

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

Diseño e Implementación de un Sistema SCADA para el Monitoreo
y Supervisión de la Producción de camarones en una Granja
ubicada en la provincia del Guayas-Los Ríos

PROYECTO DE TITULACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

Magister en Automatización y Control

Presentado por:

Ing. Oscar Daniel Lliguicota Rivera

Ing. Ronald Arturo Jiménez Carpio

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2024

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por darme la sabiduría de seguir actualizándome en los conocimientos de mi carrera profesional, segundo a mis padres que me motivaron a seguir adelante, es decir siempre buscando nuevos retos, desafíos y cumplir metas que uno se propone día a día.

A todos los profesores de la Institución educativa que nos brindaron el apoyo y los conocimientos necesarios para cumplir con este proyecto, especialmente al tutor Msc. Alexander Prieto León por la predisposición y la atención que siempre nos entregó respecto al proyecto.

Ing. Ronald Arturo Jimenez Carpio

Quiero dar gracias a Dios, por estar en cada paso que he dado en este largo camino, por fortalecer mi corazón y mi conocimiento y por haber puesto en este camino a aquellas personas que han sido el soporte y han brindado su compañía durante todo el periodo de estudio.

A mi familia, porque me han dado toda su confianza y me brindaron ese ejemplo de superación y entrega. Gracias a ellos, hoy puedo ver alcanzada una meta más, ya que siempre han estado apoyándome en los momentos más difíciles. Gracias por haberme inculcado el espíritu de humildad y superación y el anhelo de triunfo en la vida.

A la Universidad ESPOL, al tutor Msc. Alexander Prieto León y profesores de Posgrado por su predisposición permanente e incondicional y por sus profundos conocimientos brindados durante todo el periodo de nuestro proyecto.

Ing. Oscar Daniel Lliguicota Rivera

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo a mis queridos padres que, con su apoyo incondicional, he logrado alcanzar la meta de ser un gran profesional gracias a los valores morales y éticos que me han impartido durante mi crianza hasta la actualidad.

Ing. Ronald Arturo Jimenez Carpio

Dedico este presente trabajo de tesis a todas aquellas personas que de una u otra forma han contribuido en mi formación durante este nuevo periodo. Así también a mis padres Segundo Lliguicota y Doris Rivera quienes me enseñaron el valor de la educación con valiosos ejemplos y me apoyaron para no desfallecer durante el largo camino de la vida profesional brindándome siempre su amor incondicional, sus sabios consejos que me dieron la fuerza necesaria para trazarme la meta que hoy estoy por cumplir.

Ing. Oscar Daniel Lliguicota Rivera

DECLARACIÓN EXPRESA

Los derechos de titularidad y explotación, me corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; Ronald Arturo Jiménez Carpio y Oscar Daniel Lliguicota Rivera damos nuestro consentimiento para que la ESPOI realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual.

Ing. Ronald Arturo Jiménez Carpio

Ing. Oscar Daniel Lliguicota Rivera

COMITÉ EVALUADOR

M. Sc. Alexander Prieto León
PROFESOR TUTOR

Ph.D. Dennys Paichallo Chiliza
PROFESOR EVALUADOR

RESUMEN

La industria camaronera es una de las principales actividades económicas del Ecuador, posicionando al país como uno de los mayores exportadores de camarón a nivel mundial. A pesar de su éxito, el sector enfrenta importantes desafíos, como la falta de asistencia técnica y tecnologías adecuadas, así como problemas en el monitoreo y control de las condiciones de cultivo, lo que afecta la tasa de mortalidad de los camarones.

Este proyecto tiene como objetivo desarrollar e implementar un sistema SCADA en una granja camaronera de la provincia del Guayas para mejorar el monitoreo y control de la producción de camarones. El sistema propuesto permitirá la supervisión en tiempo real de parámetros críticos del agua, como oxígeno, temperatura, pH y salinidad, mediante la integración de sensores, actuadores y PLCs para la automatización de los procesos.

El proyecto abarca la selección de los sistemas de sensores y actuadores adecuados, la configuración del PLC para el procesamiento de señales y control de aireadores, el diseño de una red de telecomunicaciones para la transferencia de datos y la implementación y validación del sistema SCADA. Con esta implementación, se espera reducir la mortalidad de camarones, mejorar la eficiencia operativa y optimizar el consumo de energía. El sistema SCADA proporcionará una solución integral para abordar las deficiencias actuales en la gestión de la producción camaronera, fortaleciendo la posición de Ecuador en el mercado global.

Palabras Claves: SCADA, Indusoft Web Studio, PLC, HMI, Automatización, Sensores, Actuadores, Tipo Real, Oxígeno Disuelto, Humedad, Salinidad, PH, Temperatura.

ABSTRACT

The shrimp industry is one of the main economic activities in Ecuador, positioning the country as one of the largest shrimp exporters globally. Despite its success, the sector faces significant challenges, including a lack of technical support and adequate technologies, as well as issues with monitoring and controlling cultivation conditions, which affects shrimp mortality rates.

This project aims to develop and implement a SCADA system in a shrimp farm in the Guayas province to enhance monitoring and control of shrimp production. The proposed system will enable real-time supervision of critical water parameters such as oxygen, temperature, pH, and salinity through the integration of sensors, actuators, and PLCs for process automation.

The project includes selecting appropriate sensor and actuator systems, configuring the PLC for signal processing and aerator control, designing a telecommunications network for data transfer, and implementing and validating the SCADA system. The implementation is expected to reduce shrimp mortality, improve operational efficiency, and optimize energy consumption. The SCADA system will provide a comprehensive solution to address current deficiencies in shrimp production management, strengthening Ecuador's position in the global market.

Keywords: SCADA, Indusoft Web Studio, PLC, HMI, Automation, Sensors, Actuators, Real-Time, Dissolved Oxygen, Humidity, Salinity, pH, Temperature.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	II
DEDICATORIA	III
DECLARACIÓN EXPRESA.....	IV
COMITÉ EVALUADOR.....	V
RESUMEN.....	VI
ABSTRACT	VII
ABREVIATURAS	XI
SIMBOLOGÍA	XII
1. INTRODUCCIÓN.....	18
1.1 Descripción del problema	19
1.2 Justificación del problema	19
1.3 Objetivos de la tesis	21
1.3.1 Objetivo general:	21
1.3.2 Objetivos específicos:.....	21
1.4 Marco teórico.....	21
1.4.1 Fundamentos teóricos del sector camaronero.....	21
1.4.2 Historia de la industria camaronera en el Ecuador	22
1.4.3 Barreras sanitarias en los camarones.	22
1.4.4 Adaptaciones en la producción del camarón.	22
1.4.5 Mejoramiento genético del camarón.....	23
1.4.6 Implementación del Plan Nacional de Control.....	24
1.4.7 Tecnologías de sistema de cultivo.....	24
1.4.8 Tecnologías para monitoreo y manejo de los cultivos.	28
1.4.9 Descripción de las variables que intervienen en el proceso.	28
1.4.10. Tecnologías en el monitoreo de la calidad del agua.....	31
1.4.11 Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller PLC).	36
1.4.12 Comunicación inalámbrica por radio frecuencia.	36
1.4.13 Evaluación de una Topología de red inalámbrica.....	38
1.4.14 Aplicación de un sistema SCADA.....	41
2. METODOLOGÍA.....	44

2.1 Análisis del terreno	45
2.2 Requerimientos del proceso.	47
2.3 Ingeniería para el proceso de subsistemas del cultivo de camarón en las piscinas.	48
2.4 Sistema eléctrico de Potencia para la electrificación de la aireación.....	51
2.5 Selección del equipo de medición para el sistema de monitoreo.	53
2.5.1 Aqua Troll 500 de la marca In-Situ.	53
2.6 Selección de la unidad de control para el procesamiento de la información.	55
2.6.1 Micro 800 de la marca allen bradley.....	55
2.7 Configuración y programación del sistema en desarrollo.	55
2.8 Variables en el proceso de monitoreo para la producción del camarón.	62
2.9 Selección de actuadores del sistema electrónico.	62
2.9.1 Motores o aireadores.....	62
2.10 Evaluación y selección adecuada de una arquitectura de comunicaciones.	65
2.11 Unidad de comunicación para la transmisión de información.....	66
2.11.1 Modulo emisor de comunicación Orbit MCR de la marca MDS.....	66
2.11.2 Modulo receptor de comunicación “Master Station” de la marca MDS.....	67
2.12 Diagrama de conexión de los equipos de medición y unidad de control.	68
2.13 Diagrama esquemático de la arquitectura de red.	69
2.14 Topología de transmisión de la información del proceso para el monitoreo de cultivos de camarones.....	69
2.15 Área de Operación del Sistema de Telecomunicaciones.	70
2.15.1 Factibilidad de Radio Frecuencia.	71
2.15.2 Simulación de mapa de obstáculos y fuerza de señal.....	72
2.16 Metodología de Implementación del sistema SCADA.	77
2.16.1 Análisis de Requerimiento.	78
2.16.2 Diseño del Sistema.....	79
2.16.3 Implementación del Sistema.....	85
2.16.4 Capacitación y Puesta en Marcha.	87
2.16.5 Mantenimiento y Soporte.....	88
3. RESULTADO Y ANÁLISIS	89
3.1 Sistema de Radio Enlace.	89
3.2 Interacción de las pantallas del sistema SCADA de la granja camaronera.	92
3.3 Análisis económico de la implementación.	108
3.3.1 Determinación del Costo Total de Inversión	108

3.3.2. Estimación de Ingresos y Costos Operativos	109
3.3.3 Cálculo del Flujo de Caja.....	111
3.3.4. Cálculo del Tiempo de Recuperación de la Inversión (ROI).....	111
4.1. Conclusiones	112
4.2 Recomendaciones.....	113

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
ASTM	American Society for Testing and Materials
NACE	National Association of Corrosion Engineer
SSC	Electrodo de Plata Cloruro de Plata
CSE	Electrodo de Cobre Sulfato de Cobre
HWL	High Water Level
LWL	Low Water Level
CIS	Inspección pasó a paso, medición de potenciales de encendido
MPY	milésimas de pulgadas por año
IED	Intelligent Electronic Device
PCC	Point of Common Coupling

SIMBOLOGÍA

mil	milésimas de pulgada
mg	Miligramo
pH	Potencial de Hidrógeno
m	Metro
mV	Milivoltio
Cu	Cobre
Ni	Níquel
C	Carbono
Mn	Manganeso
P	Fósforo

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Exportaciones del camarón en el Ecuador durante la última década.	23
(BCE, 2019).....	23
Figura 1.2 Tanque rectangular de pre criadero para el camarón ubicado en el Ecuador. ...	25
(GSF, 2017).....	25
Figura 1.3 Aireadores de tipo rueda de paletas flotantes al estilo asiático.	25
(Alliance, 2020).....	25
Figura 1.4 Sistema de alimentación basado en retroalimentación acústica.	26
(Alliance G., 2020).....	26
Figura 1.5 Enmiendas bacterianas aplicadas a los estanques de camarones.	27
(Advocate, 2020)	27
Figura 1.6 Calidad del agua de una granja camaronera mediante el proceso de recirculación. (Seafood, 2017).....	27
Figura 1.7 Medición de la turbidez utilizando el Disco Secchi.	31
(S.A.S, 2021).....	31
Figura 1.8 Sensor de Oxígeno Disuelto ENV-40-DOX.	33
Figura 1.9 Sensor de PH ENV-40-pH.....	34
Figura 1.10 Sensor de salinidad ENV-40-ECK1.0.	35
Figura 1.11 Sensor de Temperatura.....	36
Figura 1.12 Ejemplo de la utilización de una radio para transferencia de datos de un IED o PLC.	37
Figura 1.13 Topología Punto a Punto y Punto a Multipunto.	38
Figura 1.14 Topología Tipo malla DigiMesh y Zigbee.	39
Figura 1.15 Diagrama de conexión de un sistema de comunicación remota.	40
Figura 2.1 Esquema resumido para el desarrollo de la metodología a implementar.	44
Figura 2.2 Lugar geográfico de una granja camaronera.....	46
Figura 2.3 Componentes del sistema de la granja para el monitoreo y control por radio enlace.	48
Figura 2.4 Diagrama Unifilar Eléctrico de la Granja Camaronera.....	51
Figura 2.5 Equipo de medición de sondas multi parámetros Aqua Troll 500.....	54

Figura 2.6 Unidad de control Micro820 de la marca Allen Bradley.....	55
Figura 2.7 Diagrama del flujo del estado de los sensores y su procesamiento.....	56
Figura 2.8 Diagrama del flujo del PLC instalado en cada tablero de arrancadores.....	57
Figura 2.9 Conexión eléctrica del microcontrolador 850.....	58
Figura 2.10 Tablero de control de los aireadores.....	59
Figura 2.11 Diagrama del flujo de la RTU-3530 para la automatización del sistema eléctrico de media tensión.....	61
Figura 2.12 Unidad de comunicación radio emisor ORBIT MCR de la marca MDS.....	66
Figura 2.13 Unidad de comunicación maestro MS de la marca MDS.....	68
Figura 2.14 Diagrama esquemático del conexionado de equipos de instrumentación y unidad de control.....	68
Figura 2.15 Diagrama esquemático de la arquitectura de red del sistema.....	69
Figura 2.16 Topología del sistema.....	69
Figura 2.17 Área de la Granja Camaronera.....	70
Figura 2.18 Mapa de obstáculos simulado en Software Radio Mobile.....	72
Figura 2.19 Punto remoto P2, 70% despejada, fuerza de señal -59,9 dBm (Señal idónea).	73
Figura 2.20 Punto remoto P3, 60% despejada, fuerza de señal -59,5 dBm (Señal idónea).	74
Figura 2.21 Punto remoto P4, 70% despejada, fuerza de señal -54,1 dBm (Señal idónea).	74
Figura 2.22 Punto remoto P5, 90% despejada, fuerza de señal -53,4 dBm (Señal idónea).	75
Figura 2.23 Punto remoto P6, 100% despejada, fuerza de señal -52,0 dBm (Señal idónea).	75
Figura 2.24 Punto remoto P7, 100% despejada, fuerza de señal -54,1 dBm (Señal idónea).	76
Figura 2.25 Antena de comunicación ubicada en la parte superior del tablero de control..	77
Figura 2.26 Interfaz Principal del SCADA.....	78
Figura 2.27 Flujo tecnológico del sistema de monitoreo.....	80
Figura 2.28 Interfaz de monitoreo de la red de Comunicaciones.....	81
Figura 2.29 Ejemplo de los niveles de seguridad en un sistema SCADA.....	82
Figura 2.30 Interfaz de inicio de sesión del SCADA.....	83

Figura 2.31 Interfaz de piscinas y tableros de aireadores de la Granja Camaronera.	83
Figura 2.32 Interfaz de monitoreo y control de Piscina 48.....	84
Figura 2.33 Curvas de Tendencia para análisis de consumo de energía.	84
Figura 2.34 Instalación de Tablero de Aireadores.	85
Figura 2.35 Instalación de Antenas Remotas para cada Tablero de Aireadores.....	85
Figura 2.36 Instalación de Rack de Comunicaciones o Concentrador de Datos.....	86
Figura 2.37 Interfaz del sistema eléctrico de potencia en 460V y 13.8kV.	87
Figura 3.1 Ping (Packet Internet Groper) para determinar la latencia de comunicación entre remoto y estación.	90
Figura 3.2 Avg RSSI (-90 dBm) en piscina 88.....	91
Figura 3.3 Avg RSSI (-97 dBm) en piscina 35.....	91
Figura 3.4 Portada del sistema SCADA con Seguridad alta.....	92
Figura 3.5 Portada del sistema SCADA con Seguridad media.....	93
Figura 3.6 Pantalla de los aireadores y monitoreo de oxígeno.....	93
Figura 3.7 Pantalla del proceso de monitoreo de las variables fisicoquímicas del camarón.	94
Figura 3.8 Pantalla de alarmas en un sistema SCADA.	94
Figura 3.9 Pantalla de tendencias del sistema SCADA.....	95
Figura 3.10 Portada del Sistema SCADA con seguridad baja.....	95
Figura 3.11 Pantalla de la base de datos en un sistema SCADA.....	96
Figura 3.12 Interacción de los aireadores en el sistema SCADA.	97
Figura 3.13 Interacción de los aireadores en el sistema SCADA.	97
Figura 3.14 Interacción de las variables del sistema SCADA.....	98
Figura 3.15 Interacción del Kepserver con el sistema SCADA.....	98
Figura 3.16 Interacción del nivel de agua en las piscinas.	99
Figura 3.17 Interacción de figuras sobrepuestas para los aireadores.	100
Figura 3.18 Interacción de los aireadores con todas las piscinas mostradas.....	100
Figura 3.19 Simulación de los aireadores para notificación de alarmas.....	101
Figura 3.20 Interacción en caso de pérdida de comunicación con el equipo de control...	101
Figura 3.21 Nivel de oxígeno de todas las piscinas a un 50%.....	102
Figura 3.22 Indicadores para el encendido de los aireadores.	103

