseables, debido a que su aparición puede significar problemas de funcionamiento. La atención de un operario es indispensable para dar solución a los sucesos con el fin de determinar si se debe continuar trabajando o detener el proceso antes de que llegue a una situación crítica [5]. Los colores son una forma de indicar una situación, así como de orientar a la persona encargada para desarrollar una actividad. A continuación, se presenta la Tabla 3 sobre el significado de los colores, su explicación y la acción a realizar por el operador.

Tabla 3. Colores para los elementos de información

Color	Significado	Explicación	Acción por el operador
ROJO	Emergencia, peligro	Condiciones peligrosas del proceso. Requiere acción inmediata.	Acción inmediata a realizar en condiciones peligrosas.
AMARILLO	Anomalía	Condiciones anormales del proceso.	Control y/o intervención.
VERDE	Normal	Condiciones normales del proceso.	Acciones opcionales sobre el proceso.
AZUL	Obligatorio	Se requiere acción del operador.	Acción obligada por el proceso (sin condiciones anormales).
BLANCO	Neutro	Condiciones no definidas.	Armario eléctrico en tensión.

Fuente: Con base en [5]

En este trabajo se propone el sistema visual de tipo semáforo para indicar el estado en que se encuentran cada uno de los parámetros a medir. Los indicadores son conectados a cada nodo sensor por fotobiorreactor y en general es como se muestra en la Figura 13.

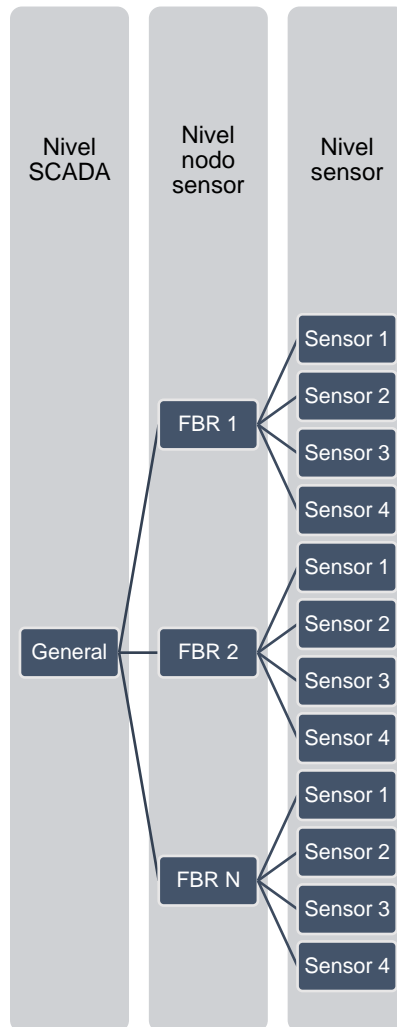
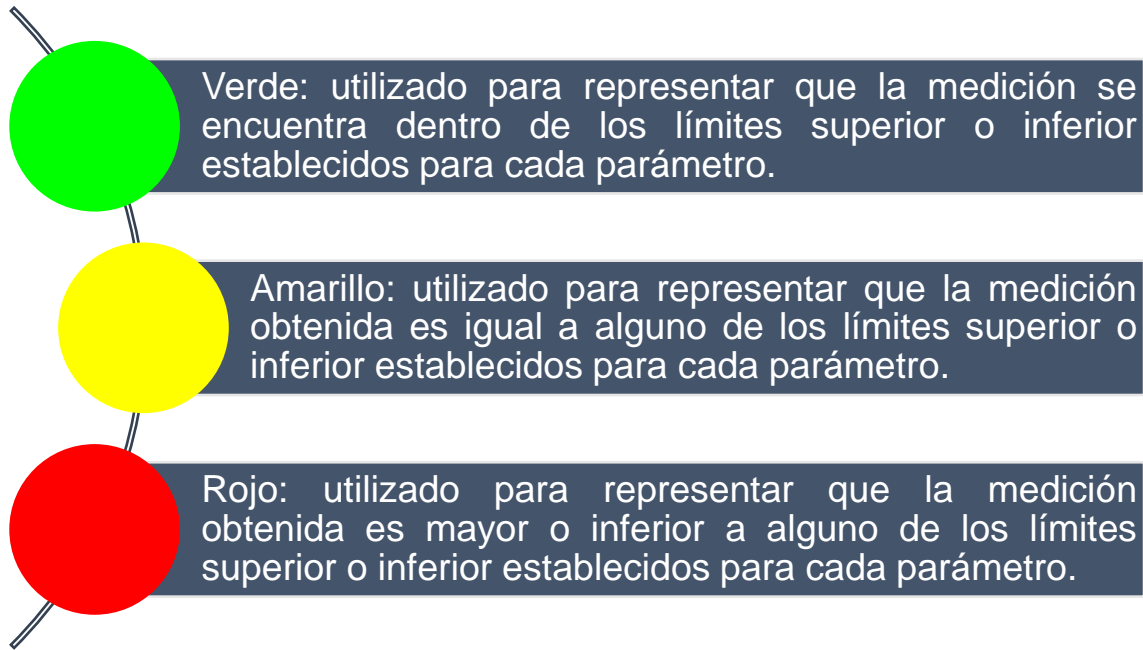


Figura 13. Niveles de señalización tipo semáforo del sistema SCADA
Fuente: Elaboración propia

La Secretaria del Trabajo y Previsión Social propone en la Norma Oficial Mexicana NOM-026-2008 Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías, indica una serie de colores de seguridad en los que se establece que el significado del color rojo tiene que ver con paro o prohibición, en el caso del amarillo se relaciona con una advertencia de peligro y por último el verde, que se asigna para indicar como una condición segura [41].

En este trabajo se propone utilizar tres colores base para señalar el estado en que se encuentra cada nivel, verde, amarillo y rojo (Figura 14). Los que integran el nivel sensor, pertenecen al nivel básico dentro de la clasificación jerárquica que se propone para este trabajo, y de los cuales dependerán los siguientes niveles para su funcionamiento.



*Figura 14. Colores a utilizar en la alarma visual
Fuente: Elaboración propia*

El nivel nodo sensor depende de los valores que se presentaron en el nivel inferior y a continuación se describen las situaciones que se consideran para este apartado y son las siguientes:

Para que el color verde se active es necesario que se cumpla que el estado de todos los sensores conectados también se encuentre dentro de la clasificación de señalización en verde.

En el caso de la señal amarilla a nivel nodo sensor se activará con la condición de que por lo menos alguno de los cuatro sensores conectados emita una señal de que el dato obtenido es igual a alguno de los límites de control que corresponda.

Por último, se tiene que la señal de luz roja tiene mayor importancia debido a que representa que alguno de los parámetros está fuera de control y por lo tanto se activará en el momento en el que uno o más parámetros a nivel sensor den una señal que encienda la luz de color rojo (Figura 15).

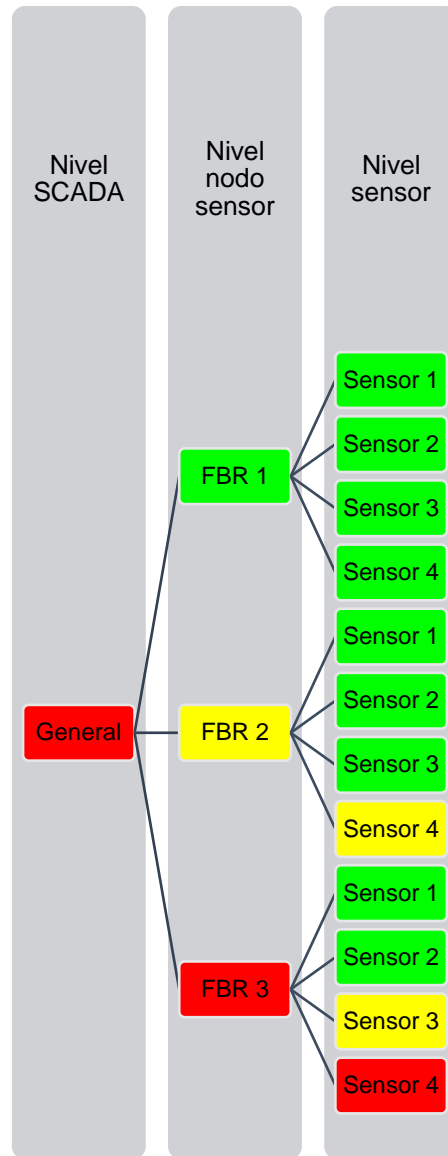


Figura 15. Funcionamiento de la señal visual del estado en los tres niveles
Fuente: Elaboración propia

A nivel SCADA, el principio de funcionamiento es el mismo que en el nivel nodo sensor, en este caso depende de los fotobiorreactores activos y de acuerdo a la medición obtenida de los sensores y comparada con los límites asignados.

Dentro de las alarmas para este proyecto se considera brindar al usuario una opción más para saber si alguno de los parámetros está fuera de control en el caso de que la situación se presente cuando la persona no se encuentre viendo la pantalla. Para ello se propone el emitir una alarma sonora tomando en cuenta que el oído humano es sumamente sensible a frecuencias ligeramente por debajo de 3000 Hz [42].

En el apartado de las comunicaciones entre la interfaz y los nodos sensor, se realiza mediante la opción de transferencia de datos usando el Protocolo de Datagrama de Usuario (UDP; por sus siglas en inglés) para los dispositivos Waspote. En el caso del uso del cDAQ se establece comunicación vía ethernet y utilizando la herramienta de conexión que ofrece LabVIEW.

Una vez que se detectaron las características del proceso, necesidades que se buscan atender, instrumentos de medición, elementos visuales que se proponen para incluir y la base de diseño de la interfaz hombre-máquina, así como el principio de funcionamiento del SCADA, se realiza la programación en LabVIEW.

3.4.3 Diseño de análisis de tendencias y adquisición de datos

El manejo de la información obtenida de todo proceso tiene mucha importancia para la toma de decisiones sobre el mismo, las tendencias son las utilidades con las que se puede representar la evolución de las variables del sistema [5]. Existen diferentes maneras de presentar la información obtenida, en el caso del sistema SCADA y para ser parte de la interfaz HMI, se considera utilizar una gráfica (Figura 16) como instrumento que permita visualizar los datos obtenidos con respecto al tiempo desde el inicio de la puesta en marcha, esto para que la persona pueda analizar los datos obtenidos a medida que son generados.

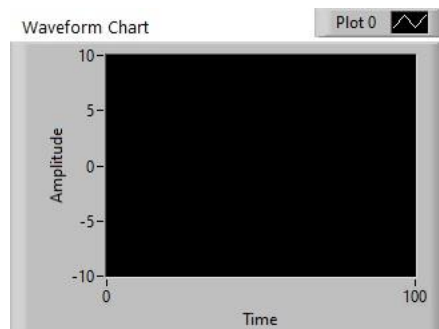


Figura 16. Gráfica para mostrar los datos

En la adquisición de datos se considera que el usuario pueda modificar y asignar el tiempo entre cada medición que se requiera o según lo considere necesario. Este principio responde a que no todas las pruebas son iguales y a que la frecuencia de las mediciones puede variar. La información recibida posteriormente se almacenará en el archivo en formato de texto y que se visualizará en la pestaña de la HMI.

3.4.4 Diseño e implementación de la interfaz gráfica

La interfaz gráfica es un elemento que permite la incorporación de pantallas de usuario con imágenes y/o textos, para funciones de control y supervisión del proceso, para la implementación de cualquier aplicación hay tres principios básicos del diseño [5], contenidas en la Tabla 4.

Tabla 4. Principios básicos del diseño

Principios básicos del diseño	
Principio	Descripción
1. Conocer las bases	Para el diseño de una aplicación de visualización es necesario la consulta sobre la conducta humana basadas en el comportamiento del individuo, de acuerdo con un marco legal como estándares y normas. Además de encuestas estudios de mercado, etc., que sirvan de directrices, y por supuesto de especificaciones de diseño que son de consenso y significado implícito
2. Tener los objetivos claros	El diseñador debe preocuparse por la finalidad de la aplicación, conociendo los principios de interacción usuario (final) con la aplicación. Teniendo clara la estructura del sistema antes de programar el control para definir objetivos claros y tenerlos como principal guía, y no a las posibilidades del sistema o la conveniencia del diseño.
3. Desarrollar y valorar	Con los principios claros se procede a la realización de la aplicación en una primera versión, una vez terminada se utilizará para valorar alternativas de la misma y decidir las modificaciones necesarias. El usuario final es el encargado de verificar las versiones. El último paso es la evaluación para prever posibles modificaciones, ampliaciones o mejoras.

Fuente: Con base en [5]

Partiendo de la idea principal para el trabajo, se dio inicio a la programación de la interfaz hombre-máquina con el software LabVIEW, partiendo del esquema

propuesto en la Figura 17 para determinar los elementos que se considerarían como principales. El apartado de la pantalla principal se conforma por Fotobiorreactores, Alarmas, Archivo y Detalle.

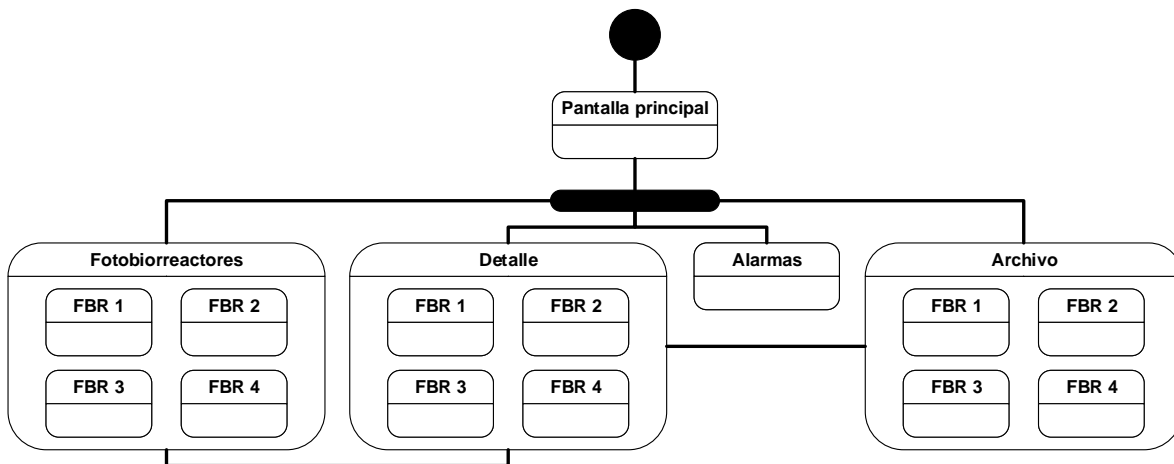


Figura 17. Estructura HMI
Fuente: Elaboración propia

La pantalla principal de la interfaz, en la propuesta inicial, consta de cuatro pestañas y un espacio destinado para un indicador visual general del estado del sistema SCADA de tipo semáforo. En el apartado de “Fotobiorreactores” se presentan el total de los fotobiorreactores con los que se cuentan, además de señalar cuáles se encuentran activos y diferenciarlos respecto de los que no. Se incluye un botón único para cada FBR que funciona como un acceso directo a la pestaña de “Detalle”, también se utiliza un área para presentar el estado a nivel nodo sensor o FBR de tipo semáforo.

La pestaña de “Alarma” se designa para que el usuario pueda visualizar el historial del registro de eventos, además de la hora, fecha, el valor de los límites y una leyenda que indique al usuario de porque se presentó el incidente. En los eventos se consideran las situaciones cuando el valor de las mediciones se encuentra fuera de los límites de control, éstos son establecidos por el usuario para cada uno de los parámetros a medir por fotobiorreactor.

Es necesario considerar la necesidad de almacenar los datos que se obtienen del proceso, por tal razón en la pestaña de “Archivo” se pueden ver los datos que se registraran en el archivo que se generará. El formato del archivo que se consideró la opción más adecuada es de texto (.txt), para facilitar ser abierto en los equipos de cómputo de la universidad sin utilizar algún software de terceros.

Por último, se tiene la pestaña de “Detalle”, que tiene como objetivo mostrar, para los cuatro parámetros a medir (temperatura, pH, oxígeno disuelto y conductividad)

por fotobiorreactor, el último valor de la medición en un formato de indicador numérico y la gráfica de los datos recibidos para que se pueda observar el comportamiento a medir con respecto del tiempo. De la misma manera se considera un espacio para que se pueda visualizar la señal del estado del sensor, que está dada por la comparación respecto a los límites establecidos en el usuario.

De acuerdo con el ámbito normativo contenido en la UNE-EN ISO 9241 en su sección 10, Principios de diálogo, considera el diseño ergonómico de programas para equipos con pantallas de visualización de datos [43]. Enumera una serie de ideas para ser tomadas en cuenta como guía a la hora de realizar el planteamiento y desarrollo de las interfaces gráficas.

1. La aplicación debe estar adaptada a la tarea, un diálogo con el usuario limpio, presentando y exigiendo solamente la información estrictamente necesaria.
2. La aplicación debe informar del progreso al interlocutor de forma comprensible.
3. La aplicación debe adaptarse al nivel de capacitación del usuario.
4. La aplicación debe ser controlada por el usuario.
5. Las respuestas de la interfaz deben ser coherentes y adaptables al nivel de capacitación del usuario.
6. La aplicación debe tolerar fallos y corrección automática.
7. Deberá ser clara y sencilla de utilizar.

Los principios básicos para el diseño de aplicaciones de visualización según Rodríguez Penin [5] se presentan a continuación:

- Diseño simple, orden lógico y bien etiquetado.
- No mostrar datos irrelevantes o innecesarios de forma automática.
- Las indicaciones cuantitativas, mejor de forma gráfica.
- Unidades estandarizadas.
- Si es posible, un solo tipo de fuente.
- Los estados binarios.
- Definir unas líneas imaginarias en pantalla sobre las cuales se colocarán los elementos.
- Enmarcar los objetos relacionados para un mejor contraste.
- Notificar siempre los resultados de cualquier acción de forma clara.
- Utilizar colores con medida y de forma práctica, no artística.

La programación, en su primera etapa, se tiene como objetivo establecer la conexión con los sensores, para así recibir información y presentarla de manera adecuada con el fin de ser consultada por el usuario. Ante esto se presenta a

continuación la primera versión (Figura 18), donde se tienen cuatro pestañas con todos los elementos considerados en la etapa del diseño.

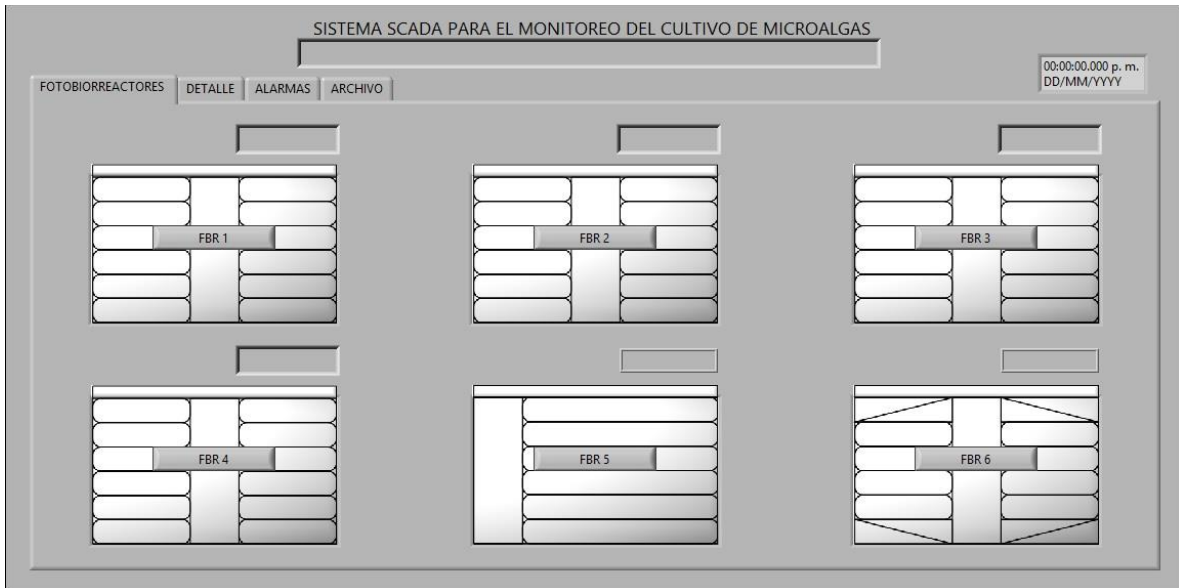


Figura 18. Vista general de la primera versión HMI

Algunos de los elementos (Figura 19) que se consideran es el de brindarle al usuario una serie de controles para que, previo a iniciar el monitoreo, pueda seleccionar aquellos fotobiorreactores que se utilizarán. Uno de los espacios importantes es para las alarmas visuales que indican el estado a nivel SCADA, y el de los fotobiorreactores. Además, se incluye una superficie ocupada por una animación de fotobiorreactor, donde si se encuentra de color verde es sinónimo de que se está monitoreando, en caso contrario aparecerá el espacio en color blanco para indicar que no se monitorea. Se considera también, un acceso rápido para acceder a la información precisa desde el fotobiorreactor hacia la pestaña de “Detalle”, y por último se deja un espacio que contiene la fecha y hora para facilitar su visualización.

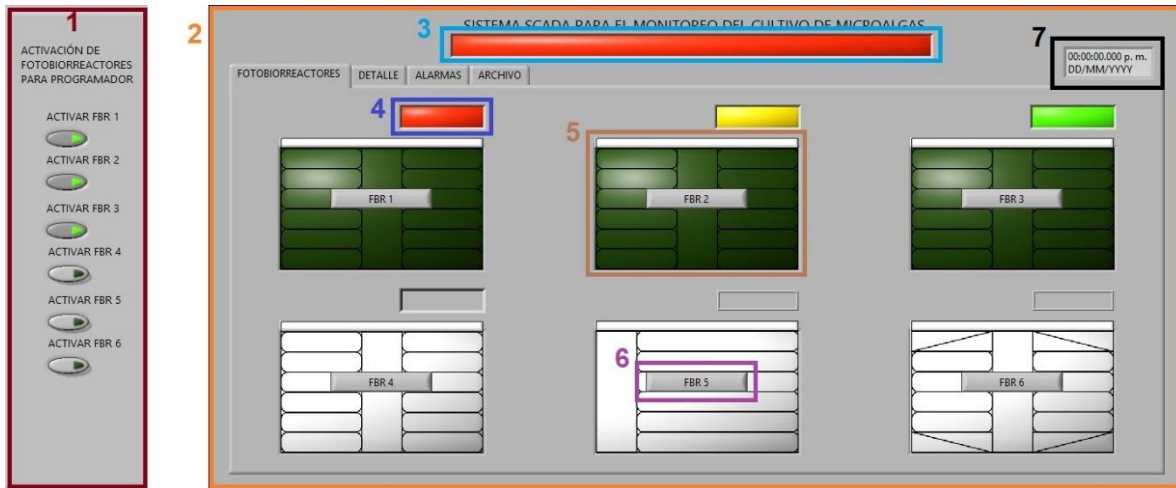


Figura 19. Partes HMI primera versión

1. Control de activación inicial de fotobiorreactores. 2. Interfaz HMI. 3. Alarma visual nivel SCADA. 4. Alarma visual nivel nodo sensor. 5. Animación fotobiorreactor. 6. Botón de acceso rápido a pestaña "Detalle" de fotobiorreactor. 7. Indicador para la hora y fecha.