Figura 3.23 Simulación de las alarmas pertinentes sin verificar.....	103
Figura 3.24 Simulación de las alarmas verificadas y corregidas.....	104
Figura 3.25 Registro temporal de las variables en tiempo real.....	105
Figura 3.26 Generación de reportes de la granja camaronera.....	105
Figura 3.27 Registro de las variables requeridas en una base de datos en línea.....	106
Figura 3.28 Archivo de Base de datos generado y almacenado en una ubicación local automáticamente.....	106
Figura 3.29 Registro de las alarmas en una base de datos externa.....	107
Figura 3.30 Registro de las tendencias en una base de datos externa.....	107

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1 Efecto a bajas concentraciones de oxígeno disuelto.....	30
(Carvajal Toral, 2014).....	30
Tabla 1.2 Niveles normales de parámetros para la calidad del agua.	31
Tabla 2.1 Rangos deseador para cada valor o parámetro del cultivo del camarón.	47
Tabla 2.2 Características del equipo de medición.	54
Tabla 2.3 Datos técnicos de los parámetros esenciales para el cultivo del camarón.	54
Tabla 2.4 Tags de PLC de la gama Allen Bradley.	62
Tabla 2.5 Tabla para determinar cantidad de HP/Hectárea.....	64
Tabla 2.6 Tags para el sistema SCADA en el Indusoft Web Studio.	81
Tabla 3.1 Puntos GPS más críticos del sistema de Radio Enlace.....	89
Tabla 3.2 Fuerza de Señal de Radio Enlace de los puntos más críticos.....	90
Tabla 3.3 Tabla de Ingresos por venta de camarón al año.	110
Tabla 3.4 Tabla de costos operativos para la producción y venta de camarón al año.	111
Tabla 3.5 Tabla de resumen de ingreso y costos operativos al año.....	111

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

La industria camaronera se considera como una de las principales actividades económicas del Ecuador debido a que el país se encarga únicamente de producir y exportar el camarón a nivel mundial gracias a los recursos naturales que contiene nuestro país. La producción de camarones converge principalmente en las provincias del Guayas, El Oro, Manabí y Esmeraldas. Según datos del ministerio de Acuicultura y Pesca, nuestro país ha generado ingresos por más de 2000 millones de dólares gracias a una producción alrededor de 520 mil toneladas métricas en el año 2022. (Piedrahita, 2018) El camarón ecuatoriano es reconocido a nivel internacional por su calidad y sabor, lo que conlleva a que el país se posicione como uno de los mayores exportadores de camarón en el mundo, los principales destinos de exportación son Estados Unidos, Europa y Asia. Según Alex Elghoul, director de la Cámara de acuicultura de Santa Elena dice que este reconocimiento se lo ha ganado debido a las inversiones que se ha realizado en el sector camaronero en tecnificar procesos, mejorar tecnología e implementar laboratorios de genética y análisis de alimentación para la cría y producción de estos crustáceos. Esta necesidad de mejorar el producto es consecuencia de la gran competencia frente a otros países exportadores como la India y Taiwán que venden sus productos a la unión europea. Según la Cámara Nacional de Acuicultura, en la actualidad para la nutrición del camarón se provee de una suplementación que refuerza el desempeño en cuanto a su crecimiento. La utilización de potenciadores digestivos impulsa la ingesta del alimento y mejora el rendimiento de los camarones una vez alimentados. Es por eso que se desea desarrollar este proyecto para la tecnificación de granjas camaroneras con el objetivo de adquirir la información necesaria para el estudio y mejora de los camarones además de monitorear la producción de esta. Para seguir creciendo en el mercado se debe innovar en el sector camaronero para mejorar las competencias frente a productores externos o internacionales.

1.1 Descripción del problema

La principal problemática que enfrenta este sector es el precio bajo que pagan los intermediarios a los pequeños y medianos productores acuícolas, así como el abandono de las políticas públicas de parte del gobierno para acceder a créditos y mejorar el producto con laboratorios para estudio de larvas y con tecnología para incrementar su productividad. Uno de los puntos más débiles del sector camaronero en nuestro país es la limitada asistencia técnica, transferencia tecnológica reducida y la falta de un canal apropiado de distribución del camarón. En la actualidad el sector camaronero ecuatoriano está conformado por 39 empresas exportadoras, 1315 productores de camarón e intermediarios (Muñoz Suárez, Durán Ganchoza, & González Illescas, 2016).

Existen empresas camaroneras que no tienen implementado un sistema de automatización o monitoreo de su producción, lo cual significa que la mayor parte de los procesos se realizan de forma manual. La camaronera en estudio cuenta con motores basados en combustión y sus respectivos sensores que miden los parámetros esenciales para la cría y cultivo del camarón. Estas muestras de lecturas se obtienen de forma manual, es decir, que el personal técnico debe trasladarse a las piscinas para adquirir la información solicitada y no existe un sistema de adquisición de datos de forma remota.

Controlar la tasa de mortalidad de camarones es un gran desafío para las empresas que se dedican a esta área ya que para disminuir o controlarlo deben monitorear continuamente los parámetros claves de la calidad del agua como son el oxígeno, temperatura ambiente, pH y la salinidad. Además, la operación de los aireadores no es eficiente ya que en el sistema se producen fallos que no pueden ser solucionados a la brevedad posible debido a la retroalimentación tardía que se realiza al no tener un sistema de supervisión remoto.

1.2 Justificación del problema

Actualmente el sector camaronero en el Ecuador se encuentra dentro de las exportaciones más grandes, el país pasó de exportar 849.67 millones de dólares en el 2010 a 5323.30 millones de dólares en el 2021 y con esto los exportadores buscan mantener su

posición como líder de producción en el mundo (Pesantes, 2022). La mayor parte de los productores de este artrópodo son grandes exportadores y aportan al crecimiento de la economía.

Durante la crianza del camarón existen varios factores ambientales y biológicos que afectan los índices de producción en el sector camaronero. Los índices de mortalidad aumentan durante cambios bruscos en las temporadas con bajas temperaturas y fuertes lluvias, estos factores si bien son casi imposible de combatirlos directamente, existen formas de reducir la mortalidad de esta especie mediante el monitoreo y el control constante de las condiciones fisicoquímicas del agua en estanques como la temperatura, oxígeno disuelto, turbidez, pH, alcalinidad, dureza, así como en las concentraciones de amonio, nitritos y nitratos (Silberio García Sánchez, Alejandro Juárez Agis, Branly Olivier Salome, Mayra Rivas González, & Jacqueline Zeferino Torres, 2018). En los últimos años los productores han utilizado la electrificación de sus granjas con la finalidad de instalar equipos que monitorean en tiempo real estos parámetros claves que ayuden a mantener estable el medio de vida de esta especie.

Este proyecto consiste en la electrificación de una granja camaronera ubicada en una isla del Golfo Ecuatoriano para realizar el registro de los parámetros de calidad del agua a través de la realización un sistema SCADA y poder de esta manera combatir las zonas más vulnerables de la granja. Las magnitudes de las condiciones fisicoquímicas del agua, el estado de los aireadores, cantidad de alimento en las tolvas, zonas sin energía, etc., se dispondrán de manera inmediata por el operador del sistema SCADA a través de interfases amigables con el usuario. Mediante la electrificación y la implementación del sistema SCADA se reducirán los índices de mortalidad por derrame de combustible y mejor control del Oxígeno Disuelto en cada una de las piscinas, además, con el control automático de los aireadores el consumo de energía también se reducirá debido a que el encendido de estos será más exacto y entrarán a operar cuando se lo requiera basado en los parámetros de calidad del agua.

El sistema SCADA permitirá al operador conocer el estado de la calidad del agua de cada una de las piscinas y combatir enfermedades, virus, bacterias, hongos, parásito, que tienen incidencia en el crecimiento del camarón y su rendimiento de los estanques, y que

también depende de la estación climática (lluvias y estiaje) en la zona de la granja camaronera.

1.3 Objetivos de la tesis

1.3.1 Objetivo general:

Desarrollar un sistema SCADA adquiriendo parámetros esenciales para el monitoreo de la producción de camarones en una granja acuícola ubicada en la provincia del Guayas.

1.3.2 Objetivos específicos:

- Seleccionar los sistemas de sensores y actuadores para la supervisión de los parámetros de cultivo de los camarones.
- Realizar la configuración del PLC ubicada en las piscinas, el cual se encargará de procesar las señales adquiridas de los sensores para posteriormente generar el control de los aireadores.
- Diseñar la red de telecomunicaciones para transferir la información de cada piscina al centro de control donde se ubicarán los servidores para el sistema SCADA.
- Implementar el sistema SCADA y validarlo a través de testeos que demuestren la funcionalidad de la aplicación.

1.4 Marco teórico

1.4.1 Fundamentos teóricos del sector camaronero.

Para el desarrollo de este proyecto, se deben conocer los fundamentos teóricos y generalidades referente a la industria camaronera. Los procesos y las herramientas tecnológicas que se apliquen serán de vital importancia para el correcto diseño y desarrollo del sistema SCADA.

1.4.2 Historia de la industria camaronera en el Ecuador.

Hace aproximadamente 50 años, la cría de camarones en el Ecuador se inició de manera fortuita. En el sur del país se establecieron las primeras granjas dedicadas a este crustáceo y, desde entonces, se han expandido hasta cubrir alrededor de 220,000 hectáreas de estanques de producción del camarón. (Piedrahita, 2018) Actualmente, esta industria es la principal fuente de ingresos extranjeros no relacionados con el petróleo en nuestro país.

Los productores ecuatorianos han logrado posicionar al país como uno de los principales proveedores de camarón en el mundo. Desde el año 1970 hasta el año 1985, el sector camaronero generó aproximadamente 90,000 hectáreas de granjas camaroneras y en el año 1995 se expandió a casi 180,000 hectáreas a plena operación. (Piedrahita, 2018).

1.4.3 Barreras sanitarias en los camarones.

Desde las primeras cosechas de camarón hasta el año 1998, la producción creció en nuestro país de forma constante, logrando una cantidad de este producto cerca de 115,000 toneladas métricas en ese mismo año. Sin embargo, se presentaron algunos bajones temporales producto de enfermedades como el síndrome de la gaviota afectando la producción en el año 1989 y el Síndrome de Taura en el año 1994. Pero la situación empeoró en el año 2000 cuando llegó el Virus de la Mancha Blanca lo cual causó una disminución en las exportaciones y una reducción económica del 70% en la industria camaronera debido a que la proliferación de este virus comenzó en la época del cambio de la moneda nacional de nuestro país al dólar americano. (Fransico Rigail Vera, 2020).

1.4.4 Adaptaciones en la producción del camarón.

Ante las altas tasas de mortalidad, los centros de crías empezaron a utilizar crustáceos que habían sobrevivido a los virus antes mencionados en los estanques. A partir de aquello, se reprodujeron nuevas generaciones que posteriormente fueron trasladados a los estanques de engorde para producir nuevos cultivos, iterando este proceso con mayor frecuencia. (Mejias & Peña Navarro, 2013).

Gracias a esta selección masiva basada en la resistencia del camarón con mayores probabilidades de supervivencia, se logró reestablecer los niveles de producción de manera gradual previo a la aparición del Virus de la Mancha Blanca alrededor del año 2006.

Desde el año 2007, Ecuador se ha mantenido en una tasa de crecimiento anual constante de alrededor del 12% lo cual ha podido exportar hasta 246,000 toneladas métricas en el año 2017. Esto significa que se ha triplicado las exportaciones y se ha logrado ser uno de los principales productores de camarón cultivado en el continente, con un 50% de producción respecto a los demás países de Latinoamérica.



Figura 1.1 Exportaciones del camarón en el Ecuador durante la última década.
(BCE, 2019)

1.4.5 Mejoramiento genético del camarón.

En sus inicios, la industria camaronera dependía de la semilla del camarón silvestre para abastecer los estanques de producción. Sin embargo, a inicios de los años 80 se implementaron los primeros laboratorios para la producción de post larvas o criaderos. Las post larvas se consiguen de hembras grávidas que son cazadas en el mar de forma controlada ya que, en ese tiempo, el programa de maduración y reproducción no eran una prioridad. Es por eso por lo que las granjas deseaban conseguir semillas silvestres ya que se obtenían mejores rendimientos y las tasas de supervivencias se consideraban más altas. (CNA, 2023)

Sin embargo, la captura de post larvas silvestres se prohibió en el año 2002, lo que generó una necesidad de que los propios productores tuvieran que producir su propia semilla e implementar programas de mantenimiento para la reproducción, este proceso

condujo al desarrollo de programas para la mejora genética del camarón y así abastecerse de su propia producción de post larvas.

1.4.6 Implementación del Plan Nacional de Control.

Durante el año 2005, la producción de camarón en Ecuador experimentó un incremento del 35% en comparación con el año anterior, haciendo que las exportaciones hacia Europa aumenten en un 45% de su producción total. Sin embargo, durante el mismo año, se realizaron visitas técnicas para evaluar la calidad de los alimentos y la garantía de inocuidad alimentaria para el camarón que se exportaba en Europa. Existieron varias observaciones durante esta evaluación generando un riesgo en la entrada de los productos hacia los países europeos.

Por lo tanto, la autoridad nacional implementó un conjunto de regulaciones que se ajustaban a las normativas sanitarias de la Unión Europea. Entonces la industria camaronera en el Ecuador debe cumplir con las regulaciones que exigen controles de calidad y trazabilidad desde la fuente para lograr exportar camarón a los grandes mercados internacionales como el de Estado Unidos sin ningún inconveniente. (Varela Veliz, Elizalde Ramos, Solorzano, & Varela Veliz, 2017)

1.4.7 Tecnologías de sistema de cultivo.

La tecnología ha sido implementada por la industria para mejorar el desarrollo del camarón, aumentar su resistencia a patógenos, optimizar el consumo de agua y alimentos acuícolas, maximizar la producción por hectárea y mejorar el uso de recursos. En Ecuador, los productores utilizan algunas herramientas tecnológicas para lograr estos objetivos y se detallaran a continuación:

1.4.7.1 Raceways y pre-crías. El empleo de Raceways, tanques de concreto o tanques cubiertos con una geomembrana ha aumentado la supervivencia del camarón en las granjas y ha disminuido el tiempo necesario de cultivo durante la etapa de crecimiento. Esta técnica nos permite mantener los animales en sistemas controlados donde ingieren un

mejor alimento y se pueden controlar parámetros físicos-químicos. Con esto el rendimiento final es mejorado y se aumenta la rotación de los estanques lo que genera un rendimiento anual incrementado por hectárea sin aumentar la densidad de población. (Browdy, y otros, 2017).

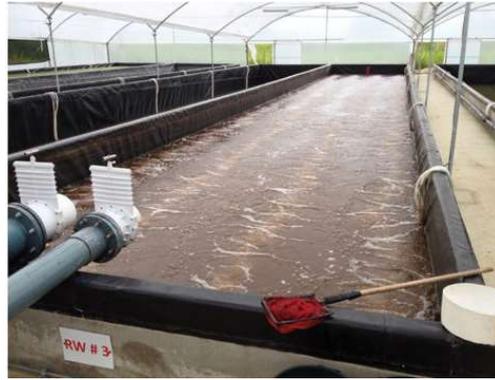


Figura 1.2 Tanque rectangular de pre criadero para el camarón ubicado en el Ecuador.

(GSF, 2017)

1.4.7.2 Aireación. La industria ha implementado el uso de aireadores mecánicos como uno de los primeros cambios para lograr la homogeneización del agua del estanque, y sobre todo para mantener los niveles óptimos de oxígeno disuelto que favorecen el crecimiento de los cultivos. Por ejemplo, en los estanques de engorde donde la densidad de la siembra es elevada, se deben emplear los aireadores mecánicos de tipo paletas ya que esta herramienta nos permitirá mejorar la circulación del agua y mantener los niveles de oxígeno disuelto de forma adecuada. (Boyd, 2020).



Figura 1.3 Aireadores de tipo rueda de paletas flotantes al estilo asiático.