El apartado de la pestaña de detalle, se conforma por la información contenida en gráficas, un indicador numérico y la alarma visual a nivel sensor para cada uno de los sensores utilizados organizados por fotobiorreactores. De la misma forma se considera un botón de acceso directo a la pestaña de archivo y uno más para dirigirse a la pestaña principal (Figura 20).

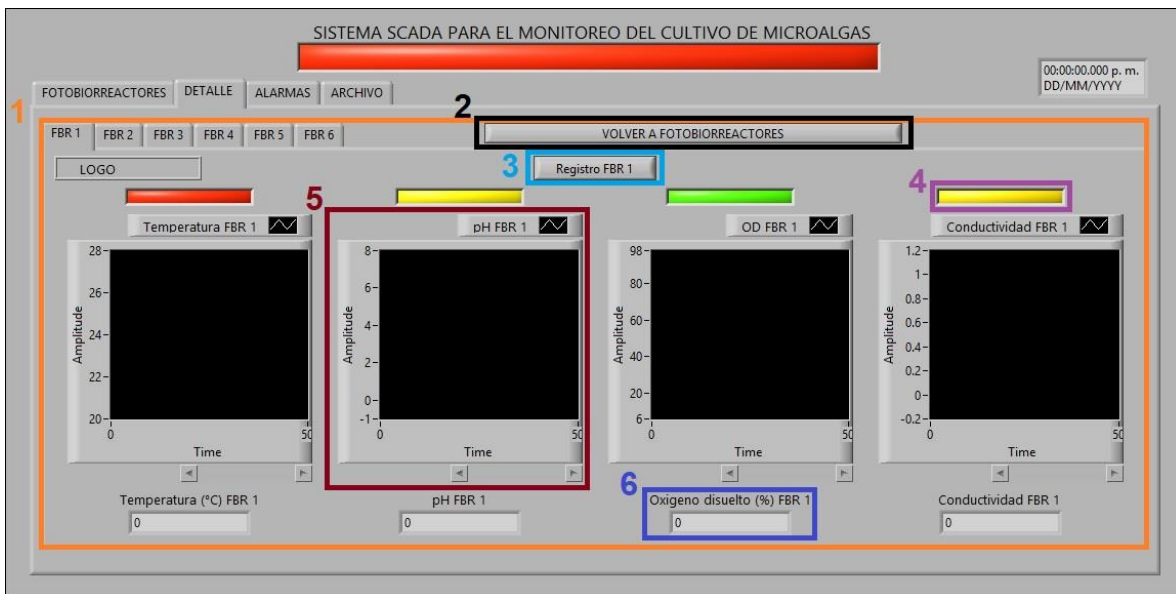


Figura 20. Pestaña "Detalle" HMI primera versión

1. Pestañas para el detalle de los parámetros por fotobiorreactor. 2. Botón de acceso rápido a pestaña "Fotobiorreactor". 3. Botón de acceso rápido a pestaña "Archivo" para el fotobiorreactor correspondiente. 4. Alarma visual nivel sensor. 5. Gráfica de mediciones. 6. Indicador con el valor de la medición más reciente.

La pestaña “Alarmas” es utilizada para presentarle al usuario el registro de los eventos que se presentaron en el transcurso de tiempo de ejecución del sistema SCADA. En este sentido se consideran las situaciones cuando la lectura de cualquiera de los sensores es mayor o inferior a los límites establecidos para tal parámetro, indicando la fecha de la medición, la hora a la que se registró esa medición, el código de identificación para el sensor que registró la medición, el valor registrado y finalmente se presentan los límites tanto superior como inferior (Figura 21).

FECHA	HORA	ID SENSOR	MENSAJE	MEDICION	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR

Figura 21. Pestaña "Alarmas" HMI primera versión

La última pestaña de la interfaz HMI, “Archivo” (Figura 22) se destina para mostrar las mediciones obtenidas por los sensores, esto para que el usuario pueda consultarlas en el momento que sea necesario verificar los valores que se guardarán en el archivo. La organización de la información está clasificada por pestañas para cada uno de los fotobiorreactores y desde la pestaña “Detalle” se puede acceder directamente utilizando los botones de registro de acuerdo al fotobiorreactor que se quiera consultar. De la misma manera, en “Archivo” se ubica el botón “Volver a detalle” de acceso directo a “Detalle”. Por último, se encuentra un botón “Stop Registro FBR #” para cada fotobiorreactor, el cual permite detener la escritura de los datos en el archivo de texto correspondiente. Es importante aclarar que el archivo de texto generado con los datos es independiente para cada nodo sensor.

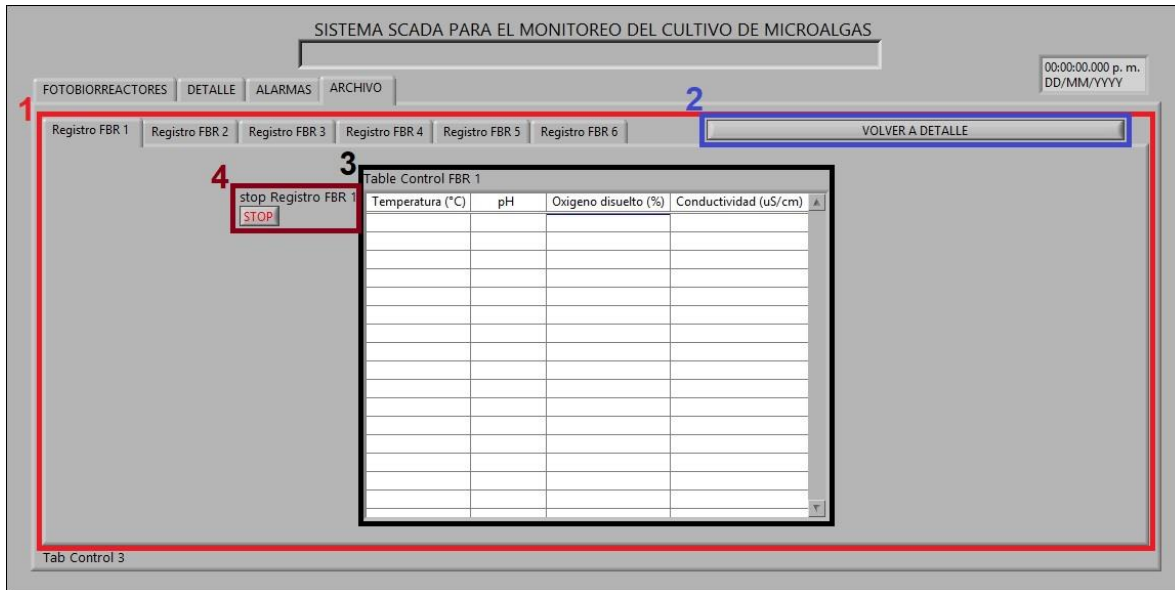


Figura 22. Pestaña "Archivo" HMI primera versión

1. Pestañas para visualizar las mediciones para cada uno de los parámetros. 2. Botón de acceso directo a la pestaña "Detalle". 3. Tabla de registro por columna por parámetros para las mediciones realizadas. 4. Botón para detener la escritura de los datos en el archivo de texto.

3.4.5 Integración del sistema de comunicaciones

El sistema de comunicaciones permite la implementación del sistema de controladores con los que se realizará el intercambio de información entre los elementos de campo y las computadoras, cuya función es la recolección de datos [5].

La transferencia de información desde el nodo sensor a la computadora principal es de suma importancia, los controladores a utilizar son de tipos específicos y permiten la comunicación entre una computadora y un elemento de campo [5]. Debido a que los datos que se reciben son utilizados en la activación de alarmas y también en el registro de los mismos en un archivo, en el caso de los nodos de Libelium se utiliza el WIFI como vía de comunicación para enviar la información obtenida del proceso. Este dispositivo ofrece, dentro de las opciones para enviar los paquetes de datos, los protocolos TCP (*Transmission Control Protocol*) y UDP (*User Datagram Protocol*), en la Tabla 5 se muestra una comparación de ellos.

Tabla 5. Comparación TCP y UDP

TCP	UDP
Es protocolo de capa de transporte usado predominantemente en Internet con propiedad elástica.	Es un protocolo no elástico que se utiliza principalmente para enviar paquetes de control y paquetes en tiempo real en internet
Utiliza varios algoritmos para lograr el control de flujo de extremo a extremo y el control de congestión	Tiene un diseño simple sin ninguna consideración sobre el entorno de red.
No garantiza el momento y el orden de entrega de los paquetes	Una vez que los paquetes se generan en la fuente se inyectan a la red, no hay garantía para la entrega.
El control de flujo y congestión se logra variando la velocidad en el emisor con respecto a la retroalimentación del búfer disponible en el receptor final y la pérdida de paquetes / tiempo de espera en la red, respectivamente.	Este tipo de protocolo será muy útil cuando el menor retardo es más importante que la confiabilidad.
La confiabilidad se logra al reenviar los paquetes perdidos o erróneos basados en el reconocimiento del receptor.	Como el protocolo no se autoajusta, la red puede perder su estabilidad cuando se usa en una parte más grande de la red sin conocer su ancho de banda y carga.

Fuente: Con base en [44]

Para este trabajo se considera utilizar el protocolo UDP, ya que tiene mayor importancia obtener la información más reciente i.e. con menor retardo, esto debido a la naturaleza y el tipo de proceso que se estudia, ya que de ello dependerá la buena toma de decisiones. El programa utilizado para el nodo se incluye en el Anexo B.

El protocolo de datagramas de usuario es de los más usados, utiliza el concepto de “puertos” entre un par de puntos de comunicación por internet, con dos propósitos. El primero, es el relacionado con diferenciar las sesiones de transporte entre el mismo par de puntos finales, y segundo que pueden identificar el protocolo de aplicación. El número de puerto es utilizado para su identificación y aplicación en servicios de internet y son asignados por la *Internet Assigned Numbers Authority* (IANA) mediante el registro de nombre de servicio y número de puerto, de los cuales el rango 49152-65535 son destinados para uso local y dinámico [45].

En cuanto al dispositivo cDAQ se utiliza una conexión física con cable mediante un puerto ethernet, además del uso de un controlador incorporado en el software LabVIEW, que se configura mediante NI-DAQmx.

3.5 Pruebas y refinamiento

La implementación de los sistemas automatizados puede derivar en una situación de descontrol, por ello es importante detectar aquellas debilidades en datos, arquitectura, comunicaciones y en los elementos de control [5].

La realización de pruebas a cualquier producto es muy importante y se debe presentar ante el usuario para verificar su funcionamiento en una situación real. Por tal razón esta primera versión del sistema SCADA fue proporcionada a los responsables del proyecto OTU. Éste último es un proyecto desarrollado por un equipo conformado por alumnos egresados de la Universidad Tecnológica de la Mixteca. OTU es apoyado en por la organización Startup México que se define como una organización líder en México en la promoción de la cultura emprendedora, innovación y desarrollo económico a nivel local e internacional [46], se encargan de brindar espacio físico, mentores, talleres, financiación y un ecosistema de servicios profesionales críticos a Startups prometedoras de alto impacto.



Figura 23. Logotipo de OTU

La razón de ser de OTU es la integración de un sistema de generación de oxígeno mediante el proceso natural de fotosíntesis de microalgas reduciendo los niveles de dióxido de carbono en la atmósfera, que realizan estudios con microalgas para desarrollar productos, por tal razón el monitoreo y registro de información de los datos de las microalgas les resulta muy importante (Figura 23).

3.5.1 Primera prueba

La primera prueba se llevó a cabo en las instalaciones de la UTM durante cuatro días, considerando los parámetros que en el proyecto se necesitaban medir, de acuerdo con las especificaciones, integrando el equipo asignado para la prueba e incorporando el dispositivo Waspnote.

Recolección de datos de la primera prueba

Dentro de las primeras impresiones de la puesta en marcha se obtuvieron resultados positivos que tienen que ver con poder establecer la correcta conexión entre la computadora principal y el nodo sensor, el envío de datos, la activación de alarmas y el funcionamiento en conjunto del estado en los tres niveles, sensor, nodo y SCADA. En cuanto a la base de datos y la información a guardar, la gestión realizada fue conforme a lo planeado.

Como resultado de primera puesta en marcha del sistema SCADA, seguimiento y análisis de la primera implementación, se detectaron una serie de circunstancias en el periodo de prueba. Una alternativa de mejora tiene relación con datos mostrados en la pantalla y que se guardarán en el archivo de texto. Esto en cuanto a la hora correspondiente a la medición realizada, ya que no se incluye en el sistema registro de valores a guardar, lo cual repercute negativamente, afectando al posterior análisis de los datos. Sin poder identificar con exactitud el momento de la medición, resulta más difícil saber cómo se dio la duración del comportamiento del cultivo en cuestión y de un evento en el que alguno de los parámetros no corresponde a los límites especificados por el programador.

En cuanto al monitoreo, con un periodo de tiempo prolongado de una persona frente a la pantalla de la computadora en condiciones de poca luz ambiental, se detectó que los colores no eran los más apropiados para una actividad de este tipo, es importante señalar que los colores utilizados en la primera versión de la interfaz corresponden a los colores predeterminados asignados por LabVIEW para cada uno de los elementos de la programación gráfica.

Análisis de los datos de la primera prueba

Resulta ser de gran relevancia prestar atención a los aspectos que influyen negativamente y que han sido identificados en la primera puesta en marcha del

sistema. Estos se encuentran contenidos en la interfaz gráfica, por lo que se propone una modificación a la estructura del HMI presentado en la Figura 24.

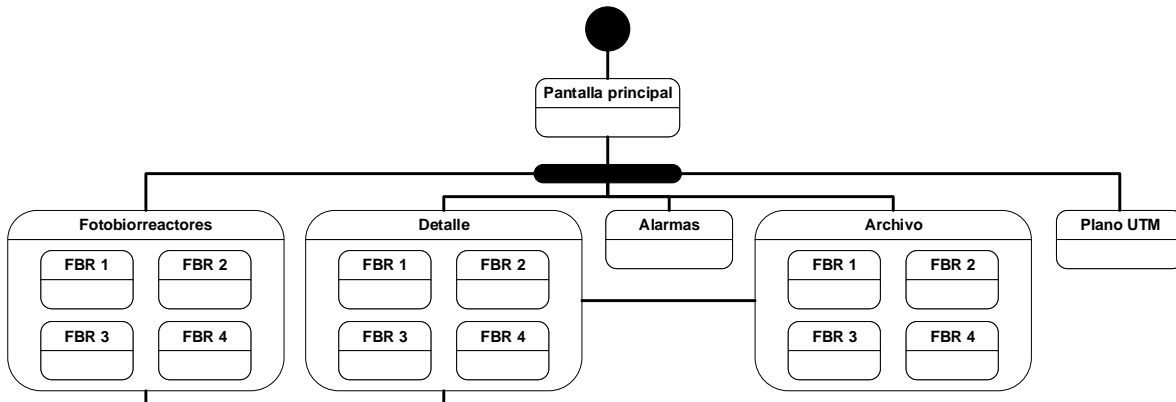


Figura 24. Estructura HMI segunda versión
Fuente: Elaboración propia

La primera mejora (Figura 25) se establece mediante la consideración de los colores, tomando en cuenta que las áreas de pantalla vacías de gran extensión deberían rellenarse con colores neutros para no forzar la vista con contrastes excesivos, tal como lo recomienda Rodríguez [5].



Figura 25. HMI segunda versión

Las modificaciones para la segunda versión, visibles en la pantalla principal, incluyen el uso de diferentes colores para delimitar áreas de pestañas y de texto en color negro R:26 G:26 B:26, así como del resto de elementos tales como gráficas y

botones de acceso directo. Se utiliza el color azul configurado en LabVIEW (R:0 G:218 B:255) para el color de fuente, además de incluir elementos gráficos como logotipos (Figura 26) y la incorporación de una nueva pestaña a la interfaz HMI.



Figura 26. Mejoras HMI segunda versión

1. Logotipo Cuerpo Académico de Ingeniería Industrial y Entorno. 2. Pestaña "Plano UTM". 3. Logotipo Universidad Tecnológica de la Mixteca. 4. Logotipo carrera de Ingeniería Industrial

En la segunda pestaña, correspondiente a "Detalle" (Figura 27), se incluye un espacio destinado para la visualización de gráficas de cada uno de los parámetros por fotobiorreactor. En la parte superior izquierda de cada FBR se presenta el logotipo de la empresa que fabrica el nodo sensor para que le resulte fácil al usuario identificar el tipo de dispositivo del cual provienen los datos que se presentan en pantalla.



Figura 27. Pestaña "Detalle" HMI segunda versión

Las gráficas también se modificaron utilizando color negro para el exterior y en el área interior el color utilizado es el perfil de color R:0 G:11 B:66, el mismo usado en los espacios numéricos y de texto. Los puntos graficados utilizan el color de fuente de texto.

Los elementos que integran la pestaña de "Alarmas" (Figura 28) están integrados por el registro de alarmas, donde se muestra información del evento, y en segundo nivel una parte del plano de la universidad que muestra la ubicación donde se concentran los edificios de institutos y laboratorios, zona en la que las pruebas de cultivo de microalgas se llevan a cabo. Específicamente el objetivo es que la persona pueda identificar la ubicación del fotobiorreactor en el que se activó la alarma en caso de que la situación requiera trasladarse al lugar para su atención. Para este fin se activa el encendido intermitente de la animación de un led rectangular en color rojo, indicando que uno de los parámetros se encuentra fuera de control.



Figura 28. Pestaña "Alarmas" HMI segunda versión

La segunda situación a atender como resultado de la segunda puesta en marcha, tiene que ver con incorporar la hora correspondiente a cada lectura de los sensores (Figura 29) en el archivo que se guardará en la base de datos, esto con el fin de facilitar su posterior análisis y brindar una mejor información de lo que acontece en el estudio del cultivo de microalgas. Esto se logró utilizando la herramienta Get Date/ Time In Seconds en la parte de la escritura de datos de la programación en LabVIEW.

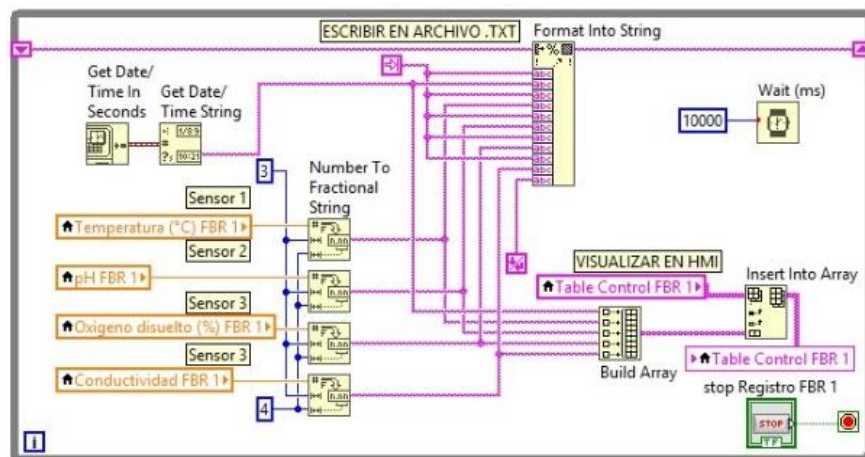


Figura 29. Incorporación de la hora de medición

Dentro de las modificaciones realizadas en la pestaña “Archivo” se encuentra el ajuste a la posición del botón de paro de registro y el espacio para mostrar los datos adquiridos, así como la inclusión de la hora correspondiente a los valores de los sensores. Además, se integra un espacio para la sección del plano con acercamiento a la zona donde se encuentra el edificio en el que se realizan las pruebas con el fotobiorreactor, y en caso de estar activo se ejecuta una animación intermitente con un led circular (Figura 30).



Figura 30. Pestaña "Archivo" HMI segunda versión

En la segunda versión de la interfaz se agrega otro apartado denominado “Plano UTM” (Figura 31), destinado a presentar una vista completa del plano de la universidad con motivo de servir de orientación y referencia para el usuario.



Figura 31. Pestaña "Plano UTM" HMI segunda versión

3.5.2 Segunda prueba

La segunda puesta en marcha del sistema SCADA, se dio en en las instalaciones de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, se contó con la colaboración de OTU (Figura 32) y se realizó en un periodo de 5 días para la primera prueba y otras posteriores con duración de tres días cada una.



Figura 32. Segunda prueba

Recolección de datos de la segunda prueba

Por parte del equipo de prueba OTU, las primeras impresiones sobre la segunda versión fueron positivas. En cuanto a los colores, expresaron que las mejoras ayudaban a que el usuario apreciara con mayor claridad la información brindada, además de que la inclusión de los elementos como la hora de recepción del paquete de datos con la información obtenida del proceso para ser guardada en la base de datos y mostrada en la pestaña “Archivo”.

El indicador en la ubicación del FBR con parámetros fuera de los límites les pareció un gran acierto pensando en pruebas a futuro que la interfaz indique en donde se encuentra el fotobiorreactor con datos que están fuera del intervalo especificado como de control.

Para el apartado de comunicación entre el nodo sensor y la computadora principal, cuando se desarrolla la situación de pérdida de conexión entre los dos elementos, es difícil que el usuario se percate de la misma. Esta situación fue externada por parte del cliente final en la etapa de prueba como duda surgida en cuanto al funcionamiento y mejoras de la segunda versión. En esta situación la gráfica y el registro de datos no se actualiza, por lo que únicamente muestra el último valor recibido antes de perder conexión.

Análisis de los datos de la segunda prueba

Haciendo el respectivo análisis de los datos obtenidos en la segunda puesta en marcha del sistema SCADA, primeramente, se plantea el hacer una modificación en la parte de la estructura de la interfaz hombre-máquina, con el objetivo de incorporar elementos que permitan un mejor manejo por parte del usuario. Los primeros cambios se presentan en la Figura 33 con la incorporación de dos elementos, la pestaña de “Configuración” y la de “+” que más adelante se presentará mayor información.