(Alliance, 2020)

1.4.7.3 Alimentación automática. La alta inversión en los alimentos acuícolas balanceados, que representa más de la mitad de los gastos directos de producción, ha impulsado a la búsqueda de opciones para mejorar su gestión. Los avances tecnológicos han ofrecido diversas alternativas para automatizar la alimentación, algunas con sensores que ajustan la alimentación automáticamente según la demanda del camarón, mientras que otras se ajustan manualmente a través de una retroalimentación de muestreos de supervivencia y tablas de alimentación sugeridas por el fabricante. Gracias a esta herramienta tecnológica se ha observado una menor variación en el tamaño de la cosecha y una menor incidencia de enfermedades en los estanques donde se distribuye el alimento de forma automática. Parte del aumento de las exportaciones de camarón en los años 2016 y 2017 fueron gracias a la implementación de sistemas de alimentación automatizados uniéndolas con ciertas estrategias lo cual ha resultado en un mejor crecimiento del producto en un tiempo semanal, además se consiguieron ciclos de crecimientos más cortos y elevadas cantidades de peso durante la cosecha. (Reis & Massaut, 2022).



Figura 1.4 Sistema de alimentación basado en retroalimentación acústica.

(Alliance G., 2020)

1.4.7.4 Biorremediación. En las granjas de camarón y en los centros de producción de semillas de Ecuador, se ha vuelto común el uso de bacterias de biorremediación. Se han utilizado diversas marcas que contienen cepas de bacterias inactivadas, especialmente del género *Bacillus*, para inocular y colonizar los sistemas de cultivo. Esto permite desplazar otras bacterias que pueden ser patógenas, mejorar la calidad del agua y los fondos del

estanque. Como resultado, se ha conseguido disminuir la tasa de recambio de agua y los costos de energía. (Huerta, 2018).



Figura 1.5 Enmiendas bacterianas aplicadas a los estanques de camarones.

(Advocate, 2020)

1.4.7.5 Recirculación de agua. El uso de herramientas como aireadores y biorremediador nos sirve para mejorar la calidad del agua y proliferar los sistemas de cultivo. La función de aquello es para reducir el riesgo de introducir agua nueva con patógenos potenciales o vectores de enfermedades desde el exterior. Cabe recalcar que esta técnica ha sido adoptada por pocos productores, sin embargo, esta opción es la mejor para el desarrollo de la cría de camarones. (Huerta & Jory, 2017).



Figura 1.6 Calidad del agua de una granja camaronera mediante el proceso de recirculación.

(Seafood, 2017)

1.4.8 Tecnologías para monitoreo y manejo de los cultivos.

En Ecuador, las granjas camaroneras han implementado diversas herramientas tecnológicas para apoyar su industria. Entre estas herramientas se encuentran sistemas de videovigilancia para proteger las instalaciones, comederos automáticos para racionar alimentos acuícolas según la demanda del camarón, monitoreo de varios parámetros de agua para calidad del producto, sistemas de alerta temprana para prevenir enfermedades y evaluación anual de la rentabilidad del negocio en función del tamaño de los cultivos y sus respectivas condiciones del mercado. Las grandes empresas que comercializan los alimentos acuícolas han implementado aplicaciones móviles que entregan la información requerida y en tiempo real para la toma de decisiones durante el manejo de los cultivos. (Piedrahita, Global Sea Food, 2018)

1.4.9 Descripción de las variables que intervienen en el proceso.

Las variables ambientales que se encuentran intrínsecamente en el proceso de la cría y producción de camarones en las granjas camaroneras son de vital importancia ya que estos crustáceos son sensibles a su entorno, salud y crecimiento. A continuación, se detallan estas variables ambientales propias de la naturaleza.

1.4.9.1 Temperatura. La temperatura es un factor clave, desviaciones significativas de los valores óptimos pueden tener consecuencias costosas. Se recomienda cultivar el camarón a una temperatura que oscile entre los 23 y 30 grados centígrados. Esto puede variar según la etapa de vida del camarón. Por ejemplo, los camarones más jóvenes, con menos de 1 gramo de peso, pueden crecer más rápido a una temperatura de 30 grados. Pero ya cuando alcanzan un peso de 12 a 18 gramos necesitan una temperatura no superior a los 27 grados. A partir de los 33 grados, la natalidad de los camarones se reduce, las condiciones de los estanques son menos favorables ya que la calidad del agua se descompone. (Saul, 2022)

1.4.9.2 Salinidad. Se destaca que la salinidad se denota por la concentración total de sales disueltas en el agua. Por ejemplo, 1 ppt se expresa como 1 gramo de sal por cada litro de agua.

Para el caso puntual del camarón blanco, puede desarrollar su crecimiento en rangos de salinidad entre 0.5 a 45 ppt. Sin embargo, esto no significa que su rendimiento será el adecuado. Lo recomendado es que la salinidad del agua en el cultivo se encuentre en un rango de 20 a 25 ppt ya que se ha realizado pruebas en esa medida donde los índices de supervivencia y crecimiento son los ideales.

Existen diversas formas de regular la salinidad en los cultivos de camarones. Si la concentración es baja, se puede utilizar aplicaciones de encalado y adición de sales minerales comerciales. Pero si se desea reducir la concentración se puede verter agua con una menor salinidad. (Rojas, Haws, & Cabanillas, 2018)

1.4.9.3 Oxígeno disuelto. Es fundamental que los acuicultores comprendan los factores que afectan la cantidad de oxígeno disuelto y como una disminución de oxígeno puede afectar a los camarones. La cantidad de oxígeno disuelto en el agua se mide en ppm o mg/l. La temperatura influye en la solubilidad del oxígeno en el agua, esto quiere decir que, a mayor temperatura, el oxígeno disuelto será menor. Además, si se encuentran microorganismos, materia orgánica en el agua lo cual significa que está contaminada entonces el oxígeno disuelto empezará a disminuir.

Cuando hay una alta salinidad, la saturación de oxígeno empezará a disminuir, en pocas palabras el agua con salinidades más altas es más propenso a retener menos oxígeno disuelto que el agua con salinidades más bajas. Existen varias formas para obtener oxígeno en los cultivos de camarón, uno proviene del proceso de fotosíntesis producido por los vegetales, Sin embargo, existe un método más dosificado y eficiente, y es el uso de equipos eléctricos que logren generar una acción mecánica, estos son: las motobombas, los difusores, **aireadores de paleta**, de inyección, etc. (Martinez & Boyd, 2008)

A continuación, se muestra una tabla de los efectos que tendrían los camarones ante la falta de concentración de oxígeno.

Tabla 1.1 Efecto a bajas concentraciones de oxígeno disuelto.
 (Carvajal Toral, 2014)
 [<https://www.balnova.com/oxigeno-en-estanques-de-camaron/>]

Concentración de oxígeno disuelto	Efecto
Menor de 1 o 2 mg/L	Nocivo si la exposición se prolonga
2-3 mg/L	Tasa de crecimiento lento
4-5 mg/L – saturación	Mejor condición para crecimiento adecuado
Super saturación	Dañino si la concentración se encuentra en toda el área del estanque.

1.4.9.4 pH. El pH es la concentración de acidez y esto puede variar en las piscinas de forma constante debido a ciertos comportamientos como la respiración de los organismos acuáticos. Según estudios científicos sugieren que en el rango óptimo de pH para los estanques de camarones debe ser entre 7.8 y 8.5, y la fluctuación máxima no debe sobrepasar los 0.5 para lograr una mejora en la calidad de agua. Si el pH es demasiado alto o bajo durante un periodo de tiempo elevado, esto puede afectar al crecimiento de los camarones, haciéndolos susceptibles a enfermedades. (Saul, Molinos S.A.S., 219).

1.4.9.5 Turbidez. La cantidad de sedimento en suspensión en el agua que se forma en la superficie se considera un indicador de turbidez. Existe un organismo denominado fitoplancton el cual es utilizado para obtener turbidez en cantidades controladas ya que favorece el alimento a los microorganismos principalmente del zooplancton. Este proceso mejora la calidad del agua al producir oxígeno disuelto y elimina compuestos potencialmente tóxicos como el amoniaco. La turbidez se considera una medida que indica la claridad de un fluido, está basada en la cantidad de luz que se dispersa en el líquido y puede ser utilizada para diferenciar entre agua transparente y agua turbia u opaca. (Saul, Molinos S.A.S., 2021).

Existe una herramienta sencilla, económica y eficiente que nos permite medir la turbidez en la piscina y se la conoce como el disco Secchi. Esta constituido de un metal de 30 cm de diámetro junto con su respectivo cordón en el centro. Si hay presencia de algas y partículas en suspensión en el agua puede la presencia del disco Secchi empezar a

disminuir. Se considera óptimo hacer estas mediciones una vez al mes o efectuarlo cada dos semanas. Si notamos un patrón de aumento en la profundidad mediante el cordón del disco Secchi durante el transcurso del tiempo, se considera una mejora en la calidad del agua. (Saul, Molinos S.A.S., 2021).



Figura 1.7 Medición de la turbidez utilizando el Disco Secchi.

(S.A.S, 2021)

1.4.10. Tecnologías en el monitoreo de la calidad del agua.

Entre los parámetros de medida de la calidad del agua, están los condicionantes físicos, como la temperatura y la turbidez, y los condicionantes químicos, que son el oxígeno disuelto, pH, dureza, alcalinidad, amonio, nitritos, nitratos y fosfatos.

**Tabla 1.2 Niveles normales de parámetros para la calidad del agua.
(University Of Leeds, 2020)**

Main water quality parameters and their optimal ranges of operation

Water Parameters	Normal Level
Dissolved Oxygen (mg/L)	>5
pH	6.5 – 9.5
Salinity (ppt)	15 – 23
Temperature (°C)	20 – 30

De acuerdo con la historia del arte los parámetros más críticos son: oxígeno disuelto, PH, salinidad, y la temperatura.

1.4.10.1 Sensor de Oxígeno Disuelto (OD). La concentración de este parámetro en el agua de salida en cultivos de aguas cálidas debe ser superior a 4 ppm y mayor a 7 ppm en cultivos de aguas frías. (HANNA INSTRUMENTS, 2021)

La solubilidad del oxígeno en agua dulce varía entre 14.6 mg/L a 0 o C hasta aproximadamente 7 mg/L a 35 o C bajo una presión de 760 mmHg. La concentración de oxígeno disuelto en agua está determinada por la ley de Henry, que describe la relación de equilibrio entre la presión parcial de oxígeno atmosférico y la concentración de oxígeno en agua. (Sawyer C.N. & McCarty, 1978)

Los instrumentos analíticos actuales utilizan predominantemente dos tipos de sensores de oxígeno disuelto: electroquímico y óptico. (HANNA INSTRUMENTS, 2021)

Los sensores electroquímicos o amperométricos: incluyen tanto los tipos galvánicos como los polarográficos. Un gas de membrana delgada y permeable aísla los elementos del sensor del agua. El oxígeno que pasa a través de la membrana se reduce, creando una corriente que el medidor convierte en una medición de la concentración de oxígeno. Si bien los sensores electroquímicos son inicialmente menos costosos, requieren un mantenimiento frecuente y dependen de un flujo de muestra constante para una lectura precisa (ya que consumen el oxígeno que permea a través de la membrana).

Los sensores ópticos: son el otro tipo de sensor de OD común miden bajo el principio de la extinción de fluorescencia. Un luminóforo que forma parte de la membrana, es excitado con la luz de un LED azul, emitiendo a su vez una luz roja. El oxígeno disuelto en la muestra 'apaga' esta excitación.

Cuando no hay oxígeno presente, la duración y la intensidad de la señal son las mejores. A medida que se introduce el oxígeno, la duración y la intensidad se acortan. La intensidad y el tiempo de duración de la luminiscencia son inversamente proporcionales a la cantidad de oxígeno presente. A medida que el oxígeno interactúa con el luminóforo, reduce la intensidad y la duración de la luminiscencia. La duración e intensidad de la luminiscencia se mide con un fotodetector y se utiliza para calcular la concentración de oxígeno disuelto.



Figura 1.8 Sensor de Oxígeno Disuelto ENV-40-DOX.
(Atlas Scientific, 2023)

1.4.10.2 Sensor del Potencial de Hidrogeno (pH). La escala que se maneja es de 0 a 14 en donde un pH 7 es el pH neutro.

En aguas con valores de pH inferiores a 7 (aguas ácidas), las branquias se verán afectadas generando problemas respiratorios. Valores de pH superiores a 7 (básicos), incrementan la toxicidad del amonio y pueden causar la muerte o inapetencia de los camarones. Por lo tanto, los valores óptimos de pH van de 6.5 a 8.0. (HANNA INSTRUMENTS, 2021)

Este sensor contiene un electrodo sensible al PH, sin embargo, la medición de este electrodo por sí sola no proporciona suficiente información para determinar el valor de pH y es necesario utilizar un segundo electrodo no sensible al pH. Este último proporciona la señal de referencia para el electrodo sensible al pH. La diferencia de ambos sensores crea una pequeña corriente que es proporcional a la concentración de iones de hidrógeno y de esta manera se determina el valor de pH de la solución medida. (University Of Leeds, 2020)

La selección del sensor de pH debe considerar la composición química del sensor, la temperatura de funcionamiento, la presión del proceso, el intervalo de medición y el tipo de conexión del electrodo del sensor.



Figura 1.9 Sensor de PH ENV-40-pH.

(Atlas Scientific, 2023)

1.4.10.3 Sensor de Salinidad del agua. Hay dos tipos de sensores de salinidad: (University Of Leeds, 2020)

Sensores conductivos: Miden la capacidad de una solución para conducir corriente eléctrica entre dos electrodos. La corriente fluye en la solución a través del transporte de iones. Un aumento en la concentración de iones provoca altos valores de conductividad.

Sensores inductivos: Utilizan dos bobinas una al lado de la otra, que están encapsuladas en una estructura de cerámica o plástico. Se genera un campo magnético variable en el tiempo en la bobina del transmisor, que induce un voltaje en el líquido que carga los iones. Esto genera una corriente alterna, que se detecta en la bobina del receptor. La intensidad de la corriente depende de los iones libres en el líquido.

Atlas Scientific fabrica una sonda de CE (conductividad eléctrica), que mide la conductividad eléctrica en el agua. Este es entonces un tipo de sonda de sensor conductivo. Dentro de la sonda, se colocan dos electrodos uno frente al otro y se aplica un voltaje de corriente alterna, lo que hace que los cationes se muevan hacia el electrodo con carga negativa, mientras que los aniones se mueven hacia el electrodo con carga positiva. Cuanto mayor es el nivel de electrolitos libres que contiene el líquido, mayor es la conductividad eléctrica.

Este tipo de sonda de conductividad es muy simple. El rango de medición de la sonda es de 5 a 200.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con una precisión de $\pm 0,2 \%$.



Figura 1.10 Sensor de salinidad ENV-40-ECK1.0.
(Atlas Scientific, 2023)

1.4.10.4 Sensor de Temperatura. (HANNA INSTRUMENTS, 2021) La temperatura del agua es una variable importante en la acuicultura, pero en la mayoría de los tipos de acuicultura no se puede controlar y depende de la cantidad de radiación solar, la temperatura del aire o de la temperatura del agua que pasa a través de la unidad de cultivo.

La temperatura, además, cambia el poder de toxicidad de algunas sustancias tales como el amonio (NH_4), que aumenta sus efectos perjudiciales cuanto más se calienta el agua.

Las especies de aguas frías no tolerarán temperaturas por encima de 20 - 25°C. Las especies de aguas cálidas generalmente no se reproducen a temperaturas inferiores a 20°C o no crecen a temperaturas inferiores a 10 a 15°C, pero sobreviven temperaturas mucho más bajas en invierno. Las especies tropicales morirán a temperaturas de 10 a 20°C y la mayoría no crecerá a temperaturas inferiores a 25°C.

Los sensores de temperatura detectan el cambio de un parámetro físico, como la resistencia o el voltaje que es función del cambio de temperatura. Hay dos tipos de sensores de temperatura:

Por contacto: El sensor está en contacto con el medio u objeto a detectar.

Sin contacto: El sensor capta la energía radiante de la fuente de calor.

En el caso del monitoreo de temperatura para camaroneras, los sensores comúnmente utilizados son sensores de contacto.



Figura 1.11 Sensor de Temperatura.
(Atlas Scientific, 2023)

1.4.11 Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller PLC).

Los PLCs cumplen una función bastante importante dentro de la implementación del sistema de monitoreo de la calidad del agua, del control de los motores para la oxigenación de las piscinas y de todo el sistema eléctrico de distribución y generación.