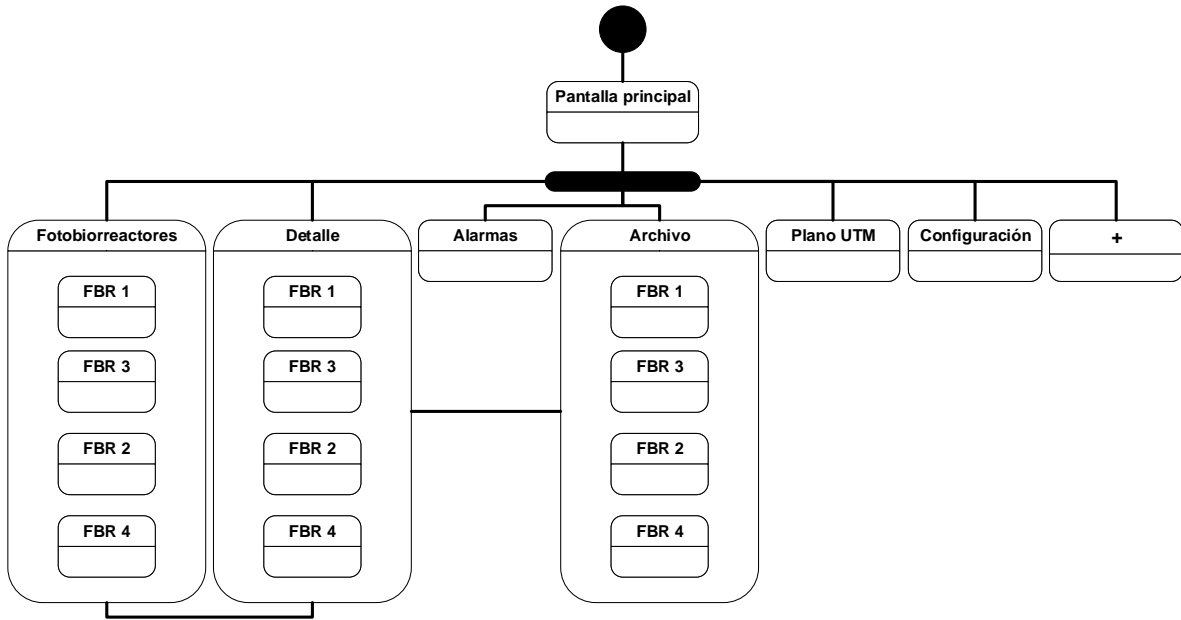


Figura 33. Estructura HMI tercera versión
Fuente: Elaboración propia

La primera presentación de la tercera versión que visualiza el usuario es la mostrada en la Figura 34, en la que se eliminan la sección de los botones de activación de fotobiorreactores en el lado izquierdo.



Figura 34. Pantalla principal HMI tercera versión

Para atender la situación cuando se pierde la conexión entre el nodo sensor y la computadora principal, se integra en la ventana “Fotobiorreactores” un indicador tipo led rectangular de color rojo que aparece cubriendo los espacios del fotobiorreactor y de su alarma visual en el nivel nodo sensor (Véase Figura 35), para que el usuario pueda darse cuenta que se ha interrumpido el envío de datos.



Figura 35. Sin conexión pc-nodo sensor

En relación con la información presentada en la gráfica, se identificó que al permanecer en la pestaña “Detalle”, si alguno de los datos presenta alguna variación fuera de los límites, es difícil que el usuario identifique rápidamente a qué variable pertenece, con lo que se mejora la presentación de datos como se muestra la Figura 36. En la herramienta gráfica al incorporar el valor máximo y mínimo con un color diferente al del tema, el usuario puede fácilmente determinar si el parámetro está en control sin que pierda de vista los datos del proceso.

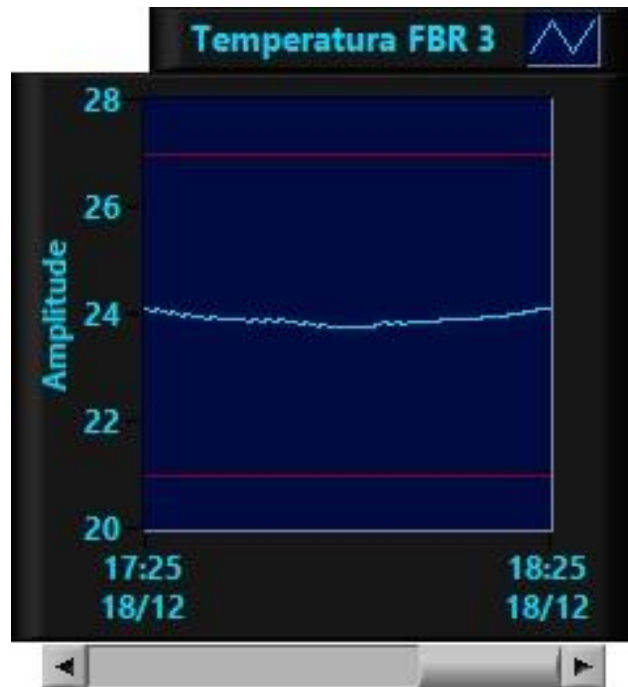


Figura 36. Valor máximo y mínimo en gráfica

La configuración de los límites y parámetros en la primera y segunda versión se ha destinado como actividad a desarrollar para el programador, en este sentido el paso es dirigirse al espacio de programación gráfica en la ventana “Block Diagram” en LabVIEW y hacer las modificaciones correspondientes. En la tercera versión de la HMI se considera incluir la pestaña “Configuración” con el objetivo de brindarle al usuario un mejor control en la configuración de los elementos que utilizará en la puesta en marcha (Véase Figura 37).



Figura 37. Pestaña "Configuración"

Dentro de la nueva pestaña se brinda la opción de configurar seis fotobiorreactores de acuerdo con las necesidades de cada prueba, permitiendo modificar el número de mediciones adquiridas por hora, activar los parámetros de los cuales se quieran medir sin forzar al usuario a conectar todos los sensores. De la misma manera, se pueden establecer más fácilmente los límites máximos y mínimos en cada una de las variables. De acuerdo con las configuraciones establecidas en este apartado aparecerán habilitadas o desactivadas las gráficas e indicadores correspondientes.

La última mejora respecto a la versión anterior es que se incorpora información referente a las partes involucradas en el desarrollo del presente trabajo en las que se incluye una breve descripción de cada una, en las que se considera a la Universidad Tecnológica de la Mixteca, la carrera de Ingeniería Industrial y el Cuerpo Académico de Ingeniería Industrial y Entorno (Véase Figura 38).



Figura 38. Pestaña "+"

3.5.3 Tercera prueba

Una vez implementadas las mejoras realizadas a la segunda versión se obtuvo la última versión empleada para las pruebas (Figura 39) obteniendo resultados positivos, la programación correspondiente a esta última versión es la mostrada en el Anexo B. La tercera versión luego de las pruebas se tiene como la versión final que se utilizará para continuar con el estudio desarrollado en el proyecto de "Energías Renovables y Productos Sustentables".



Figura 39 Presentación de datos

3.6 Documentación

Es importante el brindar las herramientas del trabajo realizado para su posterior utilización, por ello se realizó la integración del manual para la preparación de cada uno de los elementos que conforman el sistema de monitoreo (Figura 40) y cuyo contenido se muestra en el Anexo C.



Figura 40. Manual de usuario SCADA MCM

El manual elaborado contiene información con respecto al manejo de la interfaz gráfica y la explicación de cada uno de los elementos que la conforman, así como de la secuencia de pasos necesarios para la correcta conexión de los dispositivos que se conectan para la medición y transferencia de la información para que el usuario pueda visualizarlos.

CAPITULO 4. RESULTADOS Y CONCLUSIONES

4.1 Resultados

Se logró monitorear a distancia el cultivo de microalgas por medio de un sistema SCADA programado en LabVIEW. El sistema desarrollado cuenta con los siguientes componentes:

- Sistemas de alarmas, análisis de tendencias y adquisición de datos diseñados y programados para cumplir con las necesidades y requerimientos del proceso.
- Interfaz gráfica para la visualización de los datos obtenidos del proceso que permitan el control supervisor a los miembros encargados del monitoreo del proceso del cultivo de microalgas y que puede ser utilizado a futuro para su uso e incorporación en procesos de mayor escala.
- Sistema de comunicaciones para la transferencia de información desde los nodos sensores hasta la computadora principal con el protocolo más adecuado para el envío de datos de acuerdo a la naturaleza de los microorganismos.

Asimismo, se generó un manual de operación del sistema SCADA que indica el principio de funcionamiento general, explica cómo se debe operar y configurar cada uno de los componentes de software que lo integran y los principios de preparación del hardware. Contempla la realización de las conexiones para cada uno de los sensores, módulos, nodos inalámbricos, cDAQ y computadora, así como la forma en la que se deben programar cada uno de los nodos Wasmote para la recepción y transmisión de datos.

4.2 Conclusiones

En el presente trabajo se describe el diseño, desarrollo e integración del sistema SCADA para el monitoreo del cultivo de microalgas. La aplicación de los principios, conceptos y conocimientos de ingeniería industrial dan como resultado la realización del SCADA con el que se sientan las bases para un proceso industrial estandarizado y automatizado.

Dar solución a una problemática presente en un proceso requiere de conocer y analizar los detalles de la actividad, su relevancia, las partes involucradas y los objetivos marcados. Con ese principio se dio lugar a conocer, investigar y estudiar

el proceso del cultivo de microalgas, así como entrevistarse con los miembros del cuerpo académico UTMIX-CA-37 y UTMIX-CA-21.

Se identificaron las variables que tienen mayor importancia en el desarrollo de los cultivos de microalgas, las circunstancias que se presentan y enfrentan en el caso particular de las actividades del proceso desarrollado en la UTM, con ello dando inicio a la etapa de diseño de las partes del sistema de monitoreo.

Durante las pruebas y puesta en marcha del sistema SCADA se evaluaron las funciones principales que incluyen la medición, envío y recepción de datos, manejo de la interfaz, activación de alarmas y su generación del registro de datos en diferentes condiciones en colaboración con el equipo de trabajo de OTU en pruebas que tuvieron duración de varios días.

Derivado del punto anterior, se realizaron mejoras correspondientes en aspectos de la interfaz para mejor visualización de los datos obtenidos, su registro y la actualización del estado de la comunicación entre el nodo sensor y la computadora.

El sistema SCADA es la suma de la aplicación de conocimientos de un ingeniero industrial en áreas como la química, programación, higiene y seguridad industrial, electrónica, metrología y control de la calidad. El resultado de esta tesis será útil para continuar con las investigaciones enfocadas al cultivo de microalgas para dar paso a las siguientes etapas que lleven a la obtención de productos a partir de la biomasa en la Universidad Tecnológica de la Mixteca.

4.3 Trabajo a futuro

- Incorporación de actuadores para el control de parámetros.
- Considerar el tiempo de retardo entre cada paquete de información.
- Desarrollar el guardado de datos en la computadora hasta que se reciba otro paquete de datos desde el nodo sensor.
- Incorporar herramientas de Inteligencia Artificial para la toma de decisiones de forma automática.

REFERENCIAS

- [1] A. Martins, N. S. Caetano, and T. M. Mata, "Microalgae for biodiesel production and other applications : A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 14, pp. 217–232, 2010.
- [2] J. M. B, V. A. M, and C. A. C. A, "Design strategies for sustainable biorefineries," *Biochem. Eng. J.*, vol. 116, pp. 122–134, 2016.
- [3] G. P. Lam, M. H. Vermuë, M. H. M. Eppink, R. H. Wijffels, and C. Van Den Berg, "Multi-Product Microalgae Biorefineries: From Concept Towards Reality," *Trends Biotechnol.*, vol. 36, no. 2, pp. 216–227, 2018.
- [4] Â. P. Matos, "The Impact of Microalgae in Food Science and Technology," *J. Am. Oil Chem. Soc.*, vol. 94, no. 11, pp. 1333–1350, 2017.
- [5] A. R. Penin, *Sistemas SCADA 2Ed*, 2nd ed. MARCOMBO, 2007.
- [6] A. Nechibvute and C. Mudzingwa, "Wireless Sensor Networks for SCADA and Industrial Control Systems," *Int. J. Eng. Technol.*, vol. 3, no. 12, pp. 1025–1035, 2013.
- [7] S. Pankratz, A. O. Oyedun, X. Zhang, and A. Kumar, "Algae production platforms for Canada ' s northern climate," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 80, no. January, pp. 109–120, 2017.
- [8] Algae Labs System, "Algae Lab Systems," 2019. .
- [9] Aqualgae, "Aqualgae," 2019. [Online]. Available: <http://aqualgae.com/es/inicio/>.
- [10] UTM, "Ingeniería Industrial," 2019. [Online]. Available: <http://www.utm.mx/>.
- [11] K. Ulrich and S. Eppinger, *Diseño y desarrollo de productos*, Quinta Edi. Mc Graw Hill, 2013.
- [12] F. Rodríguez, J. . Guzmán, M. Castilla, J. . Sánchez-Molina, and M. Berenguel, "A proposal for teaching SCADA systems using Virtual Industrial Plants in Engineering Education," pp. 138–143, 2016.
- [13] S. E. Melchor González, "Instrumentación de un fotobiorreactor de panel plano tipo AIRLIFT para el cultivo de microalgas," Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2017.
- [14] G. R. Rodríguez Camacho, "Diseño y manufactura de un fotobiorreactor para el cultivo de microalgas," Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2017.
- [15] G. Ballesteros Briseño, "Manufactura de un fotobiorreactor tipo 'Airlift' para mejorar la eficiencia productiva en la generación de biomasa algal," Universidad Tecnológica de la Mixteca, 2019.

- [16] M. L. Gerardo, V. Den Hende, H. Vervaeren, T. Coward, and S. C. Skill, "Harvesting of microalgae within a biore fi nery approach : A review of the developments and case studies from pilot-plants," *ALgae Reseach*, vol. 11, pp. 248–262, 2015.
- [17] J. H. De Vree *et al.*, "Turbidostat operation of outdoor pilot-scale photobioreactors," *ALGAL*, vol. 18, pp. 198–208, 2016.
- [18] I. Fernández, M. Berenguel, J. L. Guzmán, F. G. Ación, G. A. De Andrade, and D. J. Pagano, "Hierarchical control for microalgae biomass production in," *Control Eng. Pract.*, vol. 54, pp. 246–255, 2016.
- [19] W. T. Shaw, *Cybersecurity for SCADA Systems*. 2006.
- [20] D. Bailey and E. Wright, *Practical SCADA for Industry*. 2003.
- [21] P. Zhang, *Advanced Industrial Control Technology*, First. Elsevier Inc., 2010.
- [22] E. Pérez, "Los sistemas SCADA en la automatización industrial," *Tecnología en Marcha*, vol. 28, pp. 3–14, 2015.
- [23] G. P. H. V. Çağrı Güngör, *Industrial Wireless Sensor Networks: Applications, Protocols, and Standards*. 2017.
- [24] M. Manzano, S. Montesinos, J. Carazo, and V. Carlos, "Las redes inalámbricas de sensores y su aplicación en el sector agroalimentario," *Rev. la Alta Tecnol. y la Soc.*, vol. 7, no. 1, pp. 1–7, 2015.
- [25] M. Pule, A. Yahya, and J. Chuma, "Wireless sensor networks : A survey on monitoring water quality," *Rev. Mex. Trastor. Aliment.*, vol. 15, no. 6, pp. 562–570, 2018.
- [26] J. R. Lajara Vizcaíno and J. Pelegrí Sebastiá, *LabVIEW: entorno gráfico de programación*, 2a ED. MARCOMBO, 2011.
- [27] National Instruments, "LabVIEW," 2019. .
- [28] C. Elliott, V. Vijayakumar, W. Zink, and R. Hansen, "National Instruments LabVIEW : A Programming Environment for Laboratory Automation and Measurement," *JALA J. Assoc. Lab. Autom.*, vol. 12, no. 1, pp. 17–24, 2007.
- [29] J. A. Posada, L. B. Brentner, A. Ramirez, and M. K. Patel, "Conceptual design of sustainable integrated microalgae biore fi neries : Parametric analysis of energy use , greenhouse gas emissions and techno-economics," *Algal Res.*, vol. 17, pp. 113–131, 2016.
- [30] L. M. Gómez, "Cultivo y aplicación de las microalgas *Dunaliella salina* y *Chlorella Vulgaris* en Cuba," 1997.
- [31] M. A. Borowitzka and K. Mathew, "THE ALGAE: THEIR BIOLOGY AND LIMITS TO GROWfH," *WASTE Treat. BY ALGAL Cultiv.*, pp. 71–94, 1991.
- [32] R. Goswami, P. Chattopadhyay, and A. Shome, "An overview of physico-

chemical mechanisms of biogas production by microbial communities : a step towards sustainable waste management,” *3 Biotech*, vol. 6, no. 1, pp. 1–12, 2016.

- [33] N. Yeh and J. Chung, “High-brightness LEDs — Energy efficient lighting sources and their potential in indoor plant cultivation,” *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 13, pp. 2175–2180, 2009.
- [34] Z. Chen, Z. Jiang, X. Zhang, and J. Zhang, “Numerical and experimental study on the CO₂ gas – liquid mass transfer in flat-plate airlift photobioreactor with different baffles,” *Biochem. Eng. J.*, vol. 106, pp. 129–138, 2016.
- [35] G. Becerra-celis and S. Tebbani, “Estimation of microalgal photobioreactor production based on total inorganic carbon in the medium,” *Proc. 17th World Congr. Int. Fed. Autom. Control*, pp. 14582–14587, 2008.
- [36] N. Instruments, “Adquisición de Datos.” [Online]. Available: <https://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>.
- [37] Libelium, “Waspote Plug & Sense! Quick Overview.” [Online]. Available: <http://www.libelium.com/development/plug-sense/>.
- [38] Libelium, “Libelium World.” [Online]. Available: <http://www.libelium.com/smart-water-sensors-to-monitor-water-quality-in-rivers-lakes-and-the-sea/>.
- [39] Libelium, “Products - Plug & Sense!” [Online]. Available: <http://www.libelium.com/products/plug-sense/>.
- [40] Libelium, “Development.” [Online]. Available: <http://www.libelium.com/development/plug-sense/documentation/?cat=programming>.
- [41] Secretaria del Trabajo y Previsión Social, *NOM-026-STPS-2008, Colores y señales de seguridad e higiene, e identificación de riesgos por fluidos conducidos en tuberías*. 2008.
- [42] J. W. Kane and M. M. Sternheim, *Física*, Segunda Ed. Reverté, 2007.
- [43] ISO, *UNE-EN ISO 9241-110:2006. Requisitos ergonómicos para trabajos de oficina con pantallas de visualización de datos (PDV). Principios de diálogo*. 2006, p. 118.
- [44] G.-M. Muntean and R. Trestian, *Wireless Multi-Access Environments and Quality of Service Provisioning: Solutions and Application*. 2012.
- [45] M. Cotton, L. Eggert, and J. Touch, “Internet Assigned Numbers Authority (IANA) Procedures for the Management of the Service Name and Transport Protocol Port Number Registry,” *Internet Eng. Task Force*, 2011.
- [46] Startup México, “SUM STARTUP MÉXICO.” [Online]. Available: <https://www.startupmexico.com/>.

ANEXOS

Anexo A Programación Wasmote

```
/////////////////////////////////UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE LA MIXTECA/////////////////////////////////
////MONITOREO DEL PROCESO DE CULTIVO DE MICROALGAS POR MEDIO DE UN SISTEMA SCADA
////INCORPORANDO REDES INALÁMBRICAS DE SENSORES/////////////////////////////////
/////////////////////////////////ENERGIAS RENOVABLES Y PRODUCTOS SUSTENTABLES/////////////////////////////////
/////////////////////////////////PROGRAMACIÓN DEL NODO SENSOR LIBELIUM WASPMOTE SMART WATER/////////////////////////////////

// Librerías necesarias para la programación
#include <WaspWiFi_PRO.h>
#include <WaspSensorSW.h>
#include <WaspFrame.h>
/////////////////////////////////

// Seleccionar socket del usuario para comunicarse con el módulo
uint8_t socket = SOCKET0;
/////////////////////////////////

// Configuración de punto de acceso WiFi
/////////////////////////////////
char ESSID[] = "*****";
char PASSW[] = "*****";
/////////////////////////////////

// configuración del servidor UDP
/////////////////////////////////
char HOST[] = "****.***.***.**"; //IP computadora LBI
char REMOTE_PORT[] = "61557";
char LOCAL_PORT[] = "61556";
/////////////////////////////////

// Valores de las variables:
//Temperatura
float temp;
```

```

//ph
float pHVol;
float pHValue;
//Conductividad
float ECRes;
float ECValue;
//Oxigeno Disuelto
float DOVol;
float DOValue;
////////////////////////////////////
//Parámetros de calibración:

//Valores de calibración pH
#define cal_point_10 1.985
#define cal_point_7 2.070
#define cal_point_4 2.227

// Temperatura de calibración
#define cal_temp 23.7

//valor de calibración de Conductividad:
//Valor 1 usado para calibrar el sensor
#define point1_cond 10500
//Valor 2 usado para calibrar el sensor
#define point2_cond 40000
//Punto 1 de la calibración
#define point1_cal 197.00
//Punto 2 de la calibración
#define point2_cal 150.00
//Valor de calibración de Oxigeno disuelto
//Calibración del sensor en aire normal
#define air_calibration 2.65
//Calibración del sensor bajo solución al 0%
#define zero_calibration 0.0

```

```

////////////////////////////////////
//Sensores:
pHClass pHSensor;
pt1000Class temperatureSensor;
conductivityClass ConductivitySensor;
DOClass DOSensor;

////////////////////////////////////
//Otras variables
uint8_t error;
uint8_t status;
unsigned long previous;
uint8_t udp_handle = 0;

////////////////////////////////////
////////////////////////////////////
//Programación
void setup()
{
  USB.println(F("Start program"));
  //////////////////////////////////////
  // 1. Encender módulo de Wifi
  //////////////////////////////////////
  error = WIFI_PRO.ON(socket);

  if (error == 0)
  {
    USB.println(F("1. WiFi Encendido"));
  }
  else
  {
    USB.println(F("1. WiFi no se inicio correctamente"));
  }
  //////////////////////////////////////
}

```

```

// 2. Reseteo valores
////////////////////////////////////
error = WIFI_PRO.resetValues();

if (error == 0)
{
    USB.println(F("2. WiFi restablecer a los valores predeterminados"));
}
else
{
    USB.println(F("2. Restablecer WiFi predeterminado "));
}
////////////////////////////////////
// 3. Establecer ESSID
////////////////////////////////////
error = WIFI_PRO.setESSID(ESSID);

if (error == 0)
{
    USB.println(F("3. WiFi configurado ESSID OK"));
}
else
{
    USB.println(F("3. WiFi configurado ESSID ERROR"));
}

////////////////////////////////////
// 4. Autenticar contraseña (Wifi)
// OPEN: no security
// WEP64: WEP 64
// WEP128: WEP 128
// WPA: WPA-PSK with TKIP encryption
// WPA2: WPA2-PSK with TKIP or AES encryption
////////////////////////////////////

```

```

error = WIFI_PRO.setPassword(WPA2, PASSW);

if (error == 0)
{
  USB.println(F("4. Clave de autenticación WiFi configurada OK"));
}
else
{
  USB.println(F("4. Clave de autenticación WiFi configurada ERROR"));
}

////////////////////////////////////
// 5. Los parámetros de reinicio del software
/////surten efecto después de un restablecimiento
/////de hardware o software
////////////////////////////////////
error = WIFI_PRO.softReset();

if (error == 0)
{
  USB.println(F("5. Reinicio de WiFi OK"));
}
else
{
  USB.println(F("5. Reinicio de WiFi ERROR"));
}

{
  USB.println(F("*****"));

////////////////////////////////////
// Obtener la hora actual
previous = millis();