Todas las bombas, unidades eléctricas, flujos y niveles de agua y los parámetros importantes del agua son monitoreados por numerosos sensores y controlados por automatización industrial basada en PLC. Si se producen perturbaciones o desviaciones de los datos predeterminados, se notificará inmediatamente al personal. (FutureFish Aquaculture, 2021)

1.4.12 Comunicación inalámbrica por radio frecuencia.

Las ondas de radio frecuencia son generalmente omnidireccionales. Estas son transmitidas por una antena y se propagan en todas las direcciones, evitando así cualquier alineación de las antenas emisora y receptora. Las ondas de la antena emisora pueden ser recibidas por cualquier antena receptora. Las ondas de radio son un buen medio para la transmisión a larga distancia. (Mini S. Thomas & John D. McDonald, 2000)

La principal ventaja de la transmisión de datos por radio frecuencia es que se puede asignar una frecuencia particular para un servicio en particular. El costo es más bajo que el

de la radio por microondas, y no depende del operador común ni de las líneas eléctricas. Las desventajas son la baja tasa de datos para la comunicación digital, la técnica de transmisión limitada y la baja capacidad del canal de transmisión. (Mini S. Thomas & John D. McDonald, 2000)

Debido a la extensa área de la granja camaronera y a la ventaja de tener esta área sin obstáculos que llegasen a interrumpir o afectar la comunicación entre los tableros de arrancadores y sensores con el centro de control o servidores de la industria, se utilizarán equipos transmisores y receptores mediante radio frecuencia, los mismos que se encuentran instalados en cada uno de los tableros de arrancadores de las piscinas.

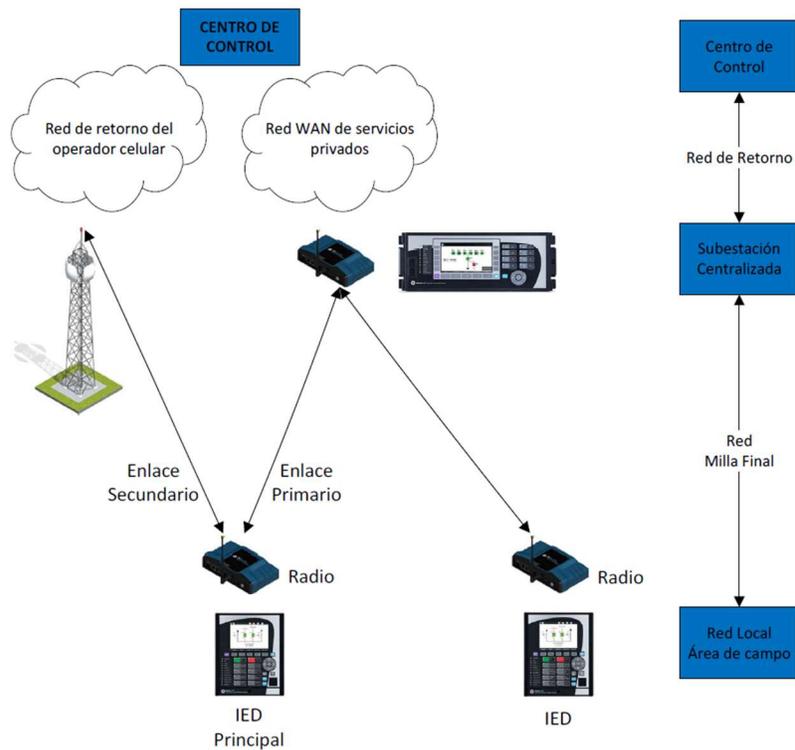


Figura 1.12 Ejemplo de la utilización de una radio para transferencia de datos de un IED o PLC.

(Judy LeStrange, Edgard Sammour, Mike Ramlachan, & Craig Wester, 2021)

1.4.13 Evaluación de una Topología de red inalámbrica.

La topología de la red es un factor clave que los ingenieros deben tener en cuenta al diseñar una red de comunicaciones inalámbrica. Las opciones incluyen protocolos de red punto a punto, punto a multipunto o malla. Cualquiera de estas topologías debe ser evaluada de acuerdo con el equipamiento, zona geográfica, y sobre todo el costo que implica tener mayor confiabilidad con la menor cantidad posible de materiales o componentes.

1.4.13.1 Punto a punto a multipunto. Las topologías inalámbricas punto a punto (PTP) y punto a multipunto (PTMP) se utilizan para comunicarse entre dos dispositivos (punto a punto) o de un dispositivo a muchos (punto a multipunto).

RED PTP: Esta red conecta dos puntos específicos con una línea de vista directa. En el caso de una granja camaronera, es posible usar una red punto a punto para conectar dos instalaciones o zonas clave, como entre el centro de control principal y un área específica del estanque de camarones donde se mide la calidad del agua o se ejecutan los controles sobre los aireadores para oxigenación de las piscinas.

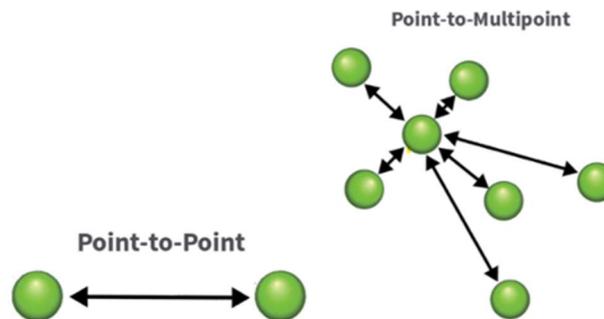


Figura 1.13 Topología Punto a Punto y Punto a Multipunto.
(DIGI-INTERNATIONAL, 2022)

Ventajas de una RED PTP:

Alta velocidad: Generalmente proporciona una conexión de alta velocidad y baja latencia.

Simplicidad: Es relativamente simple de configurar si hay una línea de vista clara entre los dos puntos.

RED PTMP: En una red punto a multipunto, un punto central (como un router o una antena base) se comunica con varios puntos remotos (como PLCs distribuidos en diferentes piscinas o áreas de la granja). Esta configuración nos permite recoger datos de múltiples ubicaciones desde un solo punto de control.

Ventajas de una RED PTMP:

Cobertura amplia: Permite que un único punto central se comunice con múltiples dispositivos, lo que es útil para granjas grandes con varias áreas de monitoreo.

Escalabilidad: Puedes agregar más sensores o puntos de monitoreo sin necesidad de instalar nuevas conexiones para cada uno.

1.4.13.2 Las redes de malla. En una red de malla, cada nodo (como un sensor o un punto de acceso) puede comunicarse con otros nodos directamente y colaborar en la transmisión de datos hacia el destino final. Esto crea una red robusta y auto-reparable, donde los datos pueden encontrar múltiples rutas hacia el destino. En las redes de malla tenemos 2 tipos: Zigbee y DigiMesh.

Zigbee normalmente funciona en la frecuencia de 2,4 GHz, mientras que DigiMesh puede funcionar en módulos Digi XBee de 2,4 GHz, así como en módulos XBee de 900 MHz y 868 MHz. Zigbee utiliza nodos finales, enrutadores y coordinadores para representar los dispositivos finales, los repetidores y las puertas de enlace. DigiMesh es una red de malla punto a punto que ofrece auto reparación, operación de red densa y modos de suspensión para prolongar la vida útil de la batería, así como una instalación y configuración sencillas.

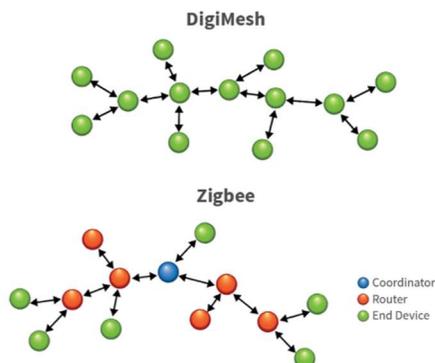


Figura 1.14 Topología Tipo malla DigiMesh y Zigbee.

(DIGI-INTERNATIONAL, 2022)

Ventajas de una RED MALLA:

Redundancia y fiabilidad: Si un nodo falla o la señal se debilita, los datos pueden ser redirigidos a través de otros nodos, lo que mejora la fiabilidad.

Cobertura extensa: La red se expande fácilmente a medida que se añaden más nodos, proporcionando cobertura en áreas más grandes.

En una granja camaronera, es posible instalar varios nodos en diferentes ubicaciones de los estanques y otras áreas clave. Los nodos trabajan juntos para transmitir datos de calidad del agua hacia una estación central, proporcionando una red resistente y flexible que cubre toda la granja.

Un ejemplo de topología de redes inalámbricas se encuentra en la siguiente figura, la cual muestra varios componentes de la tecnología para detección inalámbrica. Primero la radio hub se comunica con el controlador central (una computadora personal) a través de un puerto USB. La radio central permite que el controlador interactúe con los sensores y actuadores a través de las instalaciones de la red de comunicación. Segundo las radios de enrutador sirven para formar una columna vertebral para la red. El tercer componente es el sensor de radio. Los radios sensores tienen sensores y posiblemente actuadores conectados a ellos a través de un bus RS-485.

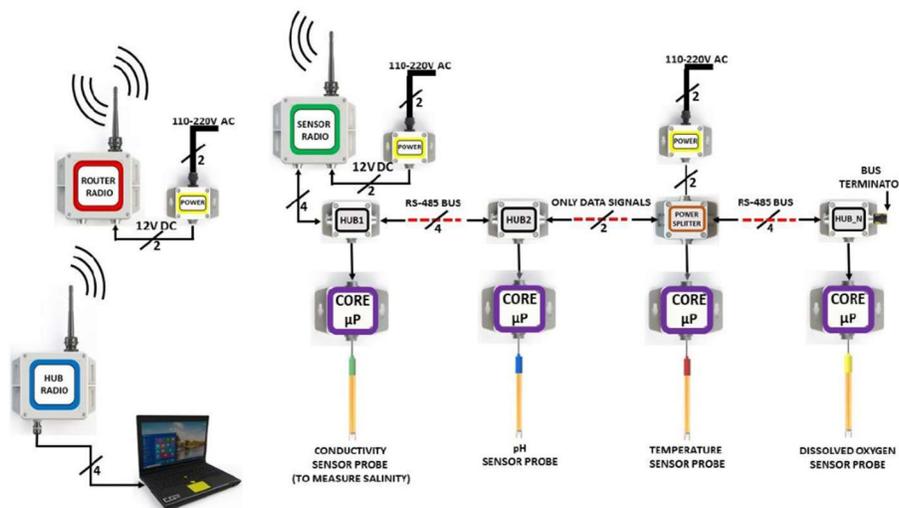


Figura 1.15 Diagrama de conexión de un sistema de comunicación remota.

(University Of Leeds, 2020)

1.4.14 Aplicación de un sistema SCADA.

Un sistema SCADA (Control de Supervisión y Adquisición de Datos) es una herramienta muy valiosa para la gestión y supervisión de procesos en diversas industrias, incluyendo las granjas camaroneras. La adopción de este sistema se ha disparado a medida que las empresas buscan soluciones que permitan configurar, mantener y diagnosticar legiones de dispositivos de campo desde una ubicación central. (Digi International, 2022)

A continuación, se explica la aplicación de un sistema SCADA en una granja camaronera para el monitoreo de la calidad del agua y otras funciones:

Monitoreo de la Calidad del Agua:

Mediante este sistema aplicado en una granja camaronera, es posible monitorear los parámetros más importantes del agua como la Temperatura, pH, Oxígeno Disuelto, Salinidad y la Turbidez.

Esto se lo realizaría mediante:

- **Sensores:** Instalación de sensores en las piscinas para medir los parámetros de calidad del agua.
- **Adquisición de Datos:** El sistema SCADA recopila datos en tiempo real de estos sensores.
- **Visualización:** Los datos se muestran en un panel de control en una interfaz gráfica que facilita el monitoreo continuo.
- **Alertas y Alarmas:** El SCADA puede enviar alertas si los valores de los parámetros se desvían de los rangos normales, permitiendo una acción rápida.

Control de Equipos para mantener la Calidad del Agua:

Los equipos y/o sistema que se pueden controlar desde el centro de control SCADA son los siguientes:

- **Sistemas de Filtración:** Para mantener la calidad del agua.
- **Sistemas de Aireación:** Para asegurar el nivel adecuado de oxígeno.
- **Bombas y Válvulas:** Para la gestión del flujo de agua y la renovación de los estanques.

Esto se lo realizaría mediante:

- **Automatización:** Control automático de equipos basándose en los datos de los sensores. Por ejemplo, activar sistemas de aireación si el nivel de oxígeno baja.
- **Interfaz de Control:** Permite a los operadores encender o apagar equipos desde la interfaz SCADA.
- **Programación:** Configuración de horarios para la operación de equipos según las necesidades del proceso.

Gestión de Datos y Reportes:

Con el monitoreo de los parámetros de la calidad de agua y los diferentes sistemas y controles sobre estos, podemos obtener:

- **Historial de Datos:** Registro de datos históricos para análisis y evaluación de tendencias.
- **Reportes:** Generación de informes periódicos sobre la calidad del agua y el estado de los equipos.

Esto se utilizaría para realizar lo siguiente:

- **Análisis de Tendencias:** Utilización de datos históricos para identificar patrones y hacer predicciones.
- **Informes Automáticos:** Creación automática de reportes para auditorías o análisis de rendimiento.

Integración y Comunicación:

Componentes:

- **PLC (Controlador Lógico Programable):** Controla los procesos y se comunica con el SCADA.
- **HMI (Interfaz Hombre-Máquina):** Permite a los operadores interactuar con el sistema SCADA.

Aplicación del SCADA:

- **Interoperabilidad:** El SCADA se comunica con PLCs y otros dispositivos para coordinar operaciones y recopilar datos.
- **Comunicación en Red:** Uso de redes para transmitir datos entre el SCADA y los diferentes componentes del sistema.

Seguridad y Mantenimiento:

Funciones:

- **Acceso Seguro:** Control de acceso a la interfaz SCADA para garantizar que solo personal autorizado pueda realizar cambios.
- **Mantenimiento Preventivo:** Programación y monitoreo del estado de los equipos para realizar mantenimiento antes de fallos graves.

Aplicación del SCADA:

- **Gestión de Usuarios:** Configuración de diferentes niveles de acceso y permisos.
- **Alertas de Mantenimiento:** Notificaciones sobre el estado de los equipos y necesidades de mantenimiento.

Implementar un sistema SCADA en una granja camaronera permite una gestión más eficiente y precisa del entorno acuático, asegurando la salud de los camarones y optimizando los recursos.

CAPÍTULO II

2. METODOLOGÍA

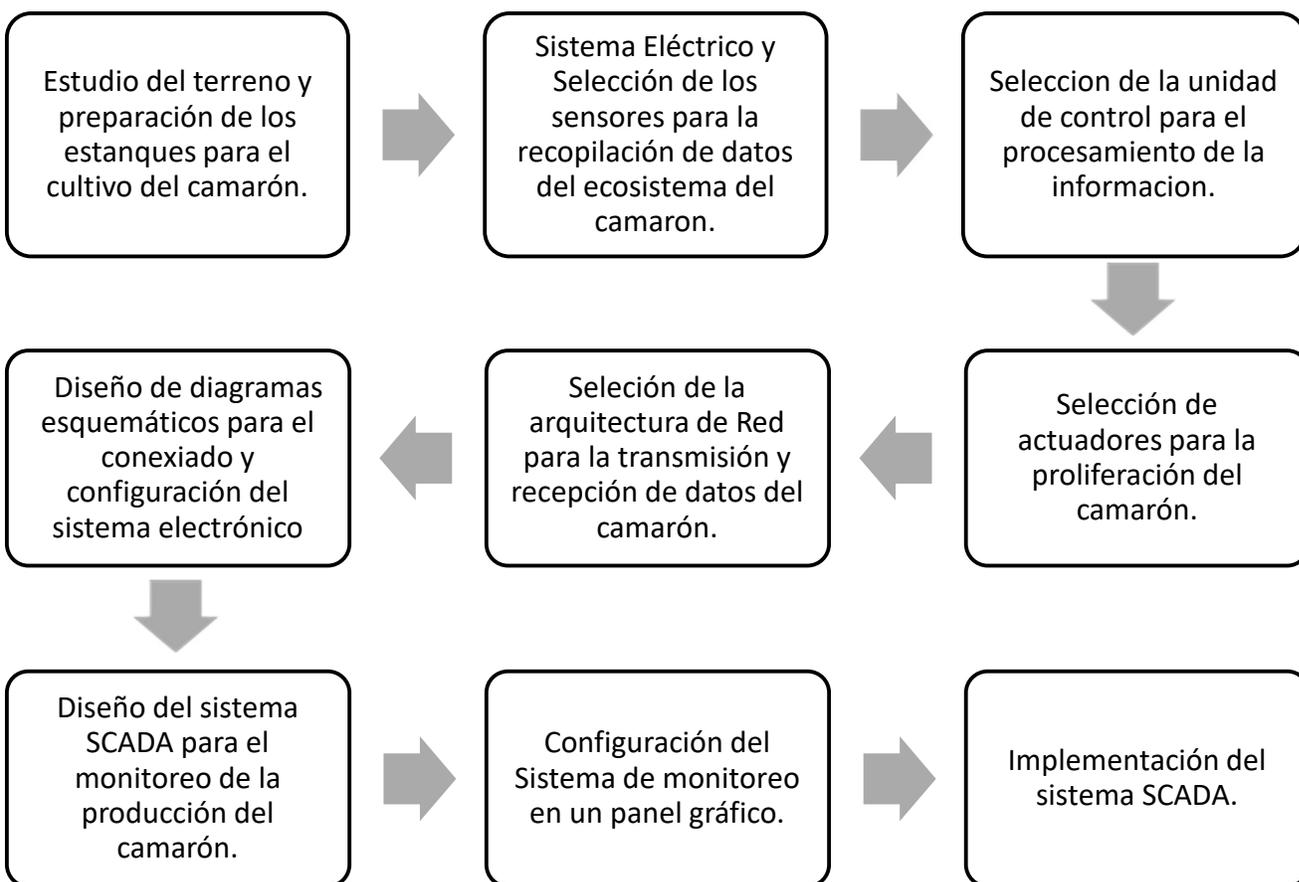


Figura 2.1 Esquema resumido para el desarrollo de la metodología a implementar.

Se desea desarrollar un sistema SCADA para el monitoreo de la producción de camarones en una granja acuícola ubicada en nuestro país. Para aquello, debemos fraccionar en diferentes etapas la metodología propuesta tal como se muestra en la figura 2.1. Prácticamente son 6 pasos que se recomiendan seguir para el adecuado desarrollo de este proyecto. Todo producto consumible por el ser humano proviene de terrenos fértiles para su cultivo, en consecuencia, se realiza un estudio del lugar geográfico en las zonas costeras de nuestro país para la cría y el cultivo de los animales acuícolas, específicamente los camarones.

2.1 Análisis del terreno

La granja acuícola se encuentra ubicada en una Isla del golfo de Guayaquil, Ecuador, provincia del Guayas. Esta granja es para la crianza y cultivo de camarones blancos. Se conoce que el engorde de camarones se realiza en estanques con grandes dimensiones y a un metro de profundidad. El sitio ideal para crear piscinas o estanques de camarón debe estar ubicado cerca de la costa ecuatoriana para tener una fuente cercana de agua salobre o salada.

Para lograr un adecuado desarrollo de los camarones el suelo debe tener una composición de 70% de arena y 25% de arcilla, esta combinación favorece la permeabilidad del suelo. Existe una forma casera de medir permeabilidad del suelo y es tomando una cantidad de suelo húmedo, luego se la amasa para generar una pelota, si esta no se cuartea, se puede decir que el suelo es lo suficientemente impermeable y esto daría paso a la construcción de estanques, sin embargo, si la pelota no queda intacta, es decir se cuartea, el suelo no es impermeable y no se podría dar paso a la construcción de estanques deseados en el terreno.

El pH del suelo debe ser tomado en cuenta antes de construir los respectivos estanques, si se conoce el nivel acidez presente en la tierra esto nos permitirá conocer si el suelo es apto o no para la cría de camarones. Por lo general los suelos ácidos suelen aparecer en zonas costeras del territorio ecuatoriano, sobre todo en áreas de manglares ricas en sulfatos y materia orgánica. Un pH de suelo con un valor inferior de 4 se considera ácido ya que al secarse y oxidarse esta medida de acidez se reduce, en consecuencia, se genera una alta concentración de hierro y aluminio lo cual significa que esto sería perjudicial y nocivo para el ecosistema del camarón. Para equilibrar la acidez del suelo se debe llenar y vaciar el estanque con agua iterativamente pero antes de cada llenado, se debe colocar cal hidratada en cantidades controladas dependiente del nivel de acidez que se tenga en el suelo.

Se conoce que el territorio ecuatoriano es considerado como un país cálido y húmedo, por ende, esto favorece con la adecuada proliferación de crías de camarones ya que la temperatura promedio debe oscilar entre los 24°C y 30°C y la humedad debe ser elevada. Meteorológicamente, la región costera del Ecuador posee dos épocas climatológicas; la primera son las épocas lluviosas de invierno y de temperaturas bajas que

oscilan alrededor de 25°C y la otra segunda son épocas de verano con mayor humedad y elevadas temperaturas que rondan por los 30°C en promedio.

Un dato interesante es que el perfil ecuatoriano converge por dos corrientes marinas, estas son la corriente cálida del Niño que proviene del norte y la corriente fría de Humboldt que se origina del sur, estas se unen en la mitad del planeta, formando el conocido frente ecuatorial y gracias a aquello, se producen aguas altamente productivas, Además de que la descarga de ríos produce aguas estuarinas lo que genera la existencia de altos rangos de salinidades favoreciendo nuestro territorio y a su vez a la producción del sector camaronero.

En resumen, un terreno ideal para producir camarones en el Ecuador primero debe tener acceso al agua salada, segundo el suelo debe ser el adecuado y debe tener una buena capacidad de drenaje y tiene que ser rico en nutrientes y por último el clima cálido y húmedo es muy favorable hacia este sector productivo ya que fortalece el crecimiento de los camarones.



Figura 2.2 Lugar geográfico de una granja camaronera.

2.2 Requerimientos del proceso.

Es necesario obtener la información del cliente mediante encuestas para conocer los requerimientos que desea en su producción, además se realiza el estado del arte para conocer y mejorar la calidad de producción de camarones con el fin conseguir las certificaciones deseadas por organismos de salud y generar más exportaciones de los productos a nivel mundial, entonces basado en lo mencionado se plantearon los siguientes requisitos:

- Integrar un sistema de sensores para la medición de parámetros esenciales de los camarones en las respectivas piscinas camaroneras con el objeto de plasmar esa información a través de un panel o interfaz gráfica.
- Diseñar una arquitectura de red de tal forma que la comunicación sea confiable y segura y no se pierda la información frente a temporadas de lluvias o ambientes hostiles. Para aquello, es necesario adquirir equipos robustos para cumplir con la demanda.
- Realizar un sistema de monitoreo y supervisión en tiempo real para analizar la información adquirida, realizar predicciones y efectuar la toma de decisiones satisfaciendo la producción de camarones.
- Establecer rangos óptimos de los valores o parámetros ambientales en el ecosistema del cultivo del camarón para que el operador acuícola pueda regular en el menor tiempo posible estas variables frente a alarmas o reportes realizados por el sistema SCADA.
- Mantener los valores de los parámetros esenciales del camarón mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 2.1 Rangos deseador para cada valor o parámetro del cultivo del camarón.

Parámetros Físicos – químicos y biológicos de las piscinas y suelo		
Parámetros	Medición	Optimo
Temperatura (°C)	05h00 y 16h00	20-30°C
Oxigeno (mg/L)	05h00 y 16h00	> 4 mg/L
pH en Piscina	05h00 y 16h00	6.7 – 8.5

Alcalinidad	2 veces al mes	80-200 mg/L
pH en el suelo	Una vez en el ciclo	7 - 8
Turbidez	05h00 y 16h00	30-35 cm

2.3 Ingeniería para el proceso de subsistemas del cultivo de camarón en las piscinas.

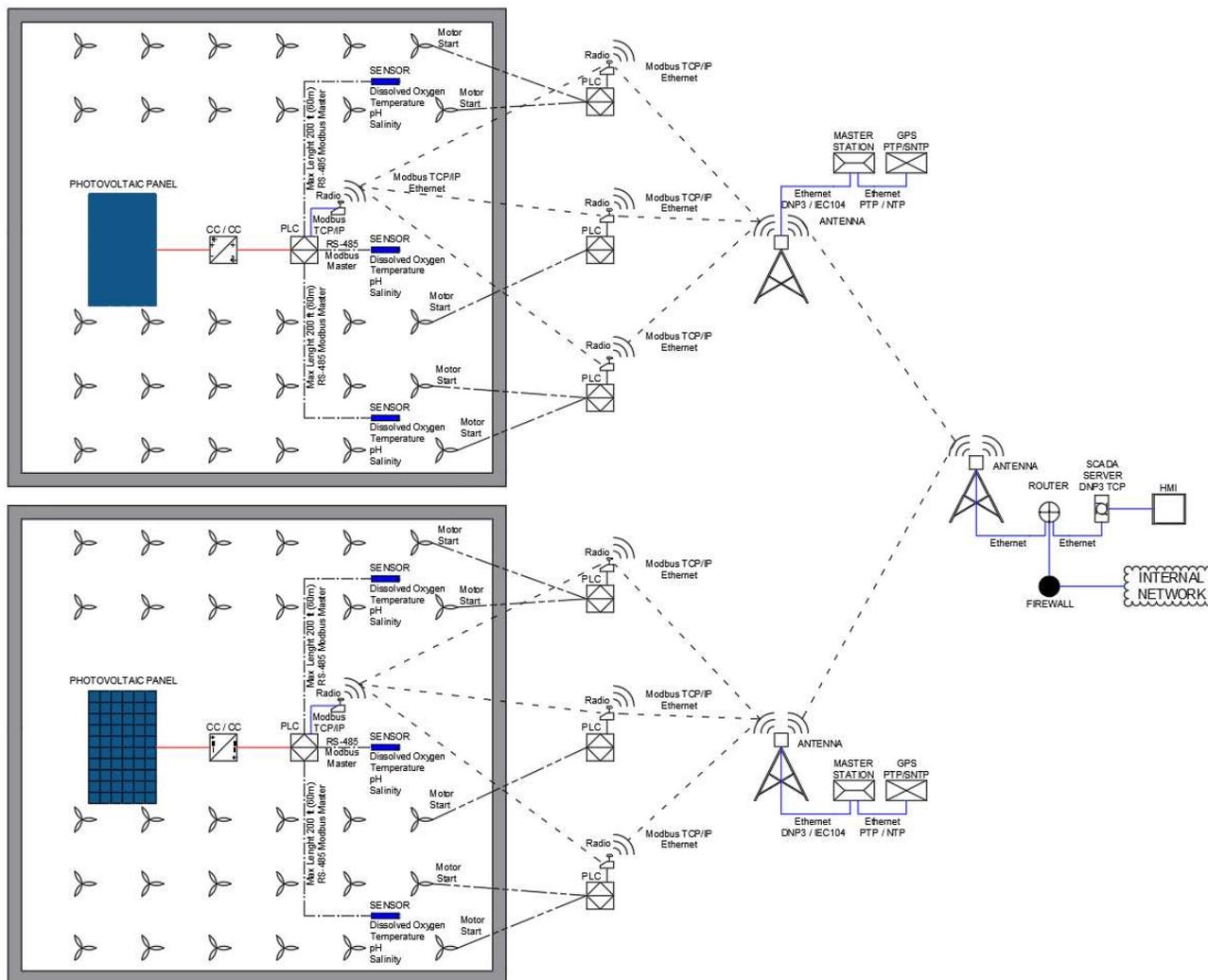


Figura 2.3 Componentes del sistema de la granja para el monitoreo y control por radio enlace.

La Figura 2.3 muestra los componentes de todo el sistema y, además, como se realiza la comunicación inalámbrica entre los sensores y el servidor del sistema SCADA. El

funcionamiento de los diferentes componentes representados en la Figura 2.3 se describe a continuación.

Los sensores multiparámetros utilizados en la aplicación cuentan con protocolo Modbus RS-485, los mismos que se conectan a las entradas seriales de un PLC que cuenta con hasta 4 entradas RS-485 para los sensores, cabe recalcar que por este mismo puerto se proporciona energía necesaria para la batería de cada sensor. Este primer PLC industrial se encontrará instalado en el centro de cada una de las piscinas y será alimentado mediante la energía almacenada por un panel fotovoltaico para el sistema de alimentación de los camarones. Debido a que el agua en la piscina se encontrará en constante movimiento por la aireación suministrada con los motores, se instalarán hasta 4 sensores multiparámetros con la finalidad de cubrir todo el volumen de la piscina. Esto puede cambiar debido al tamaño de cada una de las piscinas.

La información de los parámetros de calidad del agua de la piscina es enviada a cada uno de los PLCs que se encuentran instalados en los tableros de control de arranque de motores de la piscina en análisis. Cada uno de los tableros de arrancadores puede cubrir el 25%, 50%, 75% o el 100% de la aireación de una piscina, esto dependerá del tamaño de esta. Esta comunicación inalámbrica se realizará entre una radio de menor alcance y las radios que se encuentran en los tableros de arrancadores que son de mayor alcance. Las radios de enrutador forman la columna vertebral de la red. Se instalan en ubicaciones fijas y brindan cobertura en toda el área.

Los PLCs encargados de monitorear el estado de cada uno de los aireadores y del tablero en donde se encuentra instalados, recibirán además los valores de calidad del agua y mediante los valores de oxígeno disuelto se tiene un control en laso cerrado para mantener los niveles de oxígenos de acuerdo con los estándares de crecimiento del camarón.

Las radios de mayor alcance instaladas en los tableros de arrancadores se conectan mediante ethernet al PLC, y son las encargadas de la red de gestión y SCADA para el monitoreo y control de la calidad del agua en las piscinas de camarón. Mediante protocolo Modbus TCP se conectan todos los PLCs de los tableros de arrancadores, dependiendo del sector en el que encuentren, con su respectiva Maste Station que se encuentra instalada en el cuarto de control eléctrico más cercano. El cuarto de control es en donde se encuentran

todos los equipos de potencia que distribuyen la energía en toda red eléctrica de la granja camaronera.

Todos los dispositivos electrónicos que cuentan con una unidad de sincronización de tiempo podrán consultar durante cada instante la estampa de tiempo a un GPS que se encuentra conectado a la red de comunicaciones de cada sector.

Cada Master Station encargada no solo de monitorear la calidad del agua, sino también el sistema de distribución eléctrico de la granja se conectará de igual manera mediante radio enlace a los servidores de SCADA mediante protocolo DNP3 TCP. Los servidores de SCADA se encontrarán en el centro de control de la industria, además existen equipos de seguridad y control de tráfico instalados en un rack de comunicaciones con un sistema de enfriamiento necesario para controlar la temperatura de los equipos de comunicación. Tanto por el firewall como por el router, el tráfico de la red pasa a través de ellos, pero el router es el encargado de direccionar el tráfico, mientras que el firewall se utiliza principalmente con fines de seguridad o protección de accesos no autorizados y amenazas externas.

Como parte del sistema se tiene los monitores en donde se visualizan los diagramas, alarmas y curvas de tendencia del monitoreo de todos los sistemas de la granja. Además, existen redes que se conectan a los servidores o al router para los diferentes servicios de los departamentos de la industria, e incluso con una red de internet.

2.4 Sistema eléctrico de Potencia para la electrificación de la aireación

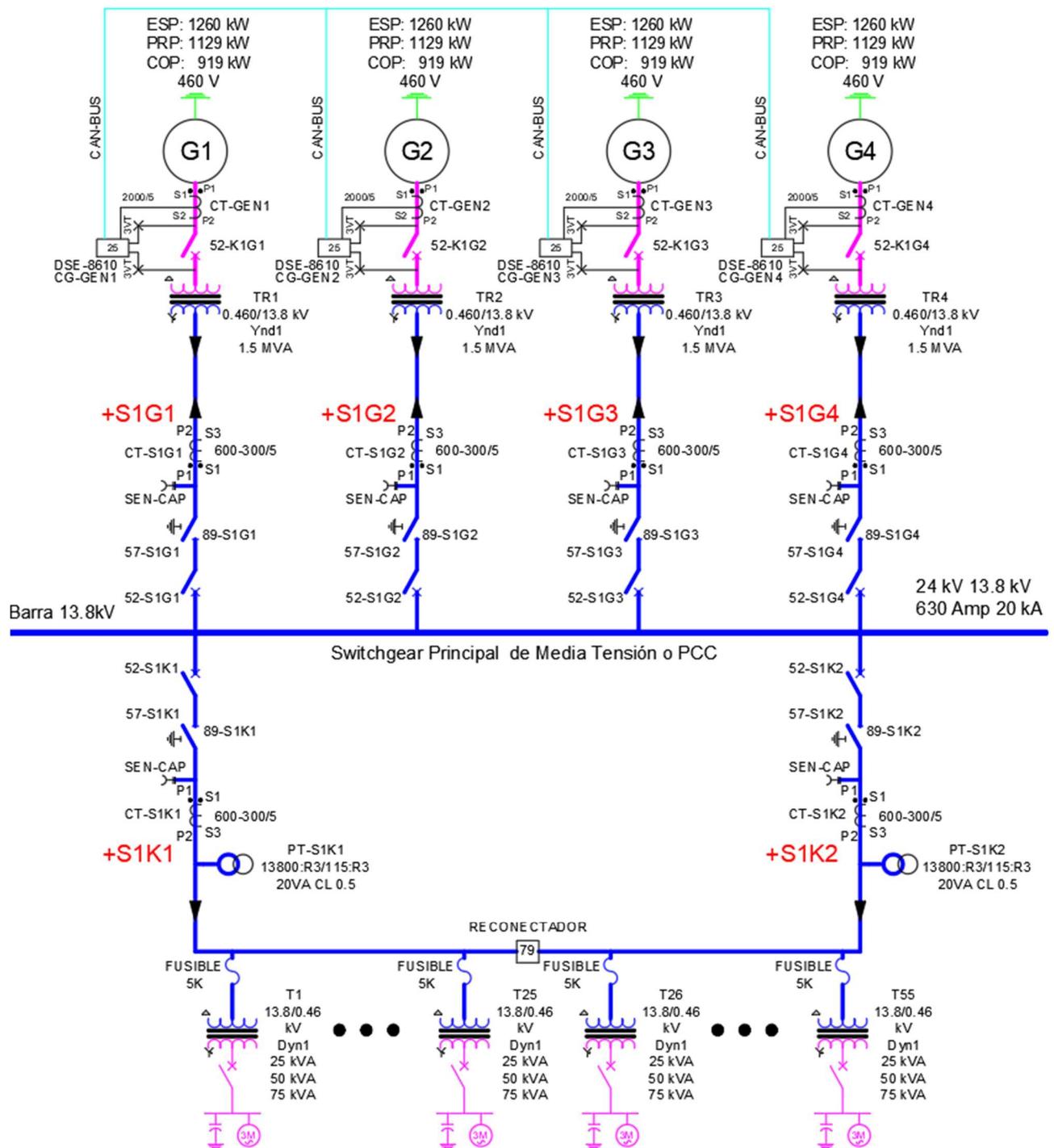


Figura 2.4 Diagrama Unifilar Eléctrico de la Granja Camaronera.