```



```

////////////////////////////////////
////Calibración de sensores///
USB.ON();

// Almacenar los valores de calibración
pHSensor.setCalibrationPoints(cal_point_10, cal_point_7, cal_point_4, cal_temp);
// Configurar los parametros de calibración
ConductivitySensor.setCalibrationPoints(point1_cond, point1_cal, point2_cond, point2_cal);
//Configurar los valores de calibración Oxigeno disuelto
DOSensor.setCalibrationPoints(air_calibration, zero_calibration);

////////////////////////////////////
// 1. Encender la Smart Water sensor board
////////////////////////////////////
Water.ON();
}

/////UDP////
{
USB.println(F("Inicio de programa"));
USB.println(F("*****"));

USB.println(F("*****"));
}
}

void loop()
{
{

////////////////////////////////////
// Lectura de los sensores
////////////////////////////////////
//Lectura del sensor de ph (valor de voltaje)
pHVol = pHSensor.readpH();

```

```

//Lectura del sensor de temperatura
temp = temperatureSensor.readTemperature();
//Convertir el valor leído con la información obtenida en la calibración
pHValue = pHSensor.pHConversion(pHVol, temp);
//Lectura del sensor de conductividad
ECRes = ConductivitySensor.readConductivity();
//Conversión de resistencia a us/cm
ECValue = ConductivitySensor.conductivityConversion(ECRes);
//Lectura del sensor ORP
DOVol = DOSensor.readDO();
//Conversión de voltios en porcentaje de oxígeno disuelto
DOValue = DOSensor.DOConversion(DOVol);
////////////////////////////////////
// Imprimir los valores de salida
////////////////////////////////////

USB.print(F(" Valor de pH: "));
USB.print(pHVol);
USB.print(F(" volts | "));
USB.print(F(" Temperatura: "));
USB.print(temp);
USB.print(F(" grados | "));
USB.print(F(" pH estimado: "));
USB.println(pHValue);
USB.print(F(" Resistencia de salida de conductividad: "));
USB.print(ECRes);
USB.print(F(" Conductividad de la solución (uS/cm): "));
USB.println(ECValue);
USB.print(F(" Voltaje de salidad OD: "));
USB.print(DOVol);
USB.print(F(" Poceraje de OD: "));
USB.println(DOValue);
}
////////////////////////////////////

```

```

// Conectarse al Punto de Acceso
////////////////////////////////////

// Compruebe si el módulo está conectado
if (WIFI_PRO.isConnected() == true)
{
    USB.print(F("WiFi está conectado OK"));
    USB.print(F(" Tiempo(ms):"));
    USB.println(millis()-previous);
}
else
{
    USB.print(F("WiFi está conectado ERROR"));
    USB.print(F(" Tiempo(ms):"));
    USB.println(millis()-previous);
}

///UDP///
// Obtener tiempo real
previous = millis();

// verificar conectividad
status = WIFI_PRO.isConnected();

{
    //////////////////////////////////////
    // UDP
    //////////////////////////////////////

// Verificar que el modulo se encuentra conectado
if (status == true)
{
    //////////////////////////////////////
    // 3.1. Abrir socket UDP

```

```

////////////////////////////////////
error = WIFI_PRO.setUDP( HOST, REMOTE_PORT, LOCAL_PORT);

// Verificar respuesta
if (error == 0)
{
    // Obtener UDP handle
    udp_handle = WIFI_PRO._socket_handle;

    USB.print(F("3.1. Abrir socket UDP OK in handle: "));
    USB.println(udp_handle, DEC);
}
else
{
    USB.println(F("3.1. Error al llamar a la función 'setUDPclient' "));
    WIFI_PRO.printErrorCode();
    status = false;
}

if (status == true)
{
    //////////////////////////////////////
    // Definición de variables
    //////////////////////////////////////
    frame.createFrame(ASCII);
    frame.addSensor(SENSOR_WATER_WT, temp);
    frame.addSensor(SENSOR_WATER_PH, pHValue);
    frame.addSensor(SENSOR_WATER_DO, DOValue);
    frame.addSensor(SENSOR_WATER_COND, ECValue);
    frame.showFrame();
    error = WIFI_PRO.send(udp_handle, frame.buffer, frame.length);
}
{
    delay(1000);
}

```

```

    USB.print(F("Temperatura valor directo: "));
    USB.println(temp);

delay(1000);

    USB.print(F("pH valor directo: "));
    USB.println(pHValue);

delay(1000);

    USB.print(F("DO valor directo: "));
    USB.println(DOValue);

delay(1000);

    USB.print(F("Conductividad valor directo: "));
    USB.println(ECValue);
}
// check response
if (error == 0)
{
    USB.println(F("3.2. Envío de datos OK"));
}
else
{
    USB.println(F("3.2. Error llamando funcion 'enviar'"));
    WIFI_PRO.printErrorCode();
}

////////////////////////////////////
// cerrar socket
////////////////////////////////////
error = WIFI_PRO.closeSocket(udp_handle);

```

```
// check response
if (error == 0)
{
  USB.println(F("3.4. Cerrar socket OK"));
}
else
{
  USB.println(F("3.4. Error llamando función 'cerrar Socket' "));
  WIFI_PRO.printErrorCode();
}
}
}

USB.println(F("Esperar 10 segundos...\n"));
delay(1000);
}

////////////////////////////////////
// Fin de programa
////////////////////////////////////
```

Anexo B Programación SCADA en LabVIEW

Elementos de programación

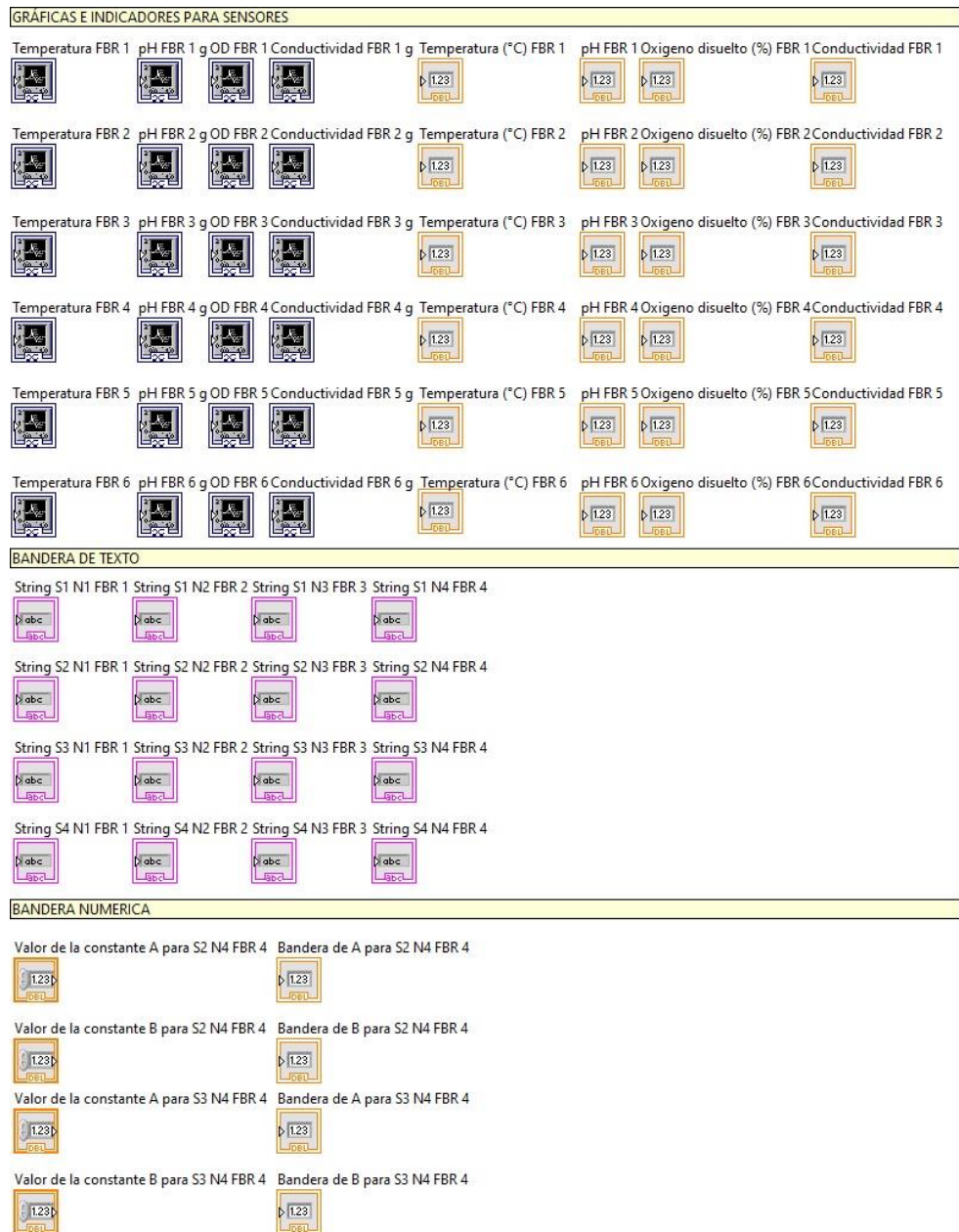


Figura B 1 Gráficas e indicadores de los parámetros

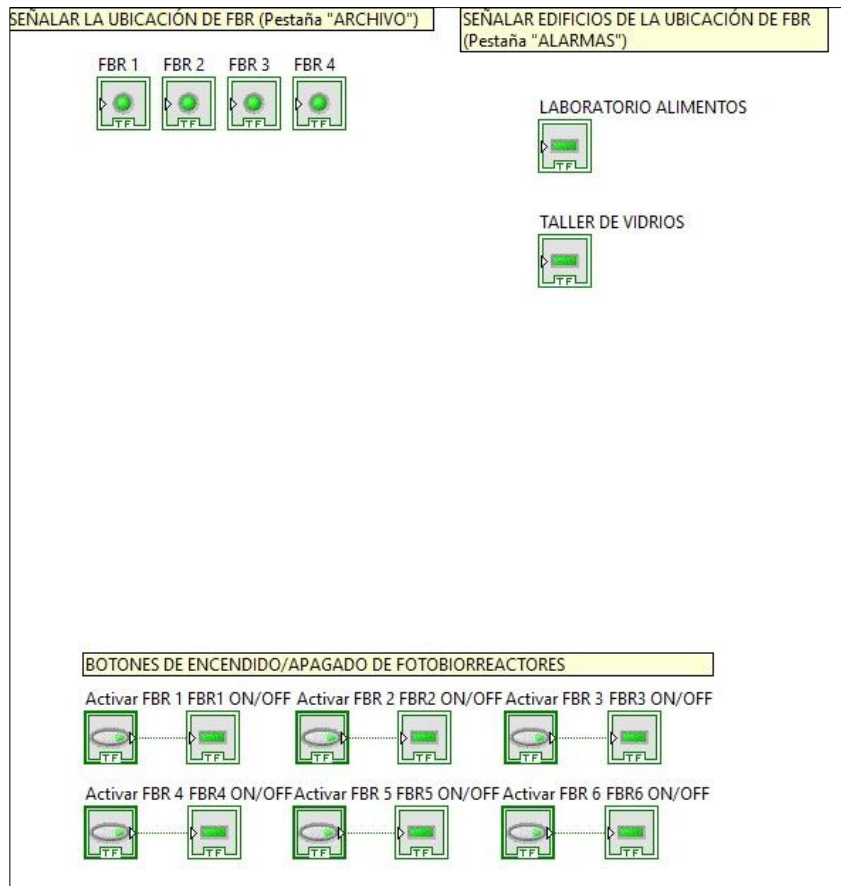


Figura B 2 Elementos booleanos de programación

PROGRAMACIÓN DE PESTAÑAS

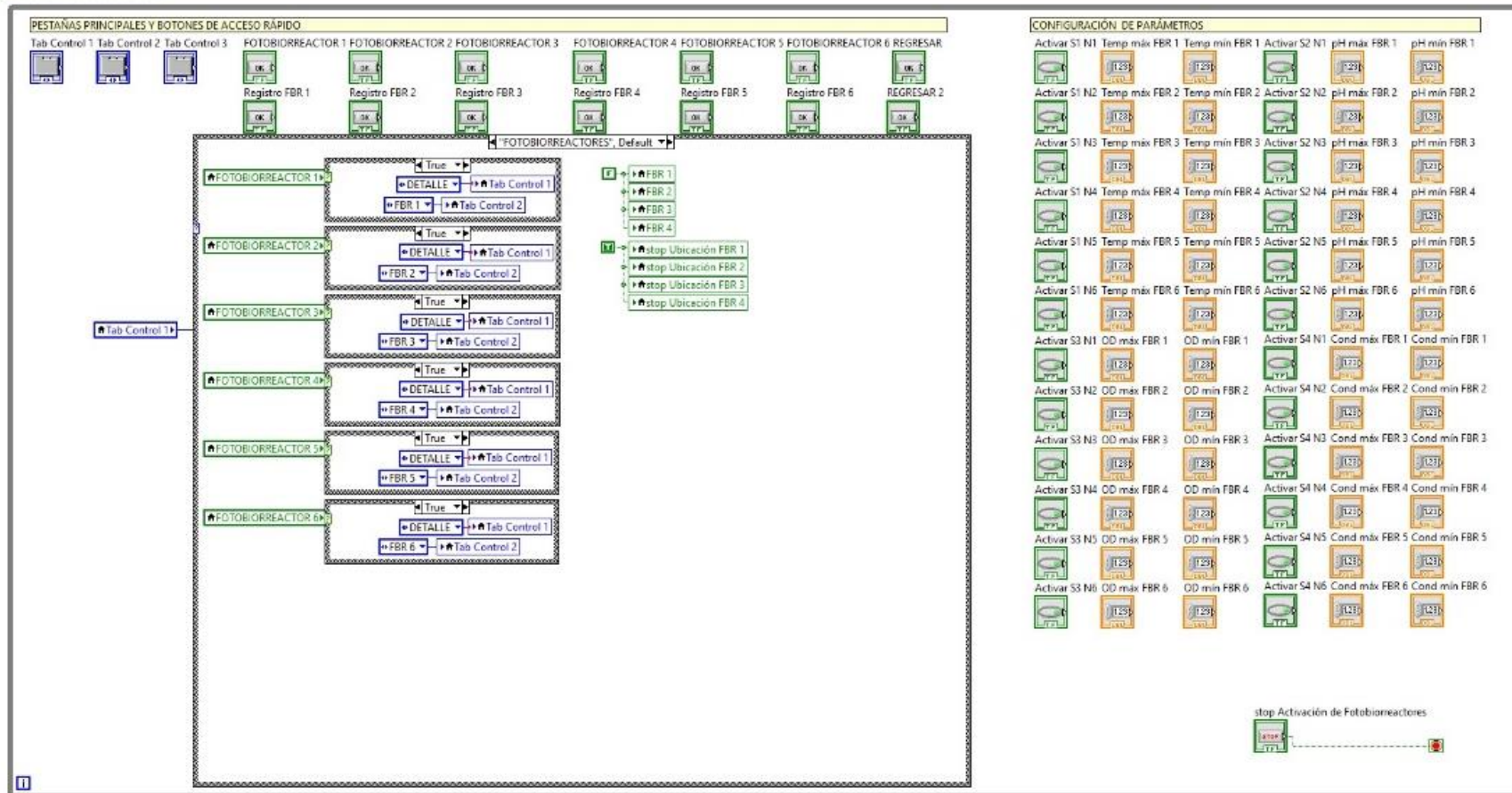


Figura B 3 Programación de pestañas

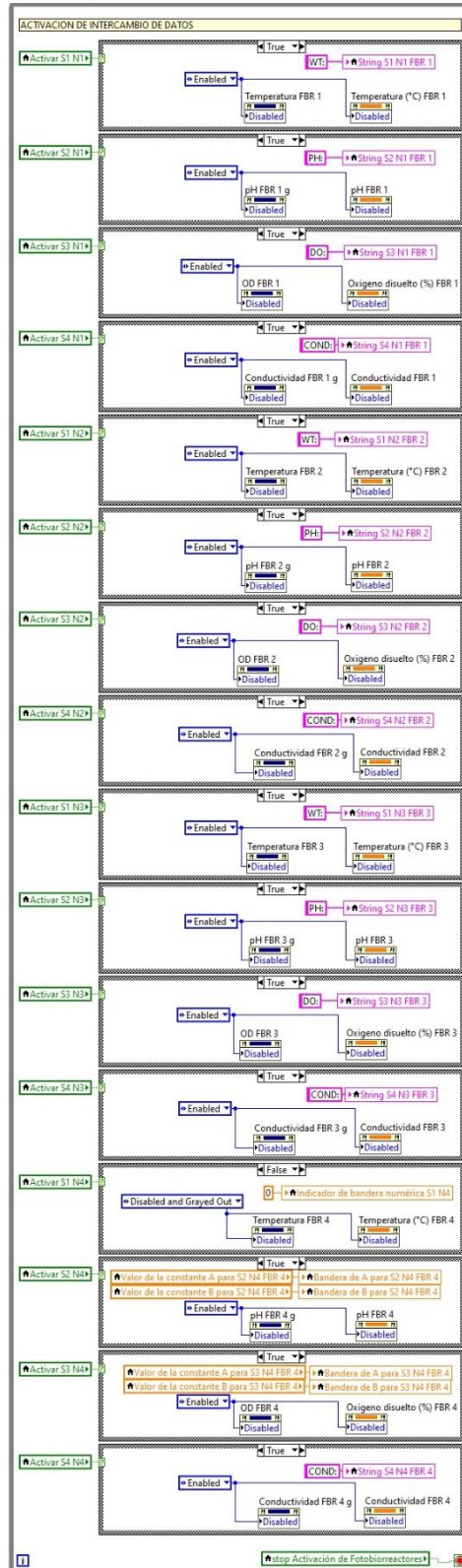
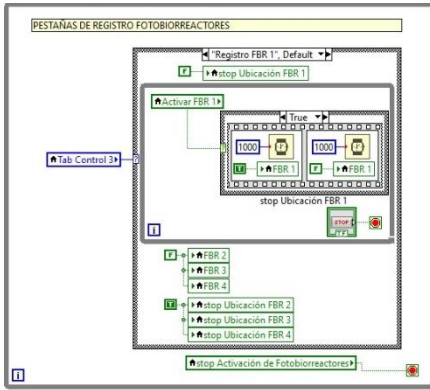


Figura B 4 Pestañas "Registro" y activación de sensores

RECEPCIÓN DE DATOS (LIBELIUM)