Antes de la selección de los componentes electrónicos y eléctricos como sensores, actuadores, PLCs, radios de comunicación, etc, se analiza y diseña el sistema eléctrico que suministrará de energía a todos estos componentes. Parámetros como: Niveles de tensión, Impedancias y Capacidades de los Transformadores reductores, Calidad de Energía, son por mencionar unos pocos de los cuales fueron considerados en la implementación de este proyecto.

El sistema eléctrico de la granja camaronera opera en modo isla, es decir, la única fuente de energía serán 4 grupos electrógenos a diésel con capacidad de 1129kW cada uno o 4516kW en total. Estos grupos generan a un nivel de tensión de 460VAC y se conectan a un transformador elevador trifásico tipo PADMOUNTED de 460VAC conexión en delta para elevar la tensión en estrella sólidamente aterrizado a 13.8kV. Cada generador tiene el mismo esquema y se conectan a un Switchgear o Celdas de Media Tensión que se encuentra en un cuarto de control y en dónde se realizan todas las maniobras de conexión y desconexión de la fuente y de la carga a través de seccionadores (89 y 57) e interruptores de potencia (52).

Las posiciones de salida del Switchgear de media tensión se conectan a la red eléctrica aérea en 13.8kV para transportar la energía de los generadores hacia cada uno de los 55 transformadores reductores en conexión 13.8/0.460kV con distintas capacidades en KVA, estos equipos reducen el nivel de tensión de la red de distribución con la finalidad de alimentar o energizar los 55 tableros de capacitores y 130 tableros de arrancadores de aireadores o motores que se encuentran en las piscinas de cultivo de camarón y a todos los elementos de control como PLCs y radios de comunicación.

Cada generador, celda de media tensión (Bahía), tablero de arrancadores, poseen su respectivo controlador, PLC, radio, relé de protección y/o medidor de energía. Estos dispositivos se conectan a la red LAN del sistema mediante cableado estructurado RJ45 CAT-6A y/o Radio Enlace. Toda la información del monitoreo es enviada al servidor SCADA que encuentra en el cuarto de control mediante los distintos protocolos de comunicaciones como DNP3, MODBUS, IEC-61850, GOOSE.

Además, el sistema eléctrico dispone de un reconectador ANSI-79, que se encarga de seccionar la red aérea y la carga en un 50% aproximadamente. El sistema automatizado utiliza este equipo con la finalidad de realizar un deslastre de carga ante un evento de

contingencia N-1 en el cual un generador salga de operación de manera inadvertida, para evitar un Blackout del sistema de energía.

2.5 Selección del equipo de medición para el sistema de monitoreo.

2.5.1 Aqua Troll 500 de la marca In-Situ.

Para la medición de los parámetros ambientales en la producción o cultivo del camarón, se incorpora al proyecto el sensor multi parámetros Aqua Troll 500 de la familia In-Situ. Este equipo incorpora un conjunto de sondas que miden parámetros como pH, turbidez, oxígeno disuelto, conductividad y temperatura. Un beneficio de utilizar este equipo es que puede intercambiar estos parámetros, es decir que, si se desea medir densidad del agua, puede intercambiar la sonda de pH por una sonda que permita obtener el parámetro mencionado. Este equipo nos ofrece flexibilidad, confiabilidad y robustez lo cual es ideal para el muestreo y monitoreo remoto a largo plazo para aplicaciones de acuicultura. Incorpora una pantalla LCD y la fabricación del equipo está basado en titanio lo cual es muy resistente a los ambientes hostiles.

Es fácil de instalar y su mantenimiento es sencillo. Una gran ventaja del equipo es que integra protocolos de comunicación abiertos que permiten interconectividad con otros equipos, estos protocolos son: RS-485/Modbus y SDI-12. Se puede acceder a los datos a través de su memoria interna ya que tiene la función de registrar la información y almacenarla en una memoria y por otro lado se puede acceder a estos mismos datos a través de un controlador, sistema de telemetría, sistema SCADA, etc.

Tabla 2.2 Características del equipo de medición.

Características técnicas de la sonda multi parámetros Aqua Troll 500	
Temperatura de Operación	Rango de -5 hasta 50°C
Máxima presión en Operación	Hasta 150 PSI
Opciones de salida	RS-485/Modbus, SDI-12, Bluetooth
Mediciones	1 registro cada 2 segundos
Registrador de datos	Telemetría o uso de uno externo
Software	VuSitu en plataforma Android
Pantalla LCD	Integra una pantalla que muestra status de la sonda, puertos, potencia y conectividad
Opciones de cables	Poliuretano ventilado o no ventilado
Dispositivos de comunicación	Troll Com o Wireless Troll Com

Tabla 2.3 Datos técnicos de los parámetros esenciales para el cultivo del camarón.

Característica de los parámetros de medición que integra la sonda Aqua Troll 500				
Sensor	Exactitud	Rango	Precisión	Tiempo de respuesta
Temperatura	±0.1°C	-5 a 50°C	0.01°C	T63 < 2s, T90 < 15s, T95 < 30s
pH	±0.1	0 a 14	0.01	T63 < 3s, T90 < 15s, T95 < 30s
Turbidez	±2%	0 – 1500 mg/L	0.1 mg/L	T63 < 1s, T90 < 1s, T95 < 1s
Salinidad	--	0 – 350 PSU	0.1 PSU	--
Oxígeno disuelto	±0.1 mg/L	0 a 60 mg/L	0.01 mg/L	T63 <15s, T90 < 45s, T95 < 60s



Figura 2.5 Equipo de medición de sondas multi parámetros Aqua Troll 500.

2.6 Selección de la unidad de control para el procesamiento de la información.

2.6.1 Micro 800 de la marca allen bradley.

Cada piscina camaronera necesita de un microcontrolador para procesar las señales del entorno ambiental que intervienen durante el proceso de crianza. En consecuencia, para este proyecto se ha utilizado un equipo de gama baja de la marca Allen Bradley, un Micro800. Este microcontrolador sería suficiente ya que solo se necesita adquirir y procesar la información de su unidad de memoria para posteriormente ser enviado y almacenado en los servidores de SCADA del centro de control.

El micro 800 es un controlador compacto y puede ser utilizado en espacios reducidos, ofrece un rendimiento rápido y su eficiencia en el control de procesos es adecuada para este proyecto, su velocidad de procesamiento puede llegar hasta los 10KHz cuyo beneficio es controlar y supervisar una amplia gama de dispositivos.

En cuanto a conectividad, el micro 800 es compatible con una variedad de opciones en tema de comunicaciones seriales y estos son: la interfaz Ethernet, USB, RS-232 y RS-485, esto facilita la integración con otros equipos y sistemas.



Figura 2.6 Unidad de control Micro820 de la marca Allen Bradley.

2.7 Configuración y programación del sistema en desarrollo.

Para la programación y configuración del microcontrolador industrial, debemos utilizar el programa Connected Components Workbench, este es un entorno de desarrollo

que nos permitirá procesar las señales de entradas para luego enviarlas a la plataforma de los servidores de SCADA y ser visualizadas en tiempo real en la HMI del centro de control.

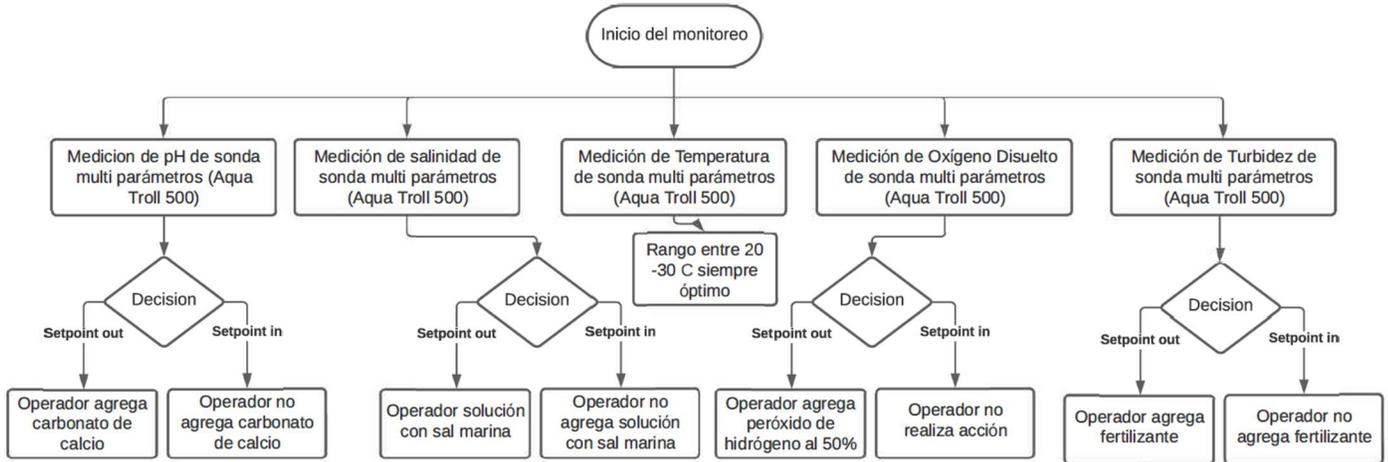


Figura 2.7 Diagrama del flujo del estado de los sensores y su procesamiento.

En la figura 2.8 se muestra el diagrama de flujo de la programación del PLC que se encuentra en cada uno de los tableros de arrancadores o aireadores. La programación y elementos del tablero se encargan de monitorear las condiciones de la fuente de energía y del estado de control del tablero para ejecutar el arranque seguro y eficiente de los aireadores. Cada tablero dispone de 3 modos de operación; el primero consiste en un modo manual en el cual el operador puede realizar el arranque de n cantidad de aireadores del tablero y apagarlos en cualquier horario en el que se encuentre. El segundo modo de operación es de manera remota desde la HMI del Centro de Control, de igual manera el operador podrá realizar el arranque y apagado de n cantidad de aireadores del tablero. El último modo de operación es automático, y consiste en que los aireadores ingresarán de manera progresiva cumpliéndose las condiciones de horarios y valores de oxígenos disueltos en las piscinas.

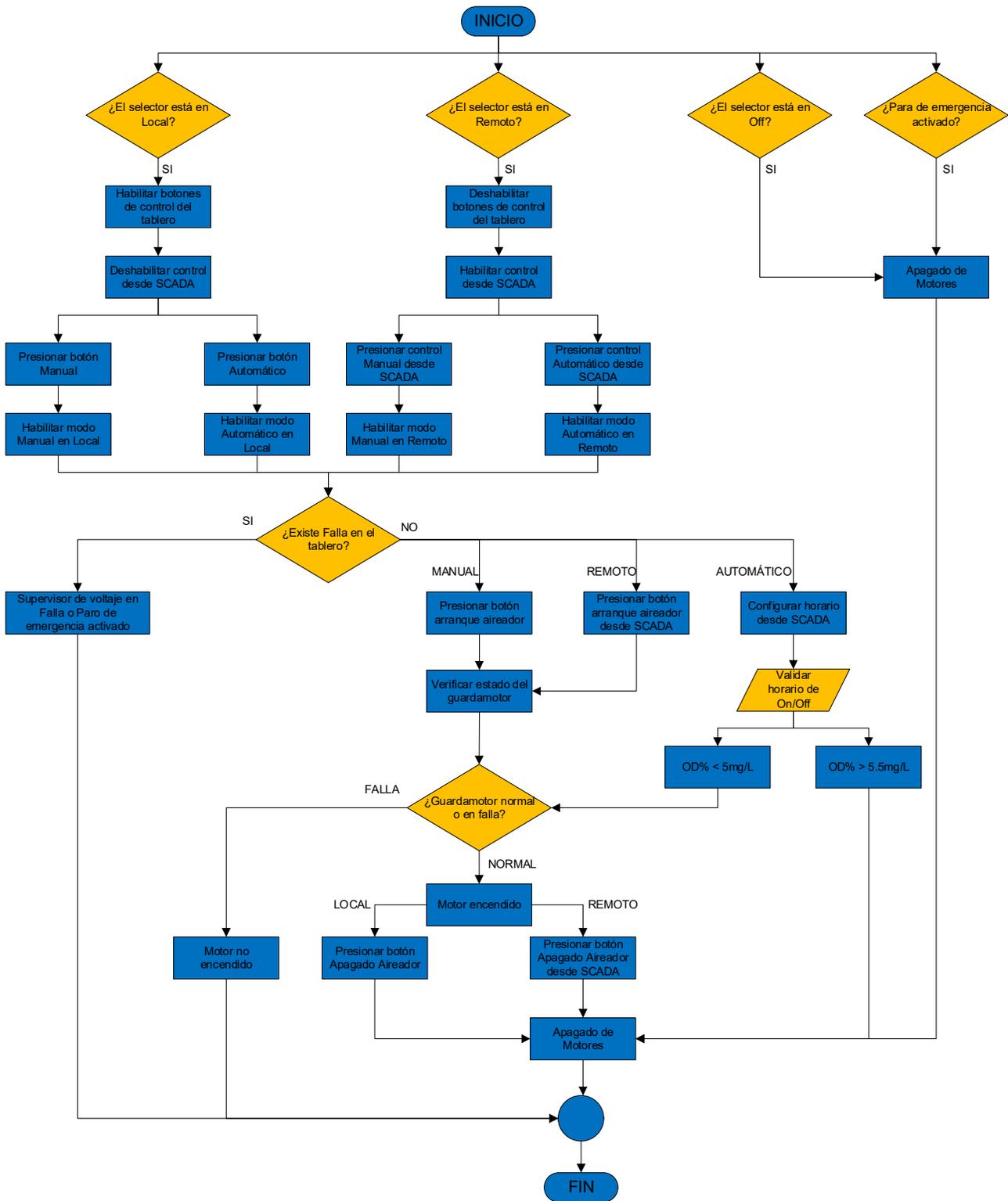


Figura 2.8 Diagrama del flujo del PLC instalado en cada tablero de arrancadores.

El horario y valores de oxígeno que deben cumplirse para el encendido automático de aireadores es parametrizado de acuerdo con los estudios que realice el departamento de biología de la granja camaronera, es decir, son valores que pueden ser editados por el usuario. De acuerdo con la última parametrización realizada el horario de encendido y apagado de los aireadores se realiza a partir de las 16:00 hasta las 08:00 del siguiente día. Para implementar este proceso de control en los aireadores se implementa la siguiente conexión mostrado en la figura 2.9.

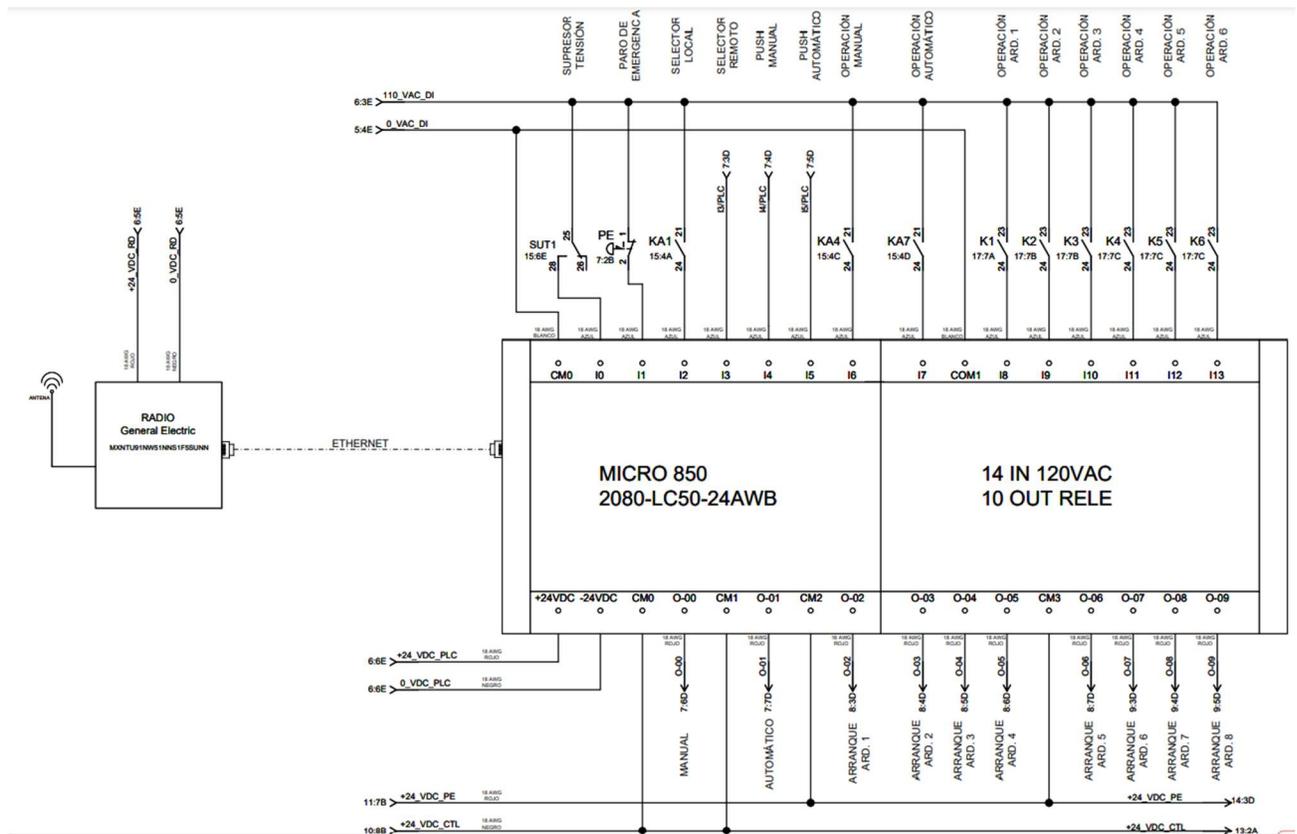


Figura 2.9 Conexión eléctrica del microcontrolador 850.

Cada piscina camaronera cuenta con un tablero de control, este tablero de control integra el microcontrolador, módulos de entradas-salidas y elementos de protección para el actuador que para este caso puntual nos referimos a los aireadores, por lo tanto, un tablero de control controla máximo de 10 aireadores. En consecuencia, toda la información que se recopila se procesa y luego manda la orden se encarga del módulo de radio frecuencia mostrado en la misma imagen a través de un cable ethernet por puertos RJ45. Esta recopilación de datos converge a una antena receptora y la envía a otra antena principal

En la figura 2.10 se observa la ubicación de los elementos de maniobra, protección y control y de los motores trifásicos que se encuentran embebidos en los aireadores, se cuenta con un transformador, guardamotores, interruptor automático, fusibles, borneras, etc.

La figura 2.11 representa el diagrama de flujo de la lógica de programación realizada en la Unidad Terminal Remota RTU SEL3530 de Schweitzer. Al igual que en los tableros, el arranque del sistema de energía se realiza a través de 3 modos de operación; el primero es manual local y por lo tanto el operador del sistema quien realizará en sitio el arranque de cada grupo electrógeno, la sincronización entre unidades y el ingreso de carga del sistema. El segundo modo de operación es un modo remoto manual y consiste en realizar el arranque de unidades, e ingreso de carga desde la HMI del centro de control en cualquier horario. El tercero y último modo corresponde a un modo automático en el cual al cumplirse todos los permisivos de marcha del sistema el operador debe únicamente colocar el sistema SCADA en automático y al cumplirse los horarios de marcha y parada los generadores arrancarán todos al mismo tiempo, una vez que se tenga energizado el Switchgear de media tensión, la carga ingresa de manera progresiva en pasos pequeños de 250kW cada 3 minutos, esto con la finalidad de evitar que la frecuencia caiga por debajo de valores que podrían producir una desconexión de los generadores por baja frecuencia. La carga total del sistema de aireación es de 3MW.

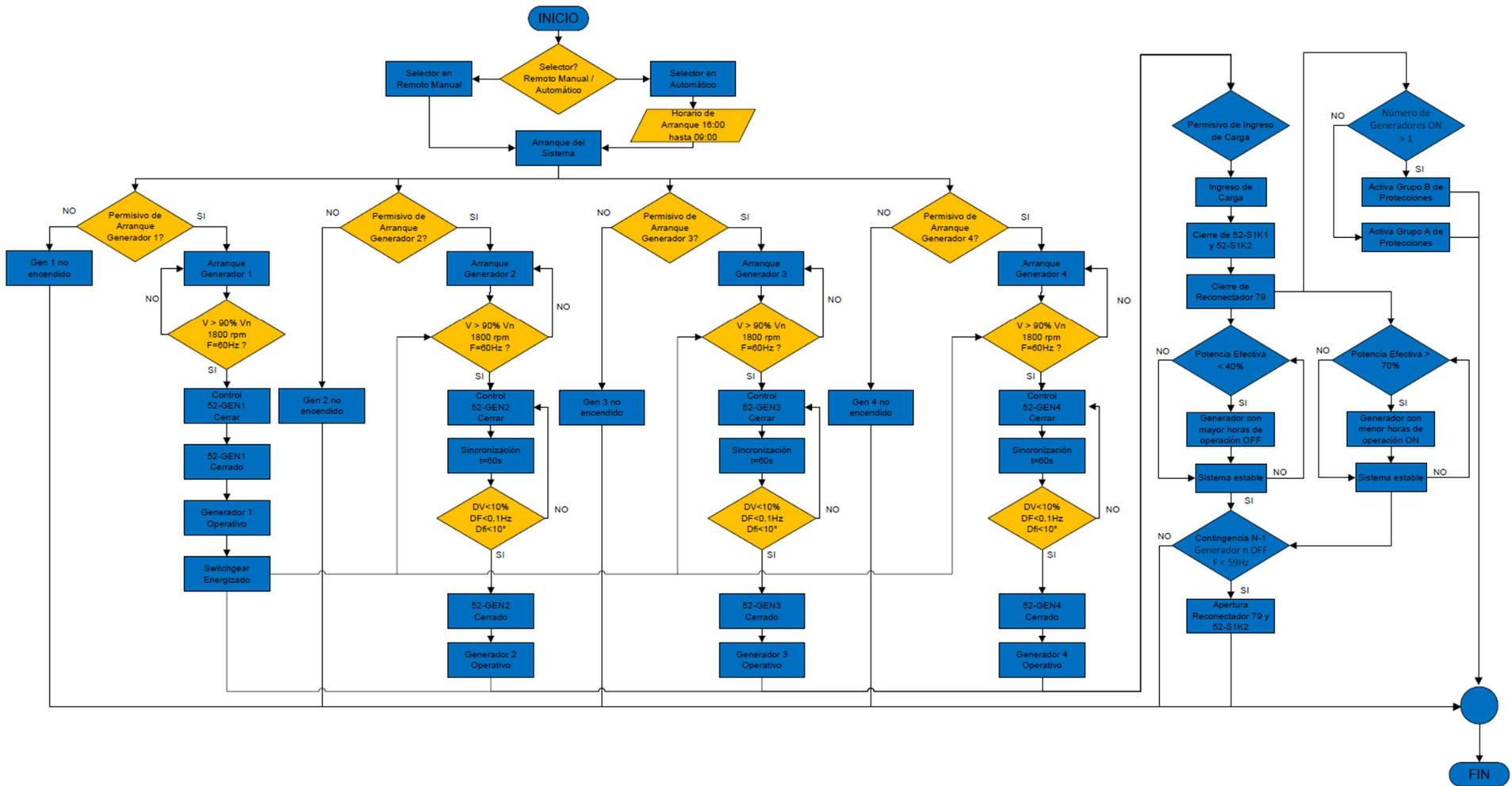


Figura 2.11 Diagrama del flujo de la RTU-3530 para la automatización del sistema eléctrico de media tensión.

2.8 Variables en el proceso de monitoreo para la producción del camarón.

Tabla 2.4 Tags de PLC de la gama Allen Bradley.

TAG (PLC)	Nombre del Tag PLC	Tipo (PLC)
AI0.1	Var_pH	Entera
AI0.2	Var_Salinidad	Entera
AI0.3	Var_OxigenoD	Entera
AI0.4	Var_Turbidez	Entera
AI0.5	Var_Temperatura	Entera
QI0.1	Var_Motor1	Booleana
QI0.2	Var_Motor2	Booleana
QI0.3	Var_Motor3	Booleana
QI0.4	Var_Motor4	Booleana
Q1.1	Var_Vavula1	Booleana
Q1.2	Var_Vavula2	Booleana
Q1.3	Var_Vavula3	Booleana

2.9 Selección de actuadores del sistema electrónico.

La selección de actuadores es una parte crucial en el diseño e implementación de un sistema SCADA, ya que estos dispositivos controlan físicamente los equipos y procesos en la granja.

2.9.1 Motores o aireadores.

Para la oxigenación de las piscinas de camarón, los ingenieros han optado por utilizar aireadores con motores eléctricos trifásicos a nivel de 460VAC. La capacidad en HP de estos motores depende de los estudios que realizan los ingenieros eléctricos y biólogos de la granja, al someterlos en piscinas de pruebas y evaluar el consumo eléctrico y el nivel de oxígeno que aportan por cada 1000 metros cúbicos de agua.

Hay 3 puntos clave que se deben considerar para la selección de un aireador eficiente:

- a) Tamaño de la piscina y volumen de agua: Los tamaños de las piscinas se miden en número de hectáreas de terreno ya que la profundidad de agua normalmente es de 1 metro. Por lo tanto, los ingenieros suelen utilizar la unidad HP/Hectárea, que significa la cantidad de potencia eléctrica que se debe utilizar en piscinas que van de 1 hasta las 50 hectáreas.
- b) Niveles de Oxígeno: Se calculan los pesos de aire y agua que deben respirarse o bombearse para exponer las superficies respiratorias a 1 mg de oxígeno molecular. Debido a que el aire tiene un 20,95% de oxígeno, aproximadamente 4,8 mg de aire contendrán 1 mg de oxígeno.
- c) En un estanque de camarones con agua que contiene 30 ppt de salinidad a 30 grados-C (densidad del agua = 1,0180 Kg/L), la concentración de oxígeno disuelto en la saturación con la atmósfera es de 6,39 mg/L. Un volumen de 0,156 L de agua contendría 1 mg de oxígeno y pesaría 159 gramos. Esto es 33.125 veces mayor que el peso del aire que contiene 1 mg de oxígeno.
- d) Los estándares gubernamentales permiten alrededor de 4,7 personas por metro cuadrado en eventos al aire libre. Supongamos que cada persona pesa el promedio mundial de 62 kg, entonces habría 2.914.000 kg/ha de biomasa humana. Los peces y los camarones suelen tener un requerimiento de oxígeno para la respiración de alrededor de 300 mg de oxígeno/kg de peso corporal por hora. Este peso de biomasa de camarones podría agotar el oxígeno disuelto en un estanque de agua dulce de 10.000 metros cúbicos inicialmente saturado con oxígeno a 30 grados-C en aproximadamente 5 minutos, y los animales de cultivo se asfixiarán.
- e) Temperatura: La capacidad de un aireador para transferir oxígeno puede variar con la temperatura del agua. Por lo tanto, es importante validar de que el aireador sea eficaz en las temperaturas típicas de la piscina. La temperatura en las costas ecuatorianas en promedio de 25°C en un rango que oscila entre 23 y 30°C. Es por ello por lo que el ambiente ecuatoriano es ideal para el cultivo de este crustáceo.

Tabla 2.5 Tabla para determinar cantidad de HP/Hectárea.

Aireador	Marca	Walker
	HP	3
	Factor de Potencia	89%
	Rendimiento	88.9%
	kW	2.52
	Tensión VAC	440
	Aporte en Kg de O ₂ /Hora	4
Piscina	Hectáreas	20
	Profundidad [m]	1
	Oxígeno g de O ₂ /m ³ de H ₂ O	7.0
	Total, de O ₂ en [g]	1400000
Biomasa o Producción kg/hec	Extensivo (500-1500kg/hec) (1000-5000 Camarones/hec)	1500
	Semi-Intensivo (2000-4000kg/hec) (10000-20000 Camarones/hec)	4000
	Intensivo (6000-12000kg/hec) (30000-50000 Camarones/hec)	12000
Camarón	Oxígeno en g de O ₂ /m ³ de H ₂ O no debe ser Inferior a:	5.5
	mg de O ₂ /kg de peso y por hora	300
Consumo de g de O ₂ /hora para la Piscina y Producción	Consumo de O ₂ en g/hora Extensivo	9000
	Consumo de O ₂ en g/hora Semi-Intensivo	24000
	Consumo de O ₂ en g/hora Intensivo	72000
Tiempo estimado de Agotamiento de O ₂	Horas Extensivo	156
	Horas Semi-Intensivo	58
	Horas Intensivo	19
Tiempo estimado para bajar a 5.5 g de O ₂ /m ³ de H ₂ O	Horas Extensivo	33
	Horas Semi-Intensivo	13
	Horas Intensivo	4
Cantidad de Aireadores	Elevar de g de O ₂ /m ³ de H ₂ O:	5.5
	Hasta g de O ₂ /m ³ de H ₂ O:	7.0
	Tiempo en Horas	1
	Extensivo	77
	Semi-Intensivo	81
	Intensivo	93
Cantidad de Aireadores por hectárea	Extensivo	4
	Semi-Intensivo	4
	Intensivo	5
Cantidad de HP por hectárea	Extensivo	12
	Semi-Intensivo	12
	Intensivo	14

2.10 Evaluación y selección adecuada de una arquitectura de comunicaciones.

Seleccionar la arquitectura de comunicación adecuada para un proyecto implica evaluar las necesidades de conectividad, así como la tecnología disponible y los recursos técnicos y operativos necesarios para implementar y mantener la aplicación. Para muchas de estas decisiones, no hay una sola respuesta correcta o incorrecta. En cambio, se trata de encontrar una solución lo suficientemente flexible para sus casos de uso actuales y futuros y las funciones necesarias para satisfacer esas necesidades.

Por ejemplo, se pueden usar potencialmente varios protocolos inalámbricos para comunicarse entre dispositivos, pero cada uno tiene beneficios específicos y casos de uso ideales. El que funcione mejor, depende de sus condiciones únicas y objetivos comerciales.

Para descubrir lo anteriormente mencionado debemos hacernos las siguientes preguntas: (DIGI-INTERNATIONAL, 2022)

- ¿La arquitectura necesitará recopilar datos, con una red de sensores?
- ¿Incluirá monitoreo y controles, como en una red de supervisión, control y adquisición de datos (SCADA)?
- ¿Los dispositivos necesitarán enviar datos con frecuencia o solo en ocasiones, como una alerta de que el nivel de agua en la piscina se encuentra bajo?
- ¿Cuál es la distancia física entre los dispositivos y las puertas de enlace (Gateway)?
- ¿Qué tan rápido deben enviarse los datos desde los nodos finales a una puerta de enlace?
- ¿Hay requisitos estrictos de tiempo que deben cumplirse?
- ¿Los dispositivos necesitarán conectarse a la nube?
- ¿Es el uso de energía un factor y, de ser así, hay energía fácilmente disponible? Si se implementa en una red grande o remota, como en un entorno agrícola, ¿sería difícil o costoso reemplazar la batería?