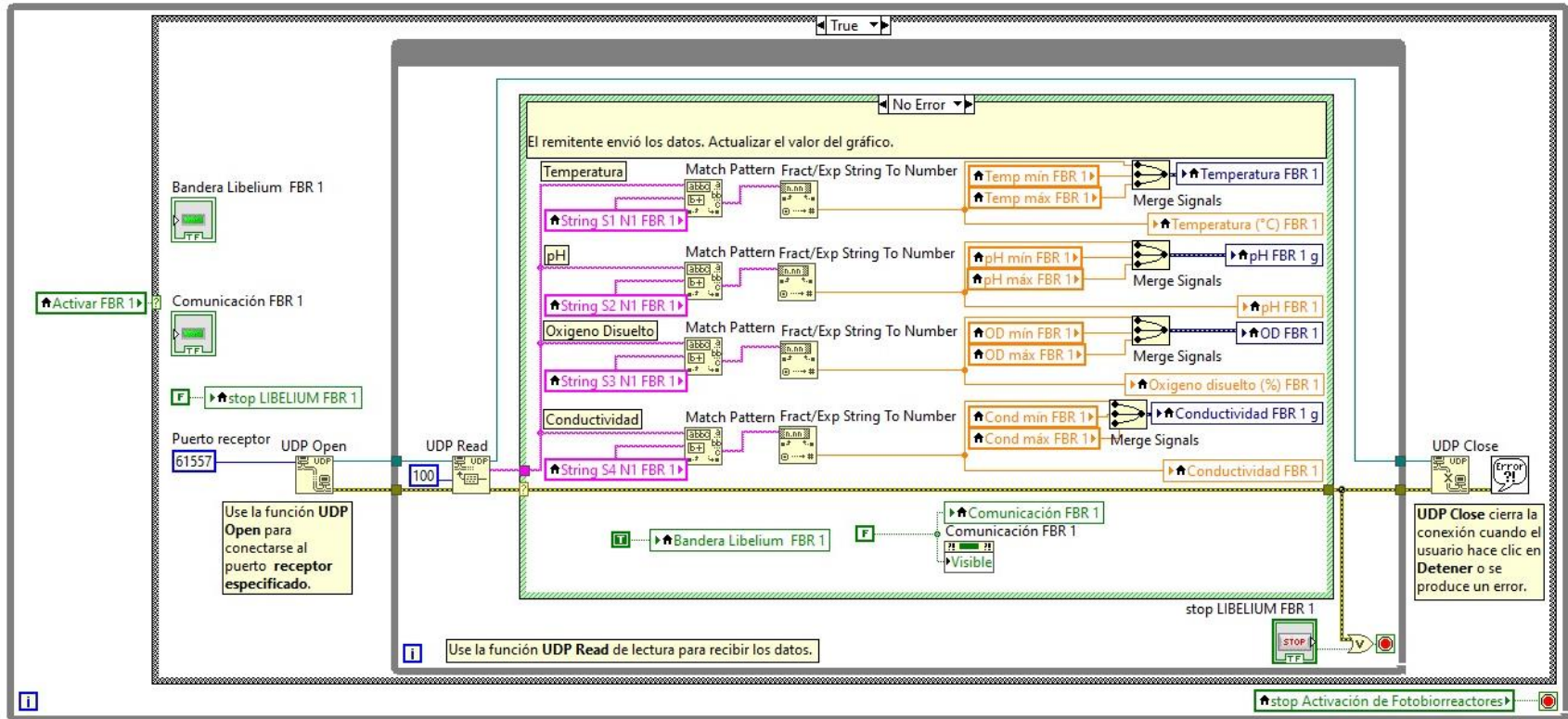


Figura B 5 Recepción de datos desde Waspmote

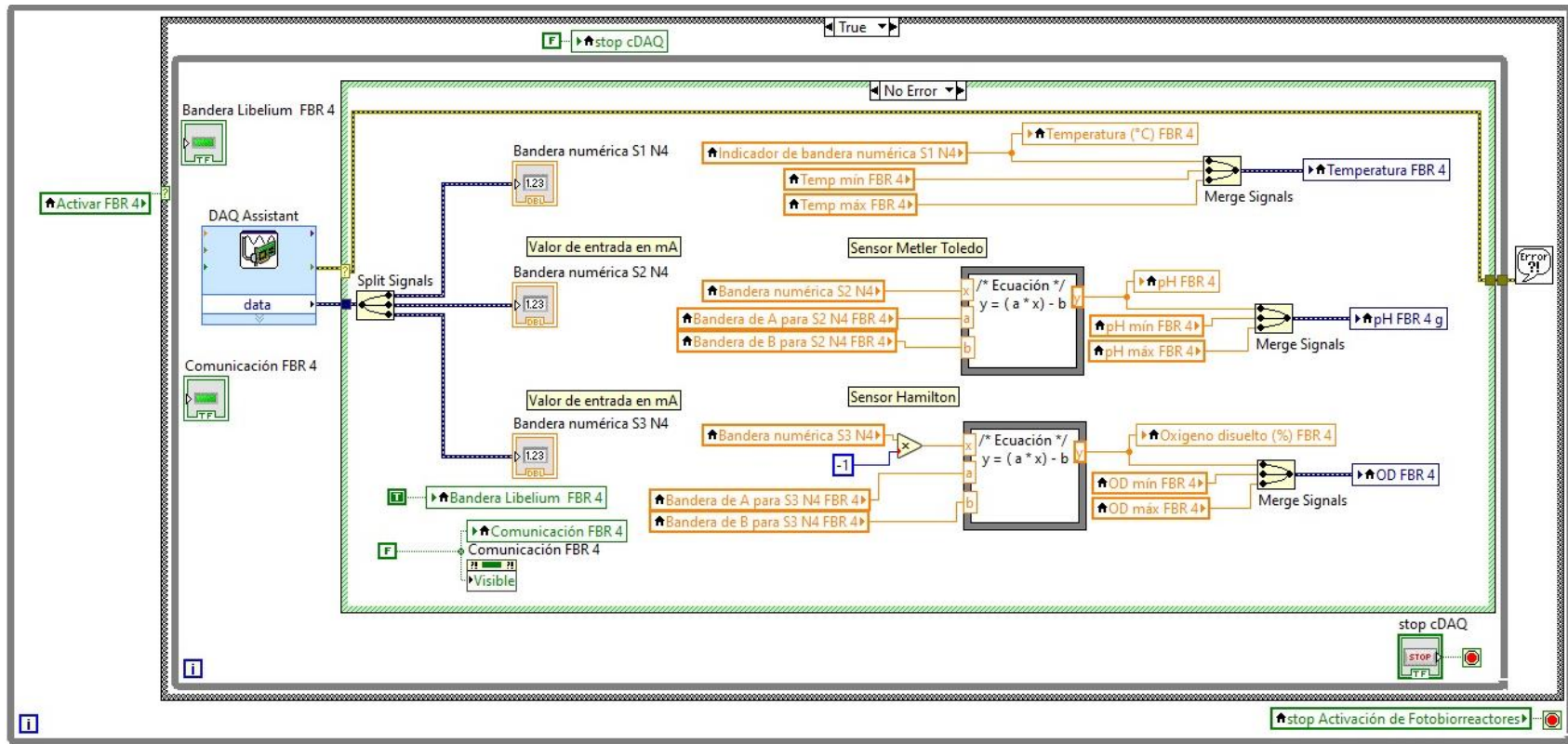


Figura B 6 Recepción de datos desde cDAQ

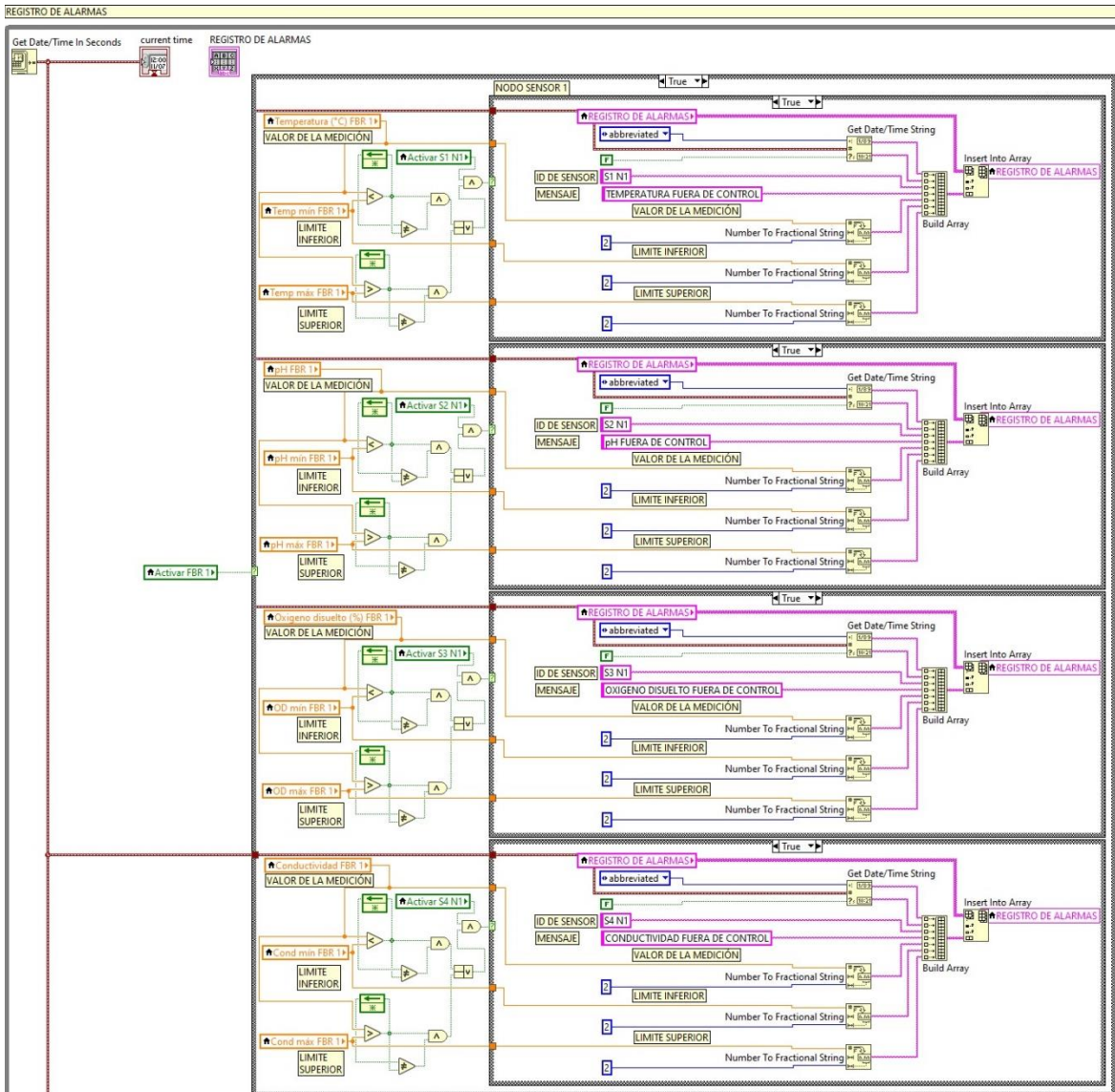


Figura B 7 Registro de alarmas nodo sensor 1

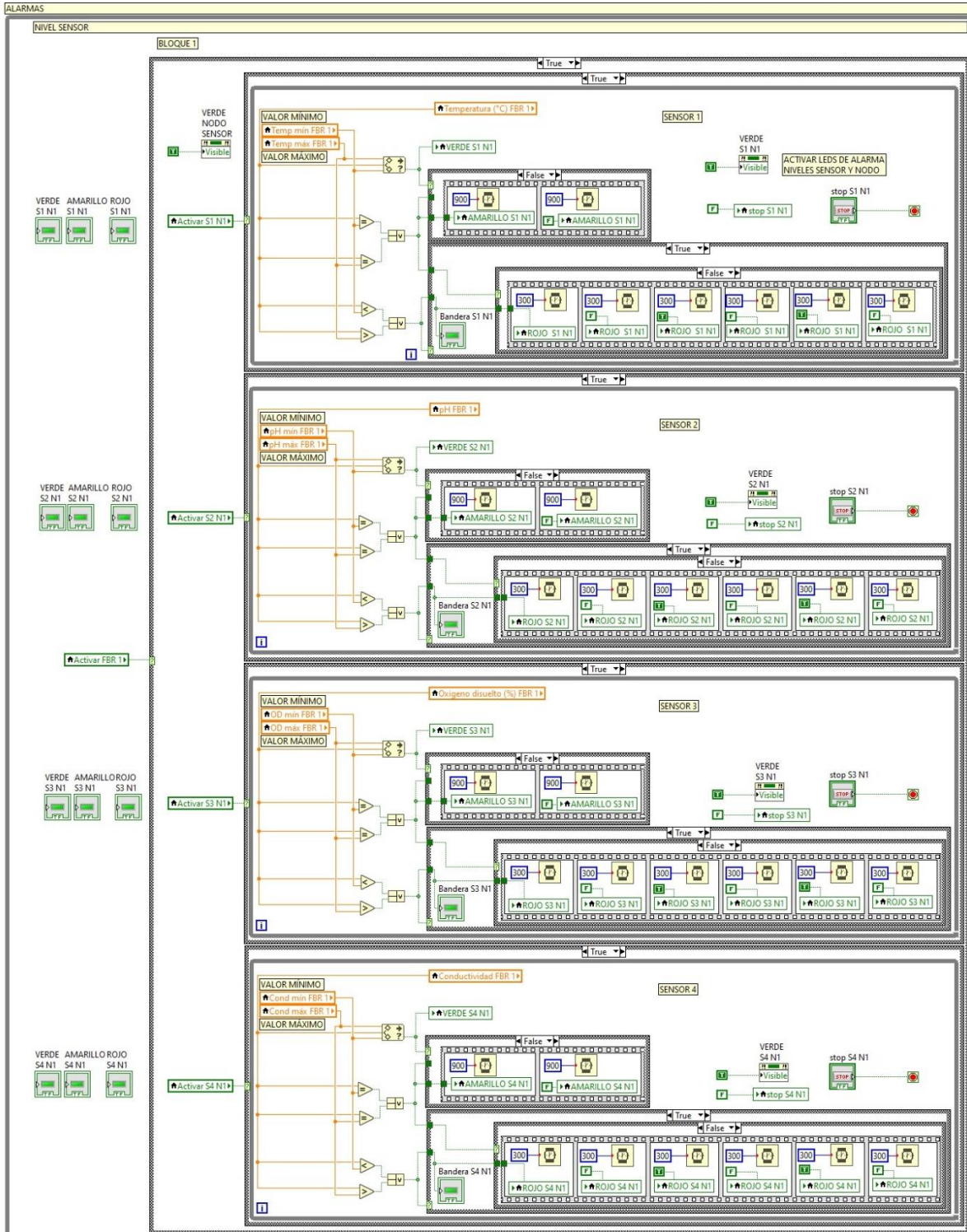


Figura B 8 Alarma visual nivel sensor

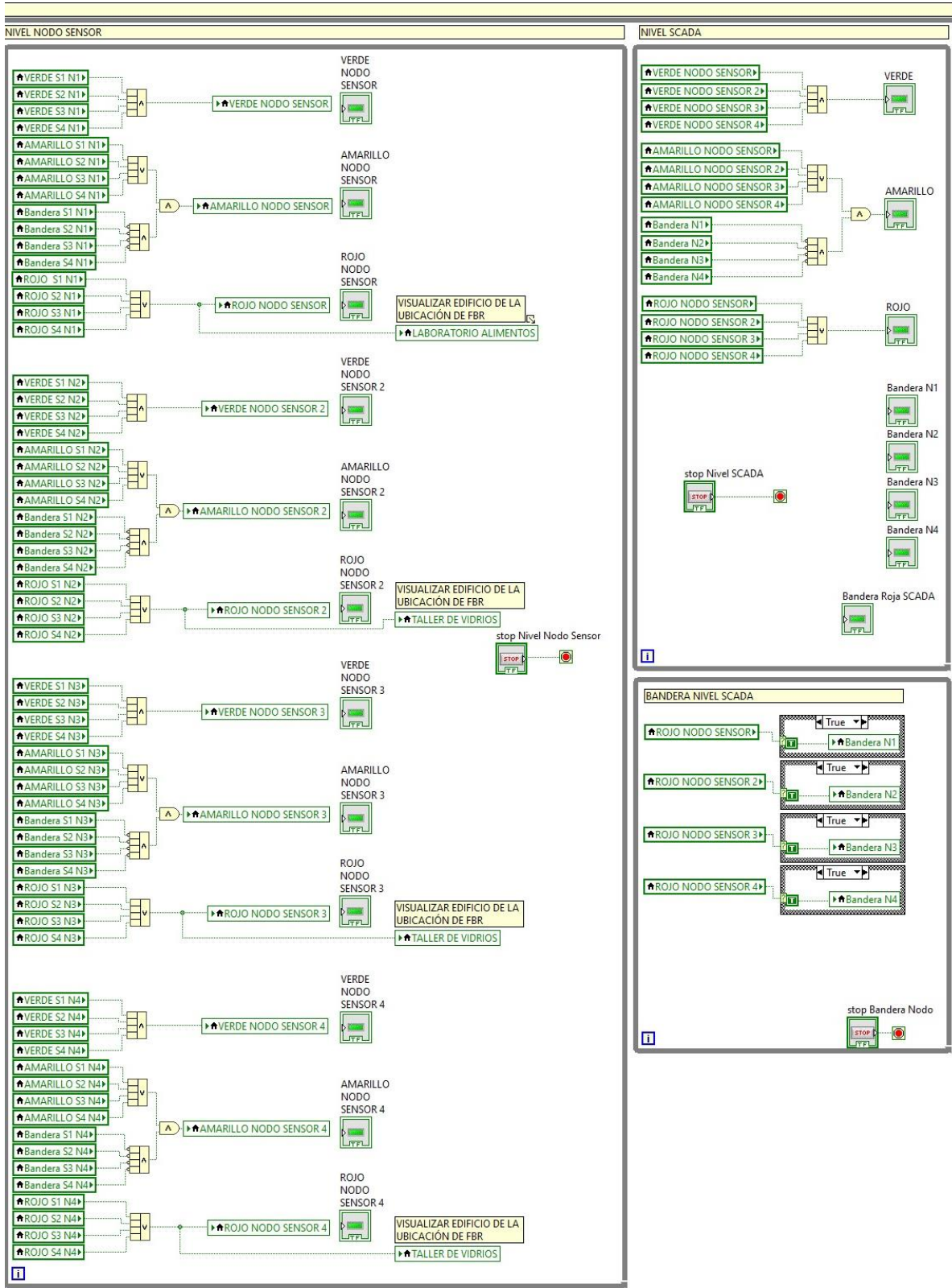


Figura B 9 Alarma visual niveles nodo sensor y SCADA

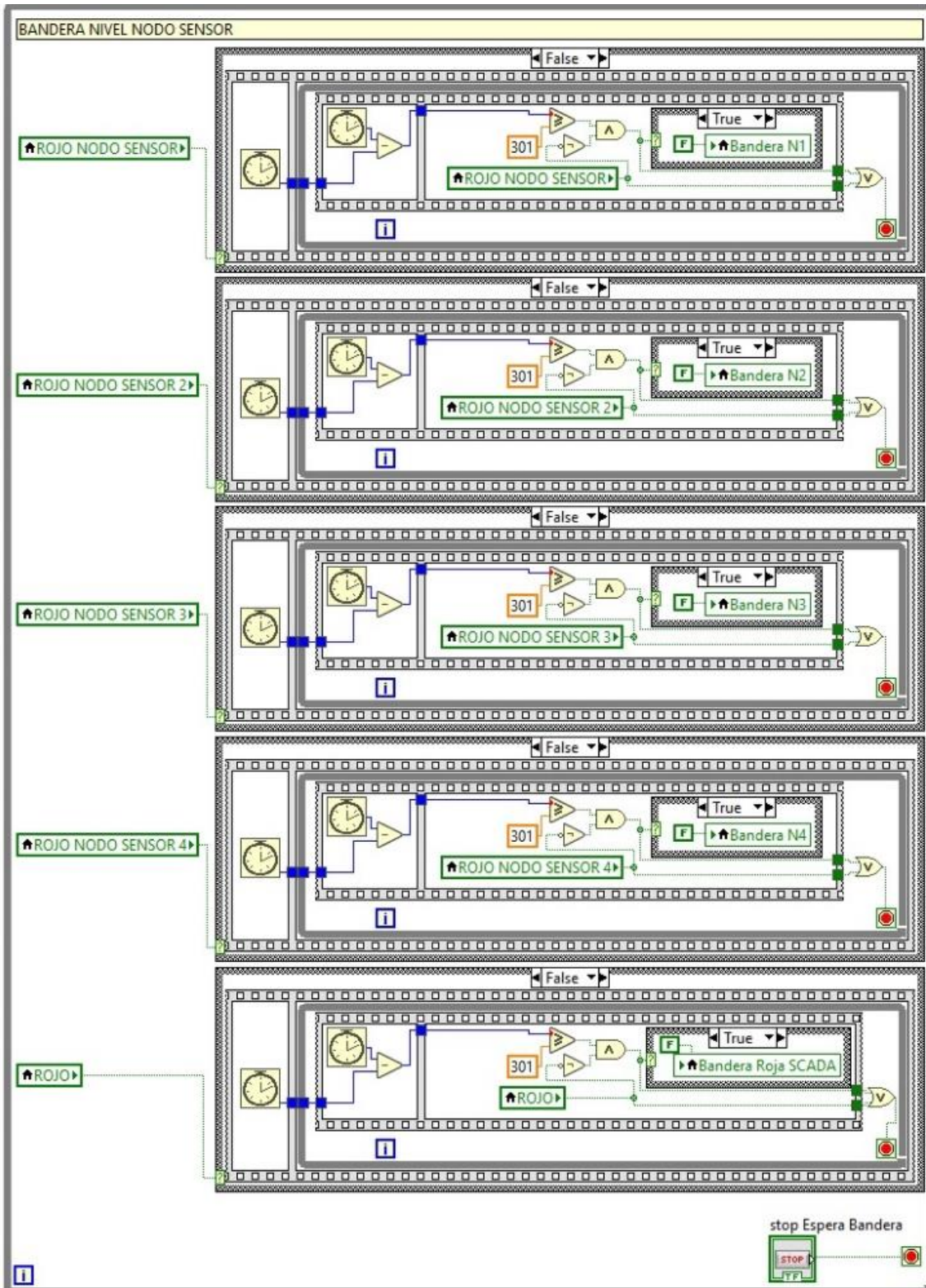


Figura B 10 Programación de banderas nivel nodo sensor

ALARMA SONORA

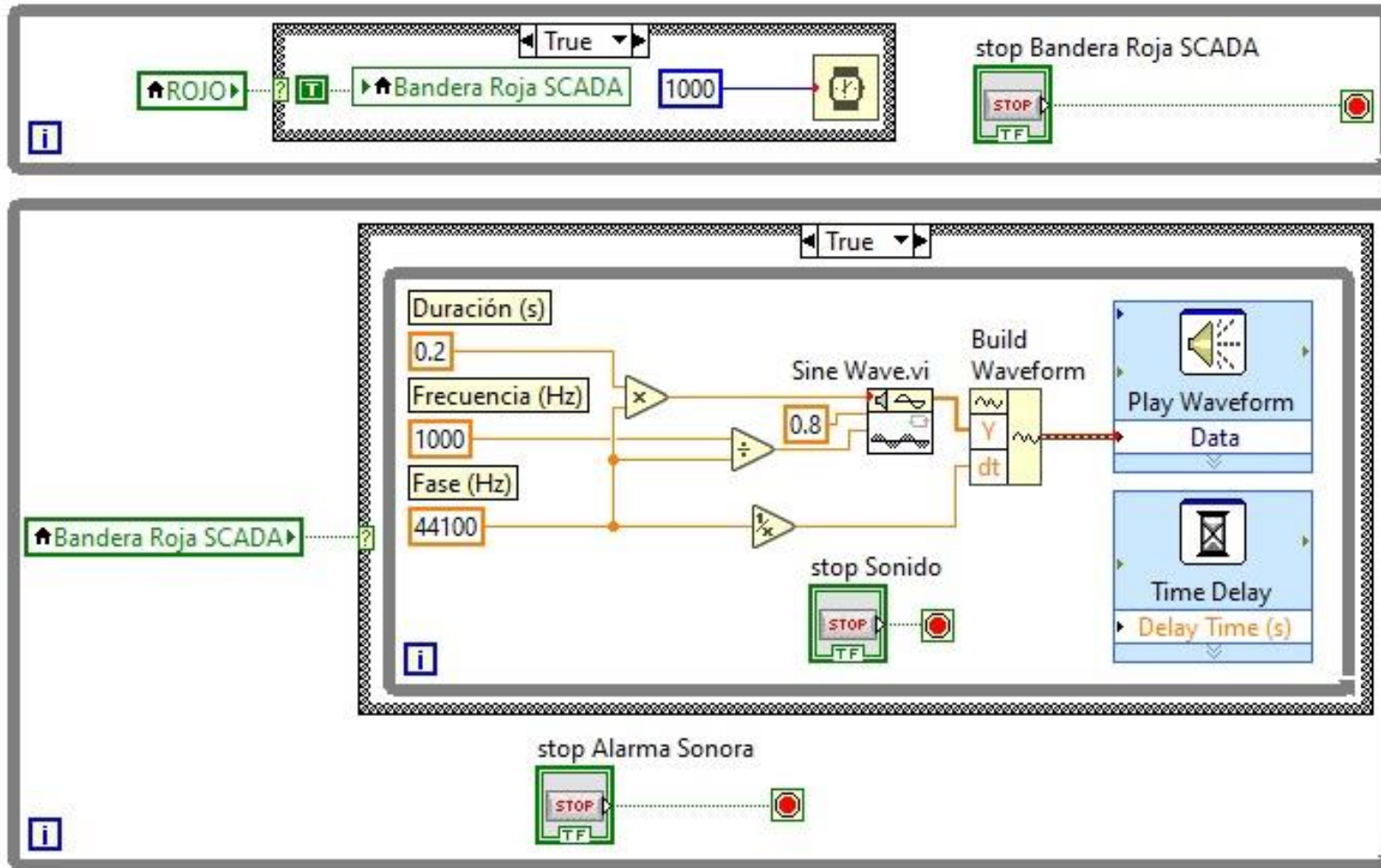


Figura B 11 Alarma sonora

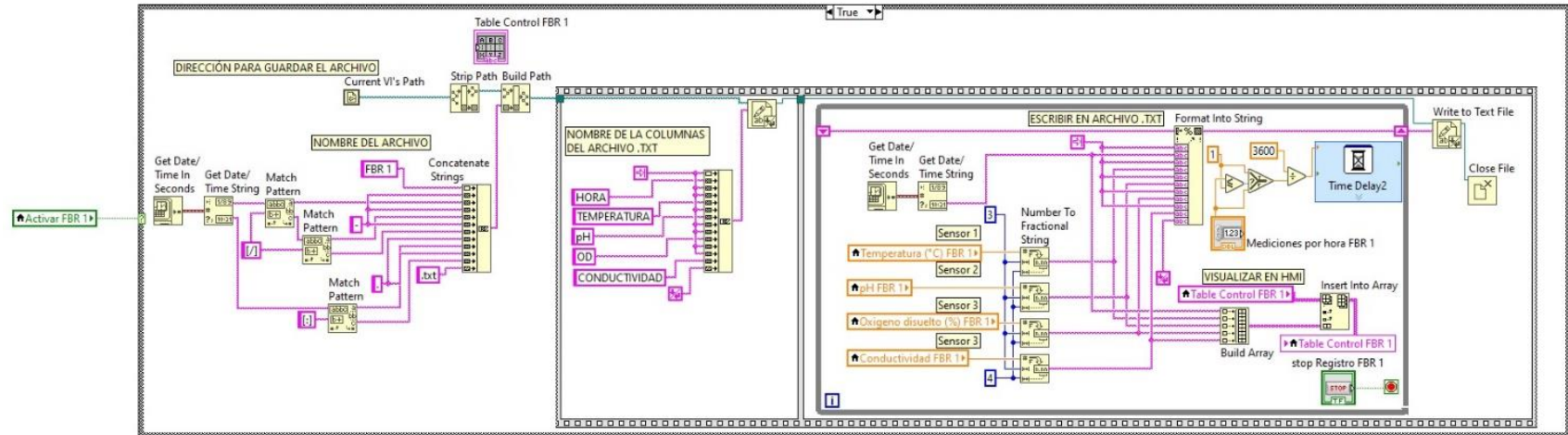


Figura B 12 Registro de datos en la base de datos

UBICACIÓN DE LOS BOTONES DE PARO PARA EL PROGRAMADOR (UBICADOS A LA IZQUIERDA EN EL FRONT PANEL)

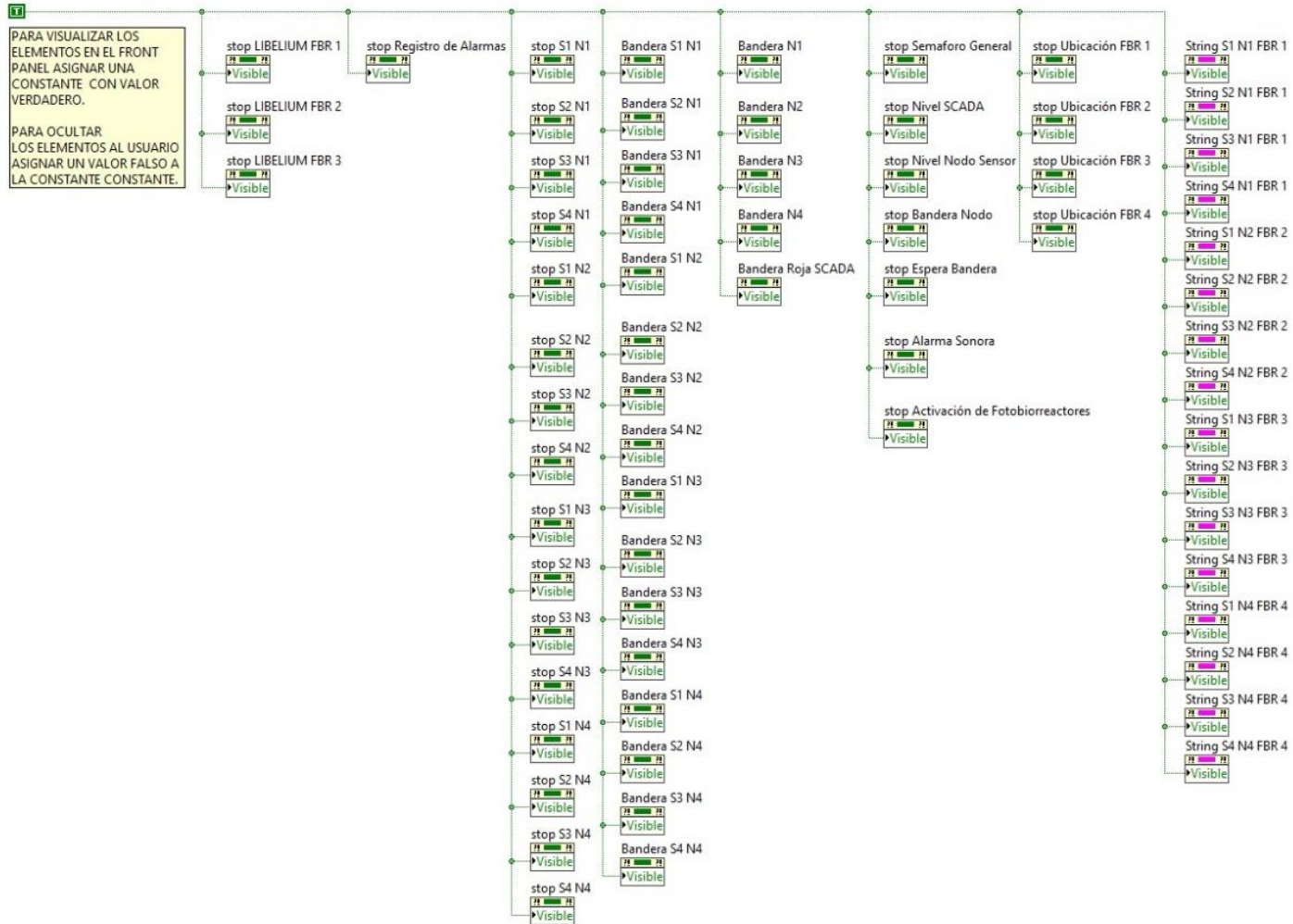
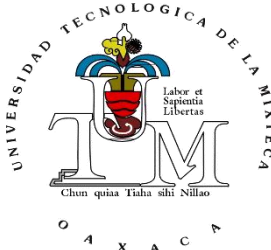


Figura B 13 Ocultar elementos del Front Panel

Anexo C Manual de usuario Sistema SCADA



SISTEMA SCADA PARA EL MONITOREO DE CULTIVO DE MICROALGAS



Manual de usuario SCADA MCM

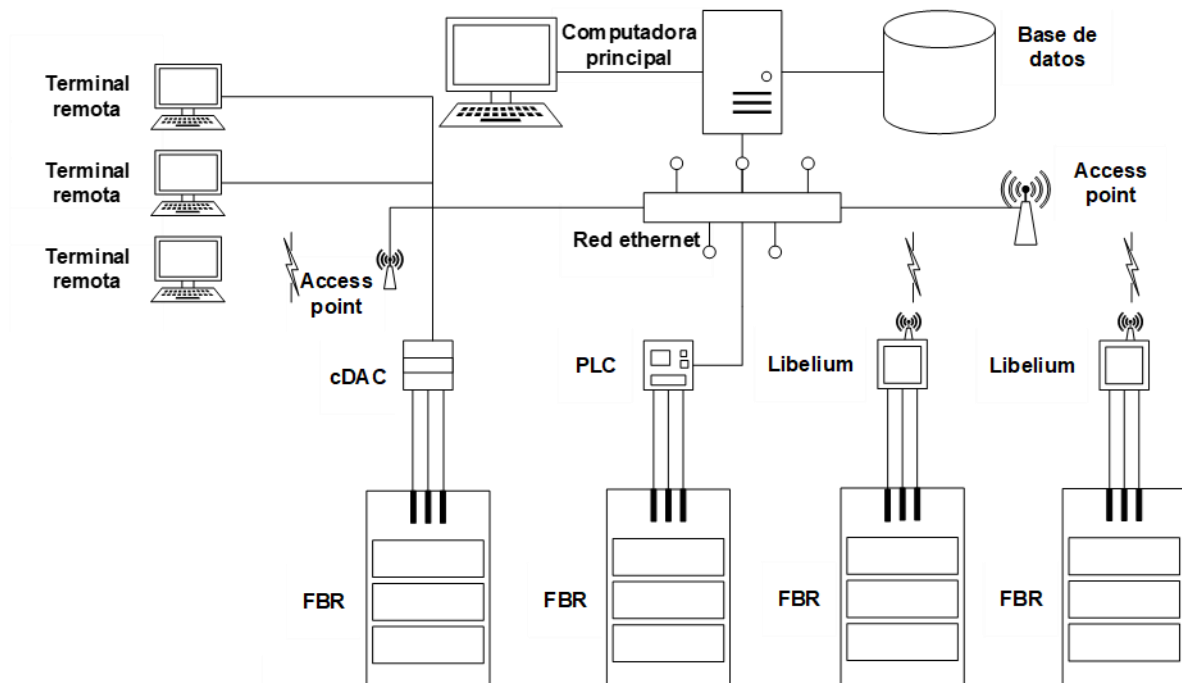


CONTENIDO

Introducción	86
1. Funciones y diseño de la interfaz Hombre-Máquina (HMI).....	87
1.1 Estructura de la interfaz HMI	87
1.2 Pestaña “Fotobiorreactores”	90
1.3 Pestaña “Detalle”	91
1.4 Pestaña “Alarmas”	92
1.5 Pestaña “Archivo”	93
1.6 Pestaña “Plano UTM”	94
1.7 Pestaña “Configuración”	95
1.8 Pestaña “+”	96
1.9 Puesta en marcha del SCADA	96
2. Waspnote	97
2.1 Conexión de Sensores	98
2.2 Conexión de antena de comunicaciones	99
2.3 Conexión USB.....	100
2.4 Programación de Waspnote Smart Water	100
3. cDAQ	104
3.1 Sensor de temperatura.....	105
3.2 Sensor de pH	105
3.3 Sensor de oxígeno disuelto HAMILTON	107
3.4 Conexión cDAQ.....	111

Introducción

El sistema SCADA MCM, es una herramienta desarrollada para ser utilizada en aplicaciones relacionadas con el monitoreo del cultivo de microalgas. Consta de una interfaz gráfica con la cual se pueden visualizar y procesar los datos obtenidos por medio de dispositivos de tipo nodo sensor que se ubican directamente con los fotobiorreactores. Estos últimos son dispositivos cerrados donde se realiza el proceso de cultivo de microalgas. Los nodos reciben información directamente de los sensores y se comunican con la computadora principal vía Wi-Fi o Ethernet, de acuerdo a sus características. La estructura del sistema SCADA MCM se muestra en la siguiente figura.



1. Funciones y diseño de la interfaz Hombre-Máquina (HMI)

La presentación de la pantalla principal de la interfaz HMI se encuentra dividida en cuatro áreas destinadas a diferentes usos:

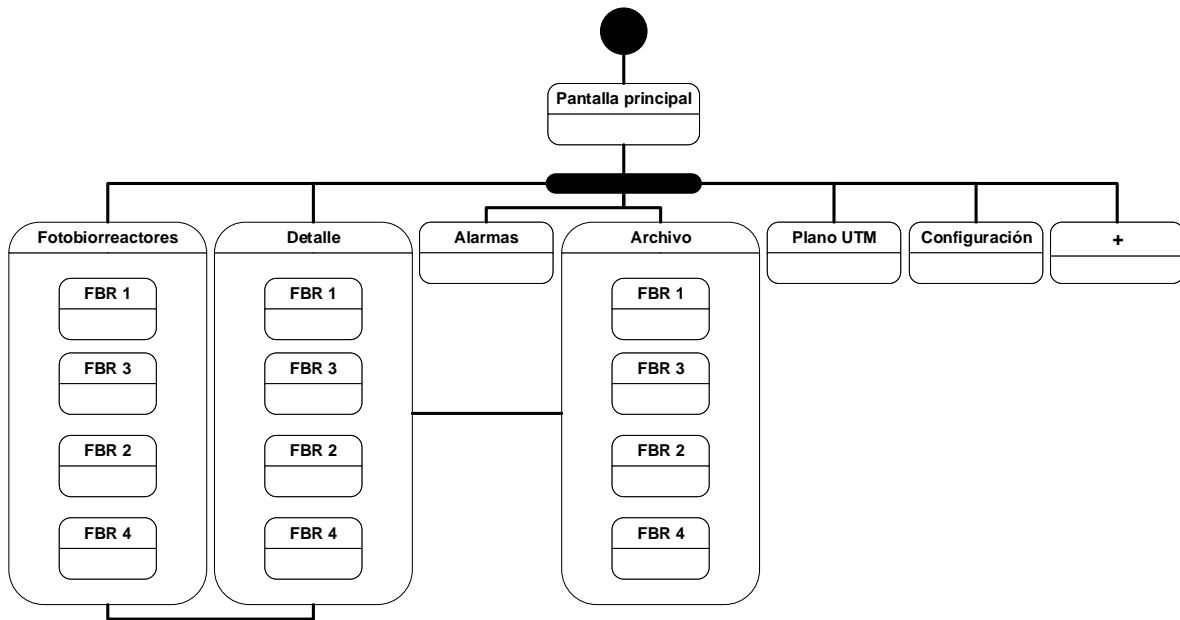
1. Alarma visual nivel SCADA.
2. Indicador de hora y fecha.
3. Menú.
4. Información de las pestañas.



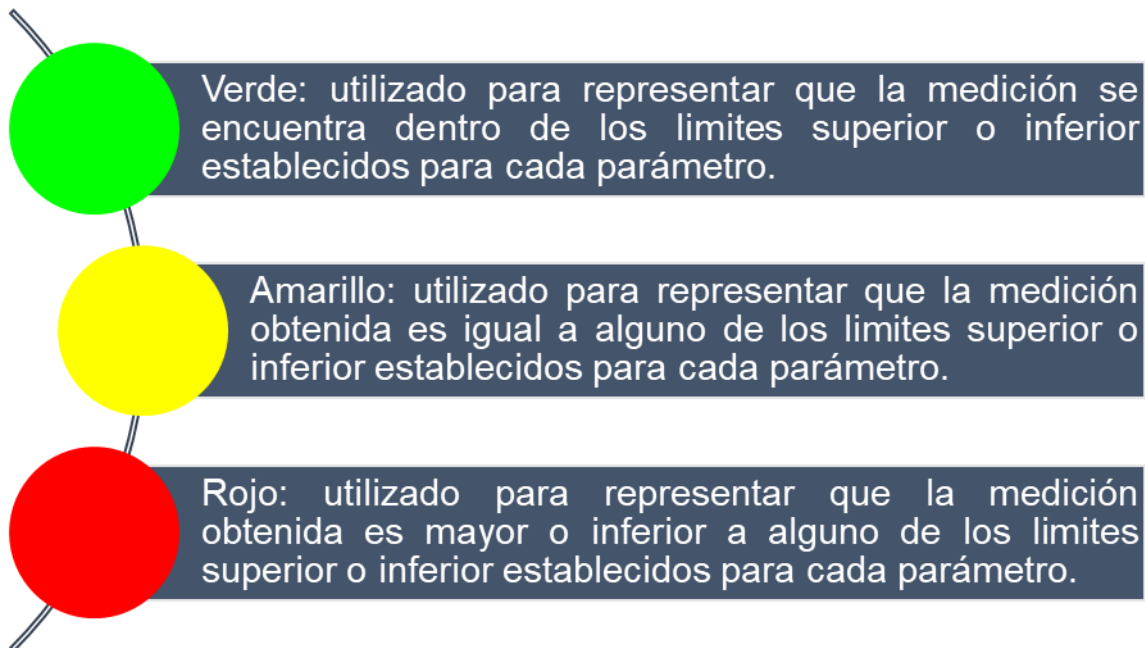
1.1 Estructura de la interfaz HMI

En el esquema de la estructura de la interfaz hombre-máquina, se presentan los elementos que integran las pestañas y su relación entre ellos. Las pestañas principales son:

- Fotobiorreactores (con acceso directo a la pestaña Detalle)
- Detalle (con acceso directo a las pestañas Archivo y Fotobiorreactores)
- Alarmas (acceso directo a la pestaña Detalle)
- Plano UTM
- Configuración
- +



La interfaz HMI contiene una alarma visual y otra auditiva, la primera es de tipo semáforo en la que se utilizan tres colores para indicar el estado de los fotobiorreactores con base en los valores de los datos adquiridos.



Se establece el funcionamiento de las alarmas utilizando una clasificación compuesta de tres niveles:

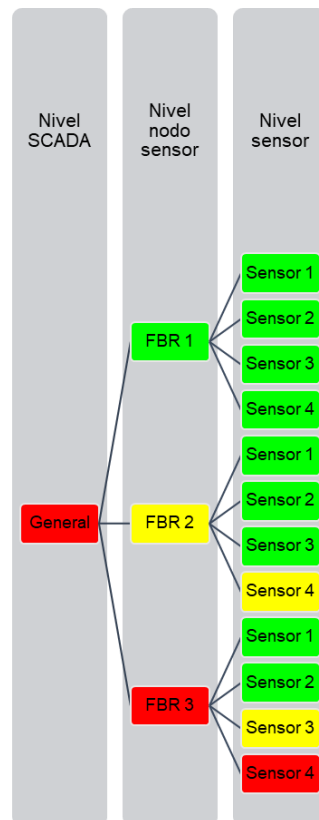
- **Nivel sensor:** funciona con la información recibida por sensor y emite el color de acuerdo con el valor recibido respecto a los límites máximo y mínimo establecidos por el usuario.

- **Nivel nodo sensor:** funciona con la señal recibida por los sensores activos conectados al nodo sensor y respetando una jerarquía. En el caso de que los tres valores (verde, amarillo y rojo) se encuentren activos a nivel sensor, la prioridad se define de la siguiente manera:

Clasificación del nivel de prioridad en alarmas	
Color	Prioridad
Rojo	Más importante
Amarillo	Importancia moderada
Verde	Menor importancia

- **Nivel SCADA:** funciona con la señal recibida por los nodos activos respetando la jerarquía que se muestra en la clasificación del nivel de prioridad en alarmas.

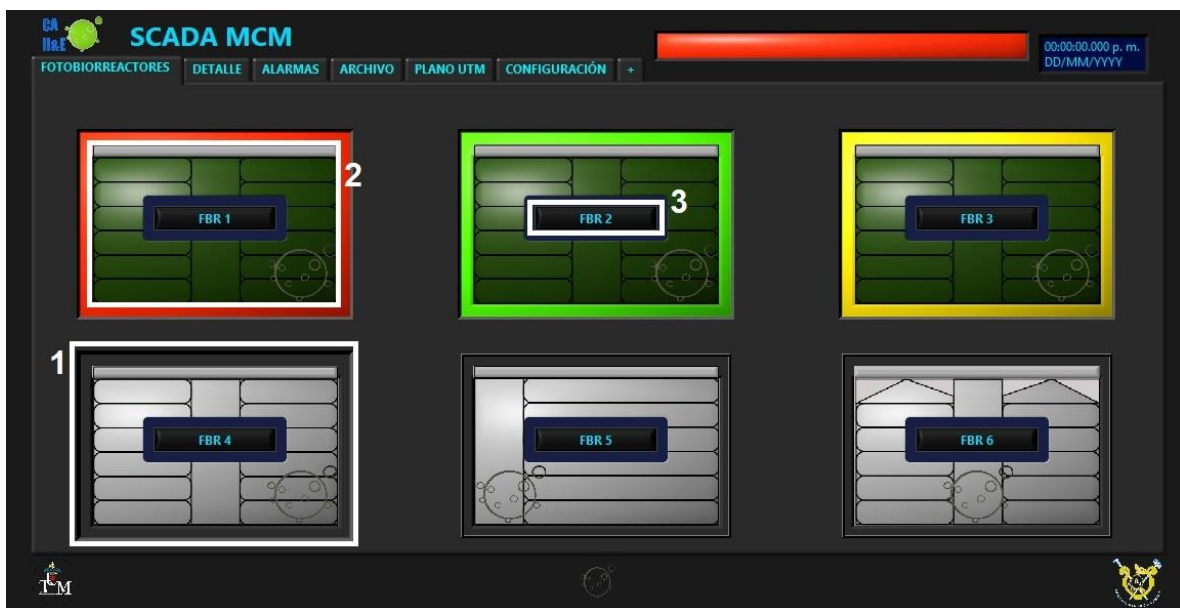
La alarma sonora se activará únicamente cuando en el nivel SCADA se presente una señal con máxima prioridad. A continuación, se muestra una imagen para ilustrar el funcionamiento de las alarmas en los tres niveles.



1.2 Pestaña “Fotobiorreactores”

En el apartado de “Fotobiorreactores” se incluyen los siguientes elementos visuales:

1. Alarma visual nivel fotobiorreactor.
2. Espacio de animación de encendido/apagado de fotobiorreactor. Cuando está activo, la animación se presentará en color verde, en caso contrario se mostrará en gris.
3. Botón de acceso directo a la pestaña “Detalle”. Se dirige a la dirección con la información correspondiente al número de fotobiorreactor.



Cuando se pierda comunicación entre el nodo sensor y la computadora en un periodo comprendido de dos minutos, el espacio de la animación del fotobiorreactor aparecerá cubierto en color rojo, incluyendo el área de la alarma visual del nivel nodo.



1.3 Pestaña “Detalle”

Se considera mostrar todas las mediciones de cada uno de los parámetros para cada fotobiorreactor.

1. Botón de acceso rápido a la pestaña “Fotobiorreactores”.
2. Menú de información de fotobiorreactores.
3. Espacio para identificar mediante el logotipo al nodo sensor utilizado para el fotobiorreactor correspondiente.
4. Botón de acceso rápido a la pestaña “Archivo”. Se dirige a la dirección con el registro de la información correspondiente al número de fotobiorreactor.
5. Alarma visual nivel sensor.
6. Gráfica de los datos con respecto del tiempo.
7. Indicador para visualizar el último dato recibido.



1.4 Pestaña “Alarmas”

En la tercera opción de las pestañas de la interfaz HMI, se utiliza de fondo en la parte derecha de la pantalla una parte del plano de la Universidad Tecnológica de la Mixteca, esto con el fin de orientar al usuario y que éste pueda identificar la ubicación de cada uno de los fotobiorreactores. El resto de elementos se listan a continuación:

1. Registro de alarmas. Se muestran los eventos cuando un parámetro se encuentra fuera de los límites establecidos por el usuario para cada parámetro, se muestra la fecha en la que sucedió, la hora de activación, el código de identificación del sensor y a qué nodo pertenece, el valor de la medición, así como los valores establecidos como máximo y mínimo por el usuario.
2. Indicador de la primera ubicación de los fotobiorreactores. El encendido del led de color rojo en será intermitente para señalar el edificio donde se encuentra el FBR en el que se realizan las pruebas.
3. Indicador de la segunda ubicación de los fotobiorreactores



1.5 Pestaña “Archivo”

En la información desplegada en la cuarta pestaña, se tienen elementos relacionados con los datos que serán almacenados en la base de datos.

1. Botón de acceso directo a la pestaña “Detalle”.
2. Menú de registro de fotobiorreactores.
3. Botón para detener el registro de datos para el fotobiorreactor correspondiente. Es necesario el presionar el botón para guardar correctamente el registro de datos del cultivo en la base de datos antes de detener la ejecución de la interfaz HMI.
4. Registro de datos recibidos para ser consultados por el usuario.
5. Plano con acercamiento a la zona donde se encuentra el edificio de la ubicación del fotobiorreactor.
6. Led para señalar la ubicación del edificio de la ubicación del fotobiorreactor. El encendido del led de color azul será intermitente para indicar que está activo e indicar el edificio donde se encuentra el FBR.



1.6 Pestaña “Plano UTM”

Espacio utilizado para que el usuario pueda consultar la ubicación de los fotobiorreactores respecto al campus de la universidad.



1.7 Pestaña “Configuración”

El apartado de “Configuración” permite al usuario especificar los fotobiorreactores a utilizar, así como los parámetros necesarios a medir en cada cultivo, cada uno de los cuales se describe a continuación:

1. Columna de configuración de temperatura. Se incluye el botón de activación del sensor y un control para los límites máximo y mínimo del parámetro que serán el utilizado para el tratamiento de datos en la parte de programación de las alarmas.
2. Columna de configuración de pH. Se incluye el botón de activación del sensor y un control para los límites máximo y mínimo que serán el utilizados para el tratamiento de datos relacionado con la programación de las alarmas.
3. Columna de configuración de oxígeno disuelto. Se incluye el botón de activación del sensor y un control para los límites máximo y mínimo.
4. Columna de configuración de conductividad. Se incluye el botón de activación del sensor y un control para los límites máximo y mínimo.
5. Renglón de configuración del FBR. Se incluye el botón de activación del FBR y el control del número de mediciones adquiridas por hora.



Los primeros cuatro fotobiorreactores se encuentran activados por defecto. Los FBR 1, FBR 2 y FBR 3 corresponden a una conexión con dispositivos del tipo Waspnote, mientras que el fotobiorreactor 4 se destina para una conectarse por medio de un cDAQ.

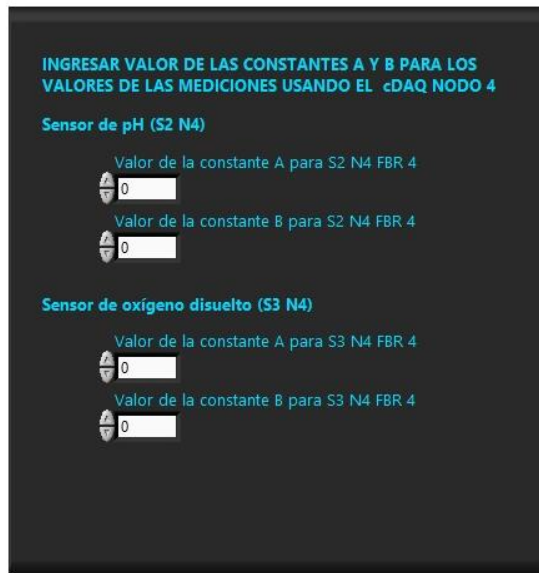
1.8 Pestaña “+”

En la última sección de pestañas se destina para la información sobre las partes involucradas para el desarrollo del SCADA.

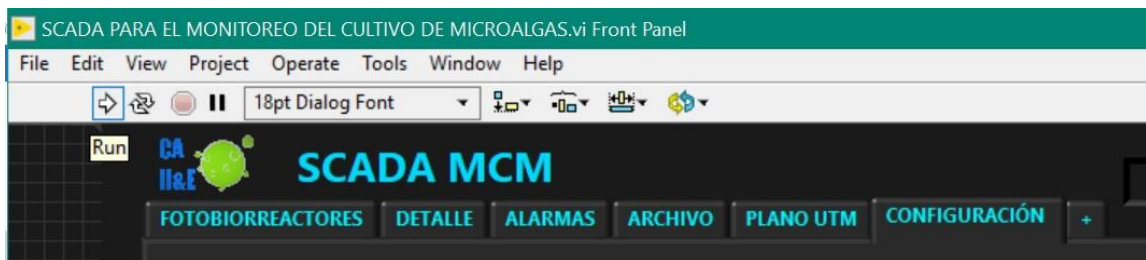


1.9 Puesta en marcha del SCADA

La puesta en marcha del sistema SCADA se realiza una vez configurados los fotobiorreactores y los parámetros a usar. Si se desea utilizar el FBR 4, el usuario debe dirigirse a la izquierda en la ventana “Front Panel” de LabVIEW para ingresar los valores de una ecuación lineal ($y = ax - b$), estos valores son determinados con la calibración de los sensores de pH y oxígeno disuelto.



Una vez terminada la configuración de los parámetros y encendidos los nodos sensores, de se procede a ejecutar la interfaz en LabVIEW, presionando el botón de “Run”, es necesario esperar unos segundos para comenzar a ver los datos recibidos desde los nodos.



La manera correcta de detener la ejecución de la interfaz HMI, es presionando el botón de “Stop” en la barra de comandos de LabVIEW.

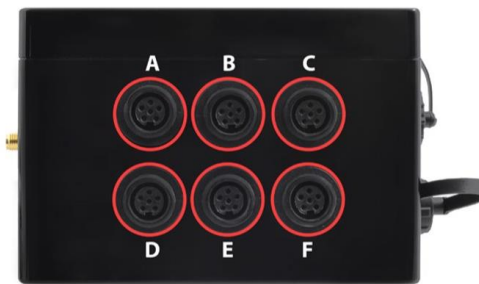
2. Waspnote

Uno de los dispositivos de tipo nodo sensor utilizados en como parte del sistema SCADA es el Waspnote Smart Water de la marca Libelium, desarrollado para medir parámetros relacionados con la calidad del agua.



2.1 Conexión de Sensores

De acuerdo con la información brindada por la empresa en su guía técnica para el dispositivo, se establece la identificación de puertos que se muestra en la siguiente figura:



Además, incluyen una tabla para indicar el puerto específico donde se deben conectar los sensores para un funcionamiento correcto del Wasp mote Smart Water.

Toma de sensor	Sondas de sensor permitidas para cada toma de sensor	
	Parámetro	Referencia
A	pH	9328
B	Oxígeno disuelto (DO)	9327
C	Conductividad	9326
E	Potenciales de Oxidación-Reducción (ORP)	9329
F	Temperatura del suelo/agua	9255-P (incluido por defecto)
	Turbidez	9353-P

Una vez identificados los sensores con su correspondiente puerto de conexión, se procede a conectar el sensor como se muestra en la siguiente figura:

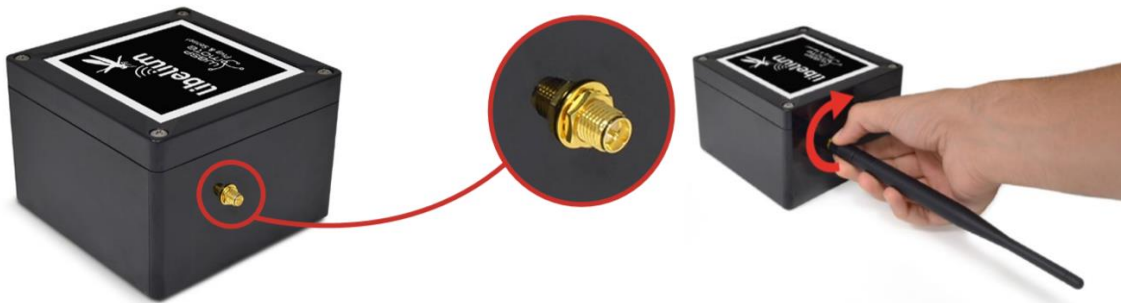


Una vez introducido correctamente el conector se procede a enroscar el sensor para un uso seguro.



2.2 Conexión de antena de comunicaciones

El Waspote ofrece conexión inalámbrica mediante diferentes protocolos para el envío de información, para ello es necesario conectar la antena a un costado del dispositivo.



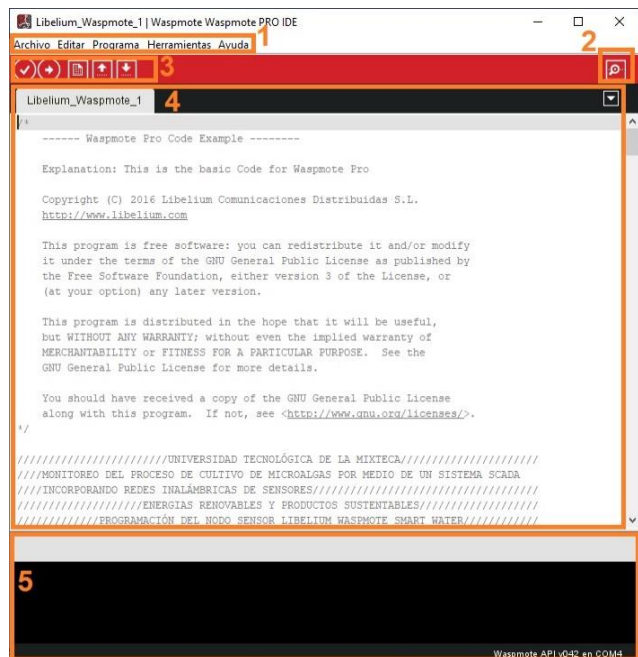
2.3 Conexión USB

El Wasmote cuenta con un puerto USB para la conexión a una fuente de energía eléctrica o con una computadora para cargar el código y para el monitoreo del dispositivo.



2.4 Programación de Wasmote Smart Water

La empresa Libelium ofrece el Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) que contiene la API Wasmote (la API es el conjunto de todas las bibliotecas que Wasmote necesita para compilar programas) la cual permite escribir el código y subirlo al Wasmote para posteriormente monitorear la salida en serie y facilitar la depuración del programa. Sus componentes principales se muestran en la siguiente figura.



1. Opciones
2. Monitorear el dispositivo
3. Botones para abrir y cargar códigos
4. Código principal
5. Mensajes de salida

Se debe verificar en la programación el apartado de conexión del nodo al punto de acceso Wi-Fi. Es importante verificar el nombre del punto de acceso entre comillas, además de que la contraseña sea la correspondiente para la correcta conexión, también entre comillas.

```
// Configuración de punto de acceso WiFi
////////////////////////////////////
char ESSID[] = "Nombre de la red";
char PASSW[] = "Contraseña";
////////////////////////////////////
```

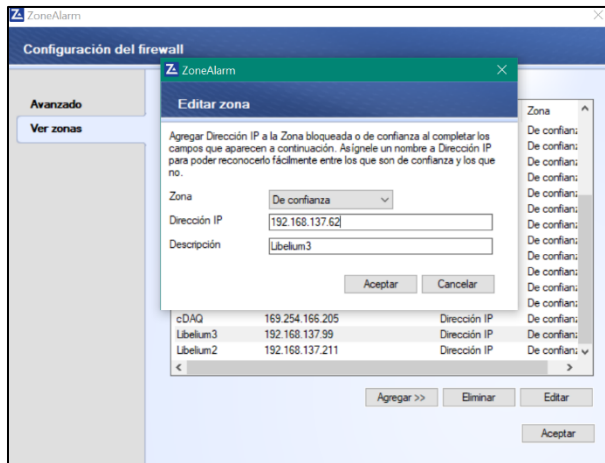
Se deben confirmar los datos relacionados con la conexión entre el nodo y la computadora principal que contiene la interfaz HMI. El primer dato para el envío de información vía UDP es la dirección IP de la computadora principal, la cual debe estar entre comillas. El segundo dato es el número de puerto remoto, que también es considerado para la computadora que recibirá los datos.

```
// configuración del servidor UDP
////////////////////////////////////
char HOST[] = "192.168.***.***"; //IP computadora LBI
char REMOTE_PORT[] = "61557";
char LOCAL_PORT[] = "61556";
////////////////////////////////////
```

El puerto local es el número de puerto utilizado en el dispositivo Wasmote desde el cual se enviará el paquete de datos. Enseguida se muestra una tabla con el número asignado para los puertos de la computadora en el programa de LabVIEW y los correspondientes para los dispositivos Libelium.

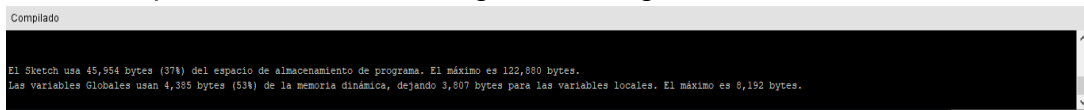
Tabla de puertos UDP utilizados en el sistema SCADA MCM		
FBR	Wasmote Puerto local	Computadora
1	61556	61557
2	61558	61559
3	61560	61561

Para que la comunicación se pueda realizar vía WiFi entre la computadora con el sistema SCADA y los nodos Wasmote, se debe dar de alta la IP de cada nodo en el firewall de la computadora. En caso contrario no se recibirán datos de los nodos sensores.

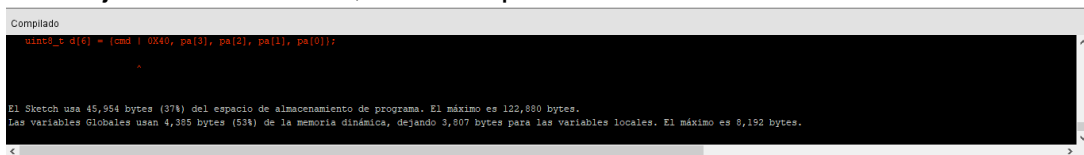


Una vez terminado el código se realizan los siguientes pasos:

1. Se selecciona el botón de “Verificar” y se espera unos segundos hasta que se compile el código y se muestre un mensaje de aprobación. El mensaje aparecerá con fuente de color blanco en la sección de mensajes de salida similar al que se muestra en la siguiente imagen.



En caso de mensaje de error aparecerá un texto en color rojo junto al mensaje en color blanco, como se presenta a continuación.



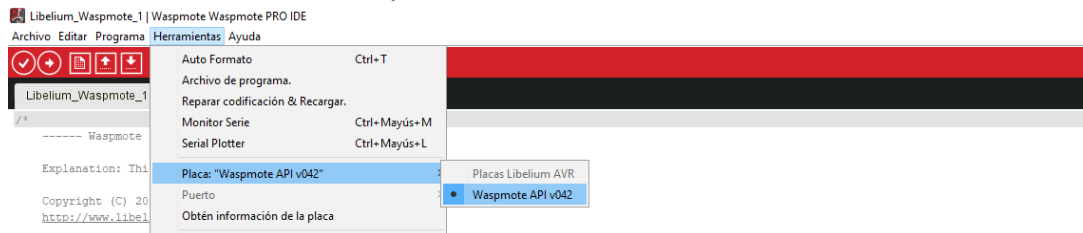
2. Presionar de nuevo el botón de “Verificar”, si el mensaje persiste es señal de que el programa tiene un problema, en caso contrario quiere decir que el código es correcto y se puede usar en el nodo.
3. Encender el Wasp mote. Se presiona el botón de dos posiciones ubicado al costado del nodo sensor.



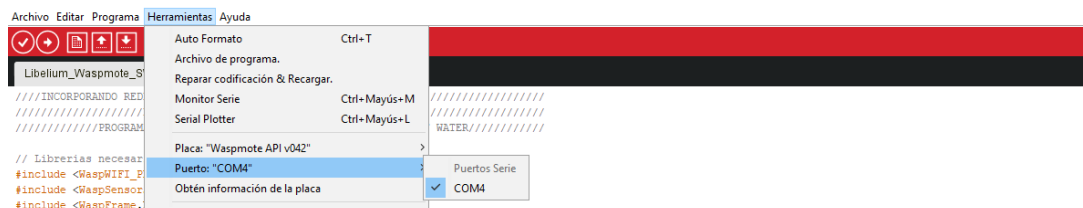
Éste cuenta con un led de color rojo para identificar que el nodo este encendido.



- Dirigirse a la parte superior del IDE en “Herramientas” y seleccionar que se encuentre seleccionada la placa “Wasmote API”.



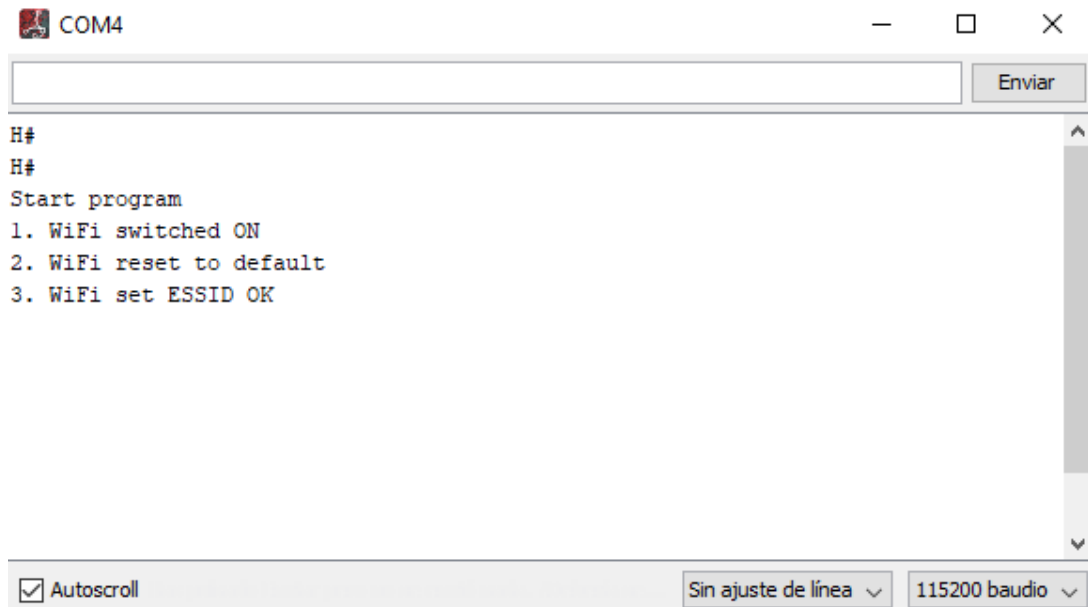
- En la sección de “Herramientas” desplegar el apartado de “Puerto” con el dispositivo conectado y seleccionar el que corresponda al nodo sensor conectado.



- Seleccionar el botón de “Subir”. Se cargará el código en el dispositivo con el código necesario para los sensores a utilizar.
- Seleccionar la opción de “Monitorear el dispositivo” en la parte superior derecha del IDE para verificar el buen funcionamiento del Wasmote con los sensores conectados.



Se desplegará la ventana de “Monitor Serie” y para visualizar correctamente la información se deben seleccionar las opciones ubicadas en la parte inferior derecha que aparecen a continuación:



3. cDAQ

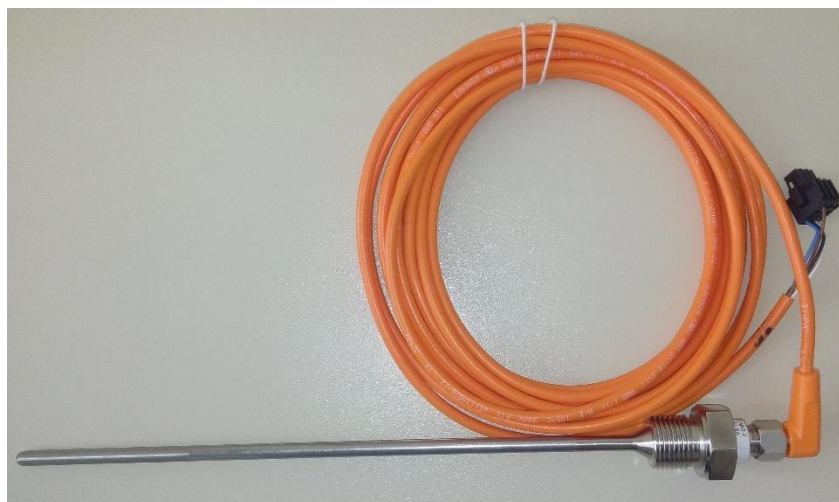
El segundo tipo de nodo sensor utilizado en el sistema SCADA es el CompactDAQ-9188, de la empresa National Instruments, con un puerto Ethernet para el intercambio de información con una computadora. Para este dispositivo se propone la siguiente secuencia de pasos para la correcta conexión. Previo a la ejecución de la interfaz HMI se debe verificar la comunicación con el cDAQ como se indica en la sección 3.4 "Conexión cDAQ".

Se deben realizar las conexiones necesarias de los sensores utilizados con el chasis cDAQ-9188 en los módulos necesarios de acuerdo con los sensores a integrar. Aquí se presentan las conexiones del sensor de temperatura RTD PT100, sensor de pH, y sensor de oxígeno disuelto usando para todos ellos un módulo NI 9219.

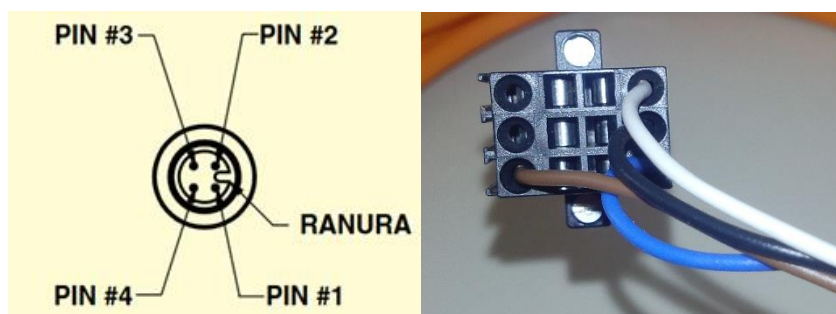


3.1 Sensor de temperatura

El sensor de temperatura utilizado es el PR-26G-3-100-A-M6-0250-M12-2 de la marca OMEGA, RTD PT100 para uso sanitario.



Los pines del sensor se conectan al módulo NI 9219 en el canal 0 (CH0) utilizando la configuración recomendada en el manual del módulo para el sensor RTD de 4 cables; el pin 3 para el cable color café, el color blanco al pin 4, el cable negro para en el pin 5 y el pin 6 con el cable azul.



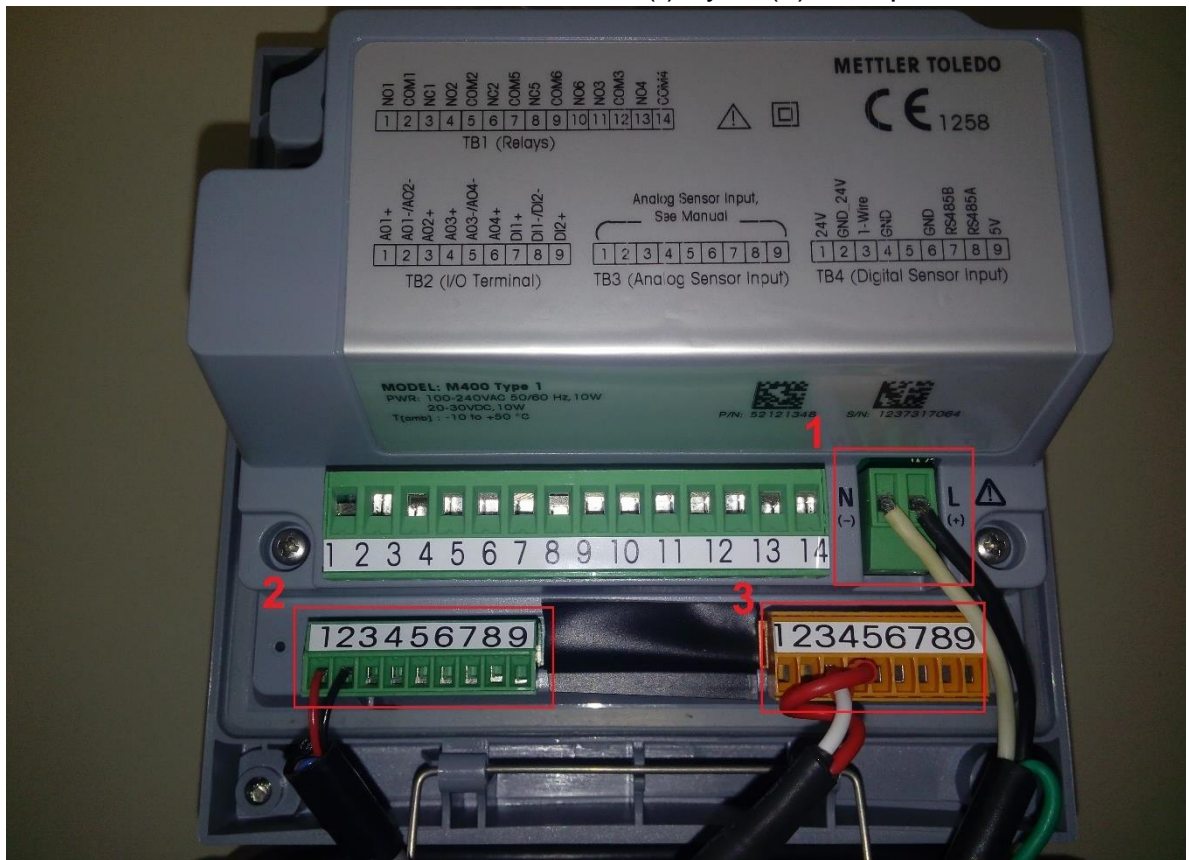
3.2 Sensor de pH

El sensor de pH utilizado para la conexión es el modelo InPro 325X(i) de la marca Mettler Toledo, el cual se conecta al Transmitter M400 para realizar la calibración del sensor, la configuración y visualización de la medición.

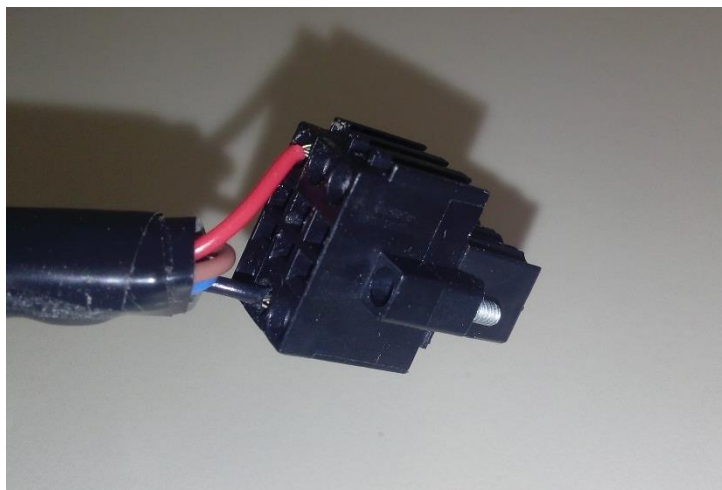


La conexión recomendada para el Transmitter se describe a continuación.

1. Los cables de alimentación del dispositivo para cable neutro y el cable de línea se conectan a las entradas N (-) y L(+), respectivamente.



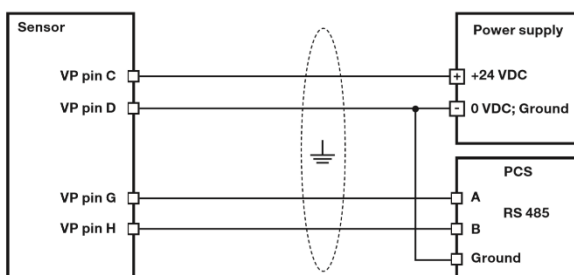
2. El bloque TB2 se utiliza para la comunicación entre el Transmitter con el cDAQ, utilizando las terminales 1 para el color rojo y 2 para el cable negro. Al otro extremo del cable se encuentra el conector para utilizar el cDAQ, en el canal 1 (CH1) del módulo NI 9219, los pines utilizados son el 3 para el color rojo y 5 para el color negro



3. La conexión del cable que comunica al sensor con el dispositivo M400 se conecta al bloque de terminales TB4 de color naranja en la terminal 3 para el cable de color blanco y terminal 4 para el cable rojo.

3.3 Sensor de oxígeno disuelto HAMILTON

El sensor de oxígeno disuelto utilizado es el VisiFerm DO de la marca Hamilton. Es un dispositivo que permite monitorear la cantidad del oxígeno disuelto en un medio, en este caso agua con fertilizante disuelto. Para la configuración del sensor es necesario realizar la conexión de su cable que cuenta en un extremo con una entrada con roscado y en el otro extremo ocho cables con diferentes longitudes para la conexión eléctrica correspondiente dentro del estándar de designación VP 8 PIN. Al conectar el extremo roscado al sensor se debe verificar que avanza la conexión a medida que se gira el conector.

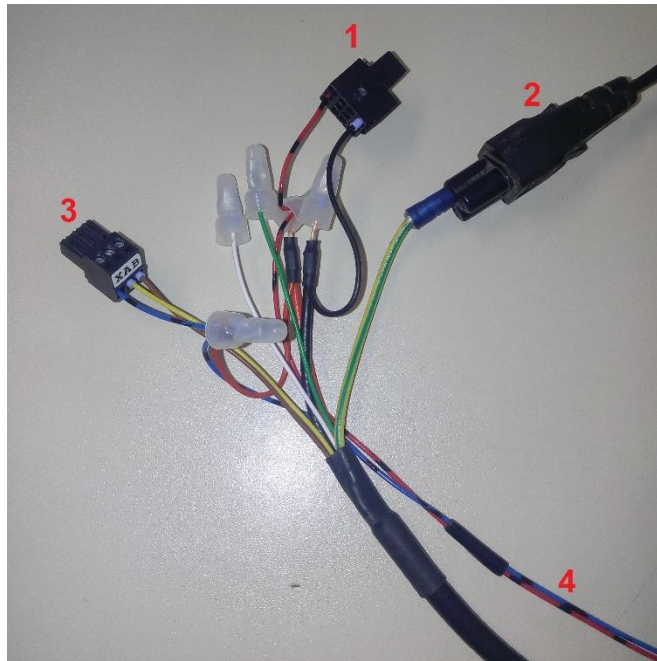


VP PIN	Función
A	Modo ECS: cátodo (solo en modo ECS)
B	-Interfaz 4-20 mA (Interfaz mA # 1). -Modo ECS: ánodo. Nunca conectar en el modo ECS con + 2 V o más
C	Fuente de alimentación: + 24 VCD (7 to 30 VCD) Alimentación de puesta en marcha: 1 W Consumo de energía continuo: 600mW
D	Alimentación: Tierra (negativo)



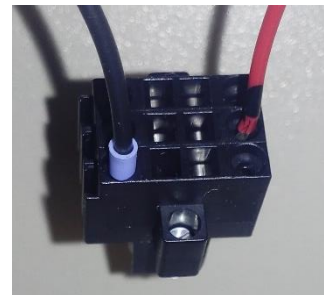
E	Sensor de temperatura NTC 22kOhm para modo ECS
F	Sensor de temperatura NTC 22kOhm para modo ECS
	RS485 (A)
	RS485 (B)
Protección	Eje sensor conectado a la tierra

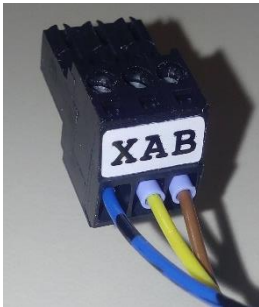
La conexión necesaria entre el sensor y el sistema SCADA se presenta en la siguiente imagen.



Las partes del cableado a utilizar para el sensor de oxígeno disuelto son: 1. Conexión al módulo NI 9219 en el chasis cDAC. 2. Cable a tierra. 3. Conector para configurar el sensor. 4. Cables de alimentación de energía al sensor.

La conexión al módulo NI 9219 corresponde al canal 2 (CH2) en el modo de medición de corriente, utilizando los pines 3 para el cable negro y 5 para el cable rojo con segmentos en color negro.





Para la calibración y verificación del estado de funcionamiento del sensor se emplea la conexión RS485. El conector utilizado para establecer comunicación con la interfaz del sensor (USB-RS485 ModBus Converter) y una computadora emplea las entradas X, A y B, para los cables del sensor: tierra (ground), amarillo y café, respectivamente.

La conexión para la alimentación de energía del sensor se realiza utilizando una fuente de 24 volts, la cual es alimentada con 100-120 V de corriente alterna.

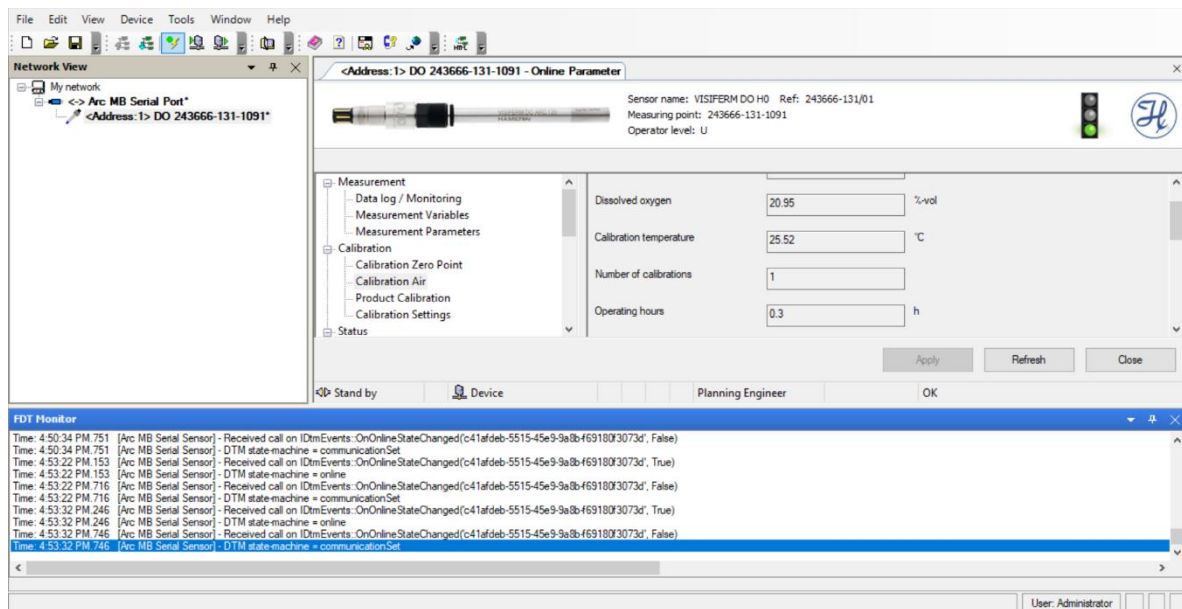


La configuración de las variables de medición del Sensor VisiFerm DO se realiza mediante la utilización del software Hamilton Device Manager (HDM), éste se encuentra disponible para descarga directa desde la página del fabricante. La conexión del sensor con la computadora se establece mediante la interfaz digital RS485 utilizando el convertidor que se incluye con el sensor (USB-RS485 ModBus Converter)



VisiFerm DO	VP pin	VP 8 Cable
Fuente de poder: +24 VCD (7 a 30 VDC), consumo máximo de energía 1 W	C	Núcleo coaxial rojo transparente
Fuente de poder: Tierra (negativo)	D	Escudo coaxial rojo
RS485 (A)	G	Amarillo
RS485 (B)	H	Café
Eje sensor	Protección	Protección de cable verde- amarillo

Por medio de la interfaz HDM se realiza la configuración del sensor de DO. Ésta se ofrece por parte de la empresa Hamilton para el uso y de sus dispositivos.



El manejo de la aplicación HDM (Hamilton Device Manager) para el sensor en la computadora se resume en una secuencia de pasos a seguir que a continuación se mencionan:

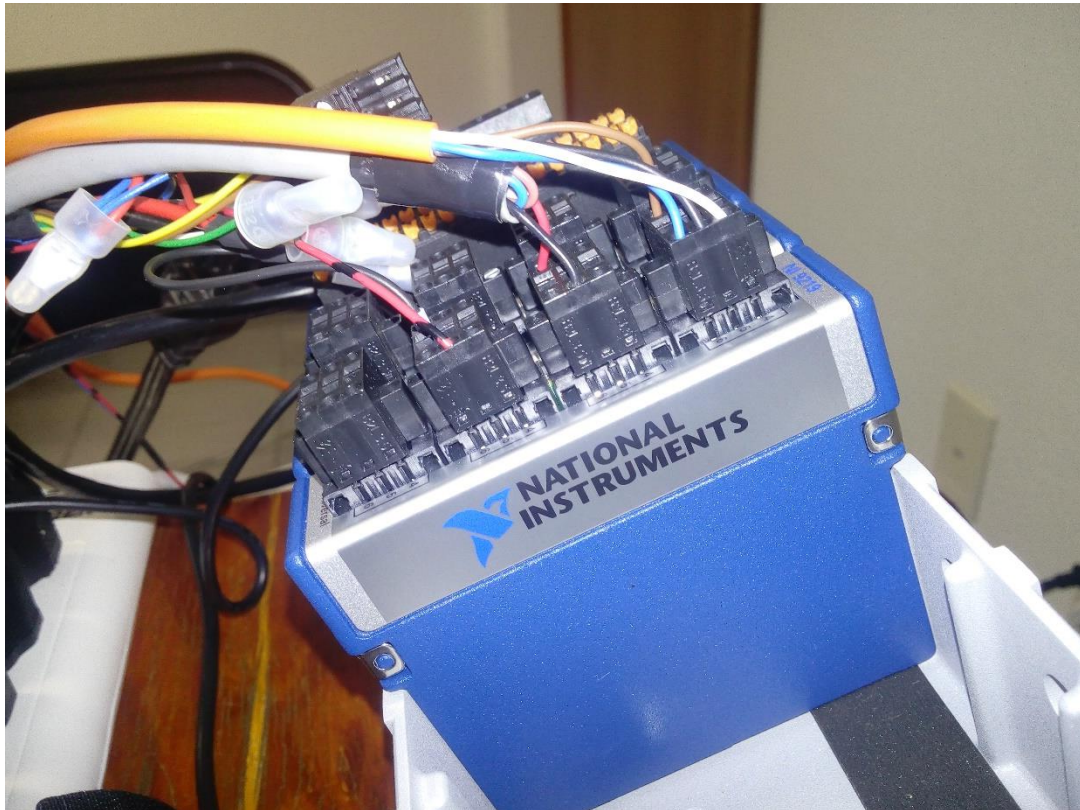
1. Se abre la aplicación HDM
2. Seleccionar aceptar en la actualización del Catálogo de dispositivos
3. Se cierran las ventanas de “Device Catalogue” y de “Error Log”
4. Dirigirse al apartado de “Network view”, seleccionar “My network” y luego clic derecho para seleccionar “Add”
5. Doble clic sobre sobre “Arc MB Serial Port”
6. Seleccionar “Arc MB Serial Port” en la sección de “Network View” y guardar el archivo en una carpeta.

7. Clic derecho sobre “Arc MB Serial Port” desplazar hasta “Additional functions” y seleccionar “Scan for devices”.
8. Seleccionar en el apartado de “My network” al correspondiente sensor de oxígeno y dar click en la opción de “Device On-line / Off-line”.
9. Abra el dispositivo DTM con doble clic sobre él, se muestra un semáforo donde se muestran los valores:
Verde: OK
Amarillo: Advertencia del sensor activa
Rojo: Error del sensor activo
10. Desconectar el sensor al dar clic en “Device On-line / Off-line”.

3.4 Conexión cDAQ

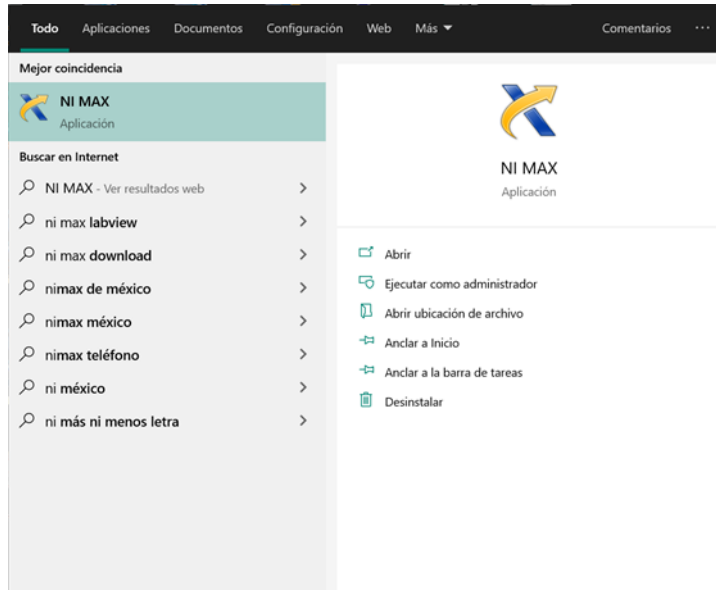
Para el uso adecuado del chasis NI-9188 es necesario seguir una serie de pasos:

1. Conectar los sensores al módulo que NI 9219. El canal 0 corresponde al sensor de temperatura, para el sensor de pH se utiliza el canal 1 y el sensor de oxígeno disuelto se conecta al canal 3.

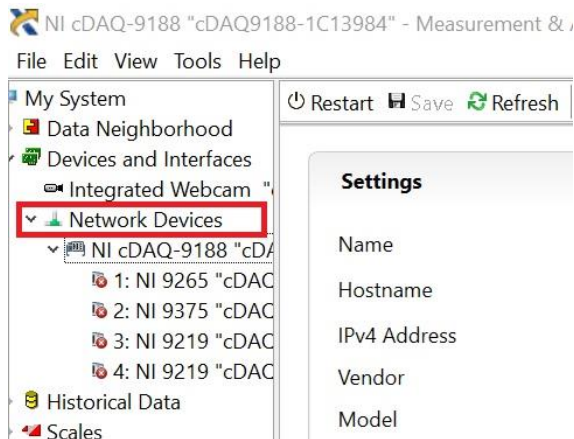


2. Conectar el cDAQ a la computadora por el puerto Ethernet

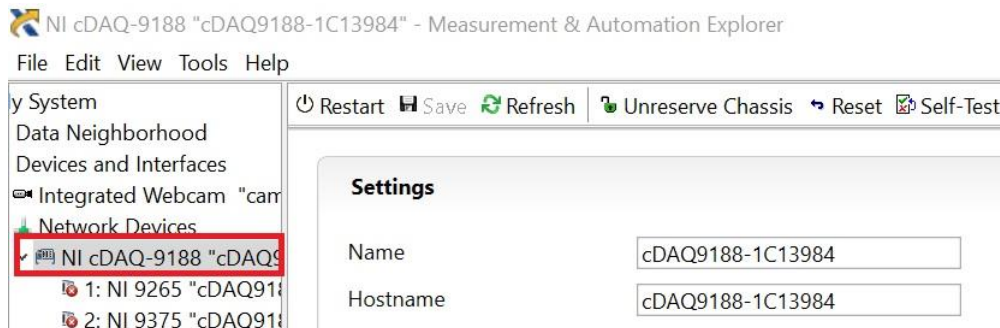
3. Conectar la alimentación a la corriente del cDAQ
4. Abrir la aplicación de NI MAX en la PC



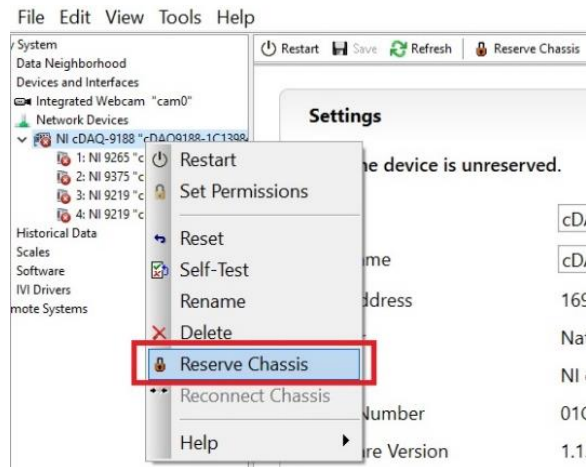
5. Seleccionar “Network Devices”



6. Seleccionar “NI cDAQ-9188”

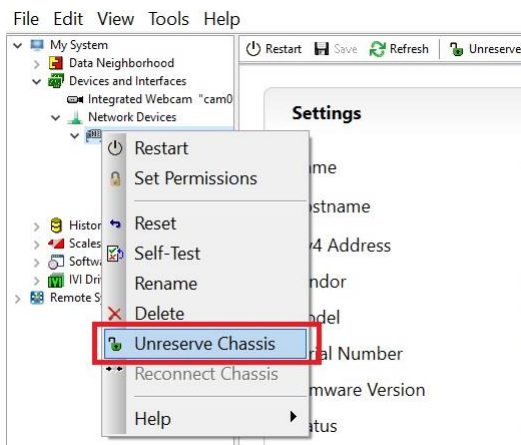


7. Click derecho sobre NI cDAQ-9188 y seleccionar “Reserve Chasis”.

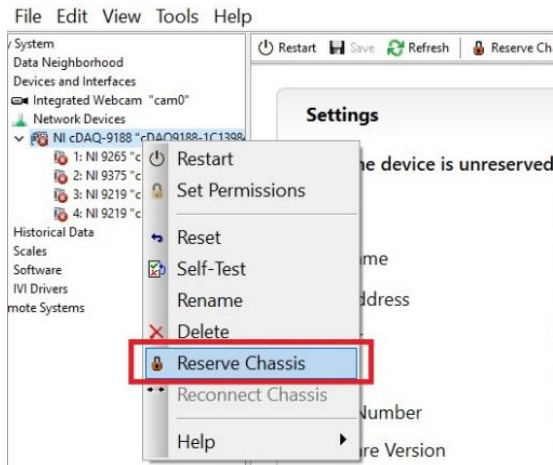


En caso de que se no sea la primera vez que se conecta el dispositivo, se debe realizar la siguiente secuencia:

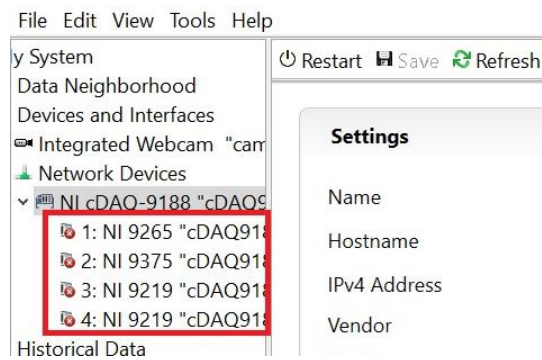
- Click derecho sobre NI cDAQ-9188 y seleccionar “Unreserve Chasis”



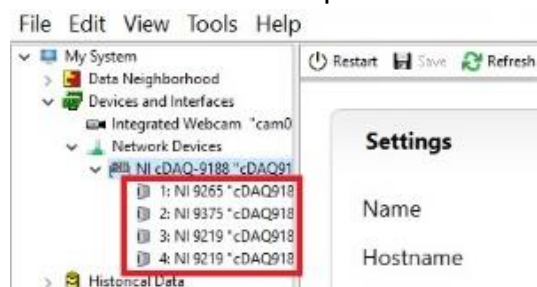
- Click derecho sobre NI cDAQ-9188 y seleccionar “Reserve Chasis”.



8. Dar click a cada uno de los módulos conectados al chasis.



Una vez activados se presentan de la siguiente manera:



Con el cDAQ y los nodos inalámbricos (Wasp mote) preparados con sus sensores calibrados, configurados y conectados, se puede poner en marcha el sistema SCADA ejecutándolo en LabVIEW.