2.11 Unidad de comunicación para la transmisión de información.

2.11.1 Modulo emisor de comunicación Orbit MCR de la marca MDS.

Para el proyecto se utiliza el enrutador de conexión de servicios múltiples de la marca MDS, es conocido comúnmente como Orbit MCR. Se desea que este proyecto tenga una confiabilidad y seguridad razonable. En consecuencia, el equipo a seleccionar es el Orbit MCR de la marca MDS ya que es apto para múltiples aplicaciones como su nombre lo indica, esto incluye aplicaciones SCADA y telemetría, lo cual favorece a aplicaciones de control y monitoreo de procesos.

Este equipo de comunicación tiene una capacidad de ancho de banda de hasta 16 Mbps, lo cual tiene la capacidad de transmitir la información a una alta velocidad. En cuanto a conectividad de red, admite conectividad con Ethernet, TCP/IP, SNMP y Modbus permitiendo alto grado de integración con otros periféricos de red.

Este equipo es considerado robusto ya que está fabricado para resistir condiciones complicadas en los entornos industriales, tiene protección contra polvo, humedad y vibraciones. El MDS Orbit MCR se lo utiliza generalmente para la supervisión y control remoto de un proceso.

El rango de frecuencia con la que opera este equipo es de 400 a 512MHz lo cual se puede generar transmisiones de datos a largas distancias y con altas velocidades.

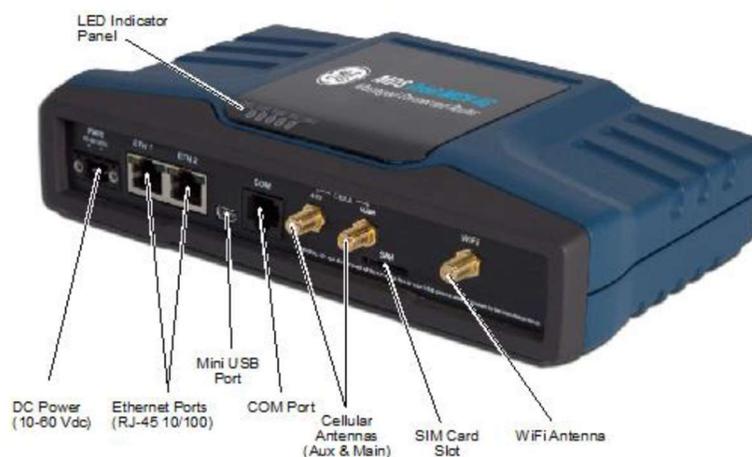


Figura 2.12 Unidad de comunicación radio emisor ORBIT MCR de la marca MDS.

2.11.2 Modulo receptor de comunicación “Master Station” de la marca MDS.

Para la recepción de información proveniente de las estaciones remotas (piscinas camaroneras), debemos utilizar un equipo que nos permita intercambiar la información, para aquello se utiliza el Master Station de la marca MDS, Un argumento para la selección de este equipo es que necesitamos receptor los datos a y la vez debemos transmitir dichos datos a los servidores para el monitoreo de los parámetros esenciales del camarón mediante la visualización de un sistema SCADA, es por eso que este equipo es el ideal para este proceso ya que integra una comunicación full dúplex.

Este equipo utiliza un rango de frecuencia amplio y es de 400 a 2.5Ghz, esto favorece en temas de compatibilidad con una amplia gama de dispositivos remotos ya que los radios emisores a utilizar en este proyecto trabajan dentro del rango de este módulo maestro. El equipo tiene soporte para múltiples protocolos y estos son: DNP3, Modbus, IEC 69870-5 entre otros cuyo beneficio es la integración con diferentes equipos y sistema de control.

El módulo soporta una gran capacidad en lo que respecta el ancho de banda, tiene una integridad de hasta 100 Mbps, esto nos permite transmitir la información a alta velocidad y de forma confiable.

Las interfaces de comunicación para este equipo son: Ethernet, TCP/IP, SNMP entre otros. Su diseño es robusto ya que puede trabajar bajo entornos industriales y climáticos agresivos obteniendo una seguridad y confiabilidad de la información del proceso.

Este equipo es de alta gama, por ende, su instalación es fácil y cuenta con herramientas de diagnóstico avanzadas para facilitar el mantenimiento y resolución de problemas. Se considera un equipo ideal para aplicación de control y monitoreo de procesos.

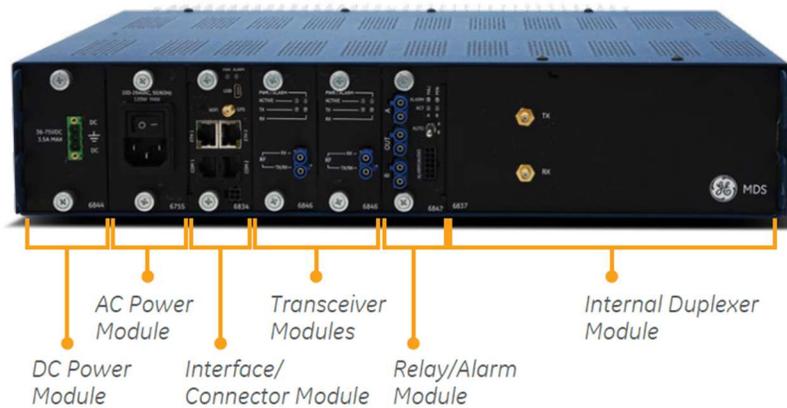


Figura 2.13 Unidad de comunicación maestro MS de la marca MDS.

2.12 Diagrama de conexión de los equipos de medición y unidad de control.

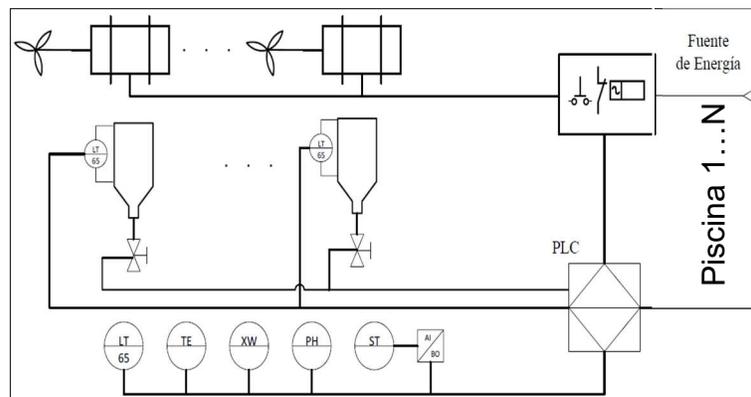


Figura 2.14 Diagrama esquemático del conexionado de equipos de instrumentación y unidad de control.

Para este proyecto, se muestra el diagrama de conexión para una piscina camaronera, este esquema será igual para todas las piscinas que se van a integrar en la granja camaronera, consta de equipos de instrumentación, actuadores, y su respectiva unidad de control alimentado por una fuente de energía.

2.13 Diagrama esquemático de la arquitectura de red.

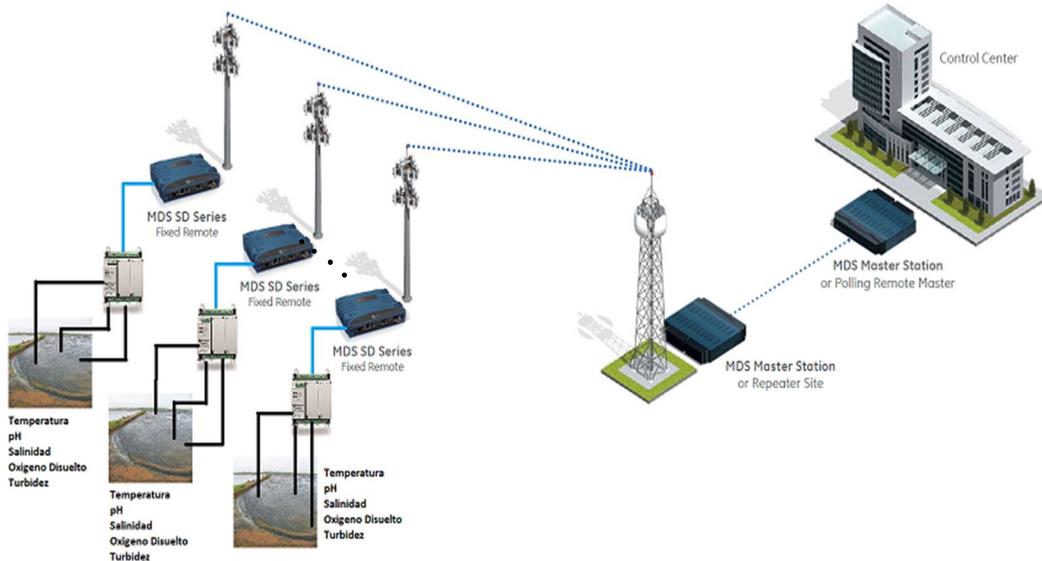


Figura 2.15 Diagrama esquemático de la arquitectura de red del sistema.

Se muestra en la figura 2.6 como va a ser estructurado el sistema de comunicación para la granja camaronera, se utilizaron radios emisores de la marca MDS para la recepción de información procesada proveniente de la unidad de control y originada por los equipos de medición que adquieren la señal de su entorno ambiental en las piscinas camaroneras.

2.14 Topología de transmisión de la información del proceso para el monitoreo de cultivos de camarones.

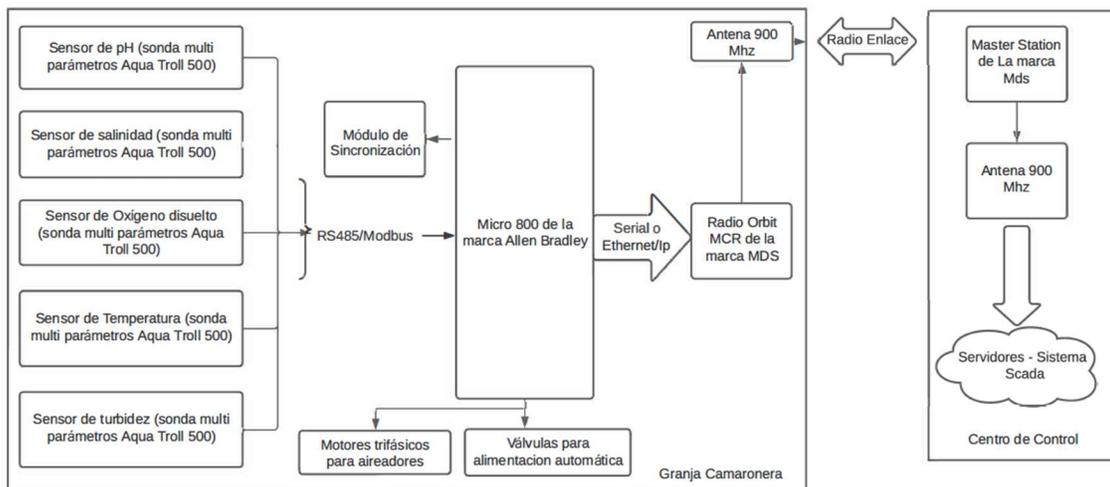


Figura 2.16 Topología del sistema.

La topología de transmisión de la información en un sistema SCADA para el monitoreo de cultivos de camarones es fundamental para garantizar una supervisión eficaz y en tiempo real de los parámetros críticos del entorno acuático. En este contexto, la topología suele adoptar una estructura jerárquica y distribuida que facilita la integración de múltiples fuentes de datos y la toma de decisiones rápida. Los sensores desplegados en los estanques de camarones recogen datos sobre variables como temperatura, salinidad, pH y niveles de oxígeno, que son transmitidos a través de redes inalámbricas o protocolos de comunicación industrial como Modbus hacia un servidor central. Este servidor, ubicado en el centro de control, procesa y almacena la información, la cual es posteriormente visualizada y analizada mediante la interfaz del sistema SCADA. La topología también incluye estaciones de trabajo que permiten a los operadores monitorear en tiempo real y responder a alarmas o anomalías detectadas, asegurando la optimización del entorno de cultivo y la salud de los camarones.

2.15 Área de Operación del Sistema de Telecomunicaciones.

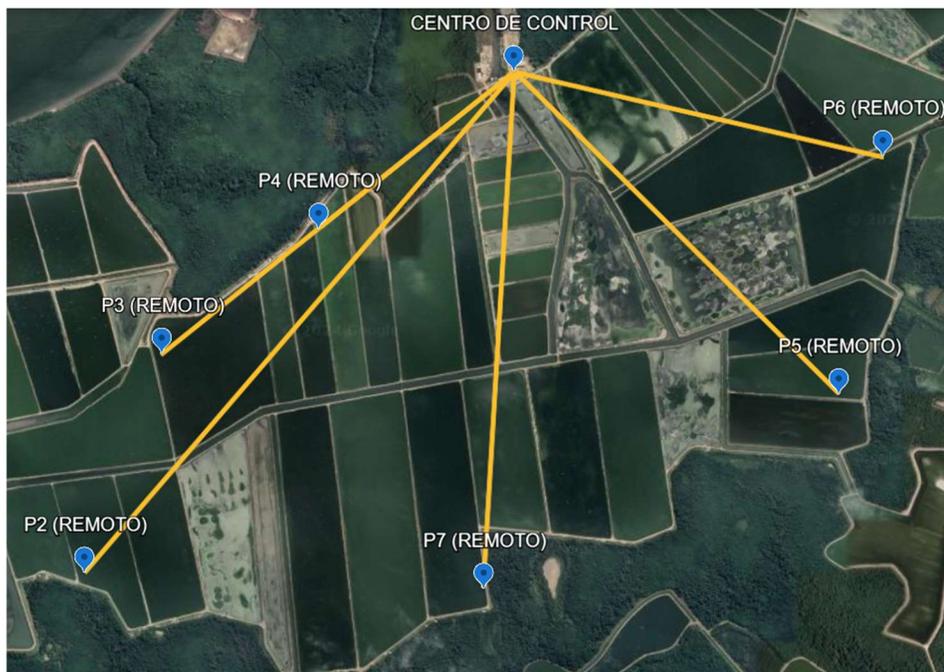


Figura 2.17 Área de la Granja Camaronera.

El área del sistema de comunicaciones Inalámbrico de grado industrial, con mecanismos de última generación de ciberseguridad y multiservicios posee cobertura de radio frecuencia en cada uno de los puntos más alejados de la granja. Además, el sistema soporta protocolos de automatización Modbus TCP o Modbus Serial, DNP3 y otros. La RED permitirá Gestión y Administración centralizada de la plataforma de comunicaciones y brinda Flexibilidad para diseño avanzado de Networking, con capacidades de protección en radiofrecuencia y datos.

El área donde se implementa la arquitectura de radio enlace cumple con los siguientes puntos:

- Uso de banda 900 MHz ISM que asegura la cobertura y propagación de RF.
- Capacidad de transporte del tráfico de automatización SCADA – RTUs.
- Soporta el transporte de protocolos de automatización Serial, IP, TCP/Modbus, UDP.
- Permite que los dispositivos puedan operar en modo de radio maestro, esclavo y repetidores de señal.
- Permite modelaje y aseguramiento del tráfico con mecanismos de QoS, firewall, listas de acceso.
- Integración flexible a redes de datos operacionales mediante el manejo de tráfico en Capa 2 o Capa 3 con protocolos de enrutamiento dinámico y ofrece monitores de ruta para cambio de camino en caso de requerirse.
- Permite trabajar en zonas RF para creación de celdas de cobertura independientes.
- Rango de alimentación extendido entre 10 a 60 VDC en los equipos como radios.

2.15.1 Factibilidad de Radio Frecuencia.

En la imagen se muestra un mapa de obstáculos dentro del sector donde se estableció los puntos críticos para el estudio, lo que nos ayuda a analizar la factibilidad de los enlaces. El color verde claro nos indica que los obstáculos presentes en el área no superan una altura de 12 - 15 [m]. lo que valida el desarrollo del radio enlace.



Figura 2.18 Mapa de obstáculos simulado en Software Radio Mobile.

2.15.2 Simulación de mapa de obstáculos y fuerza de señal.

Para la simulación de los enlaces se han considerado los siguientes parámetros:

- Las coordenadas proporcionadas son precisas, estos fueron validadas en sitio.

Radio modelo: MDS Orbit UL 900 MHz (915-928 MHz)

- TX power: 27 dBm
- RX threshold: -99 dBm para estudio (-99 dBm@500kbps)
- Field Margin: 3 dB

Antenas:

- Antena Ominidireccional (Master Station)
Numero de parte: 97-3194A23
Ganancia: 9.1 dBi
A 30 metros sobre el nivel del suelo
- Antena Yagi (Remoto)
Numero de parte: 97-3194A13
Ganancia: 8.55 dBi
A 4 metros sobre el nivel del suelo

Feed line:

- Master/Remoto: LMR400, Attn @ 12.8 dB per 100m



Figura 2.19 Punto remoto P2, 70% despejada, fuerza de señal -59,9 dBm (Señal idónea).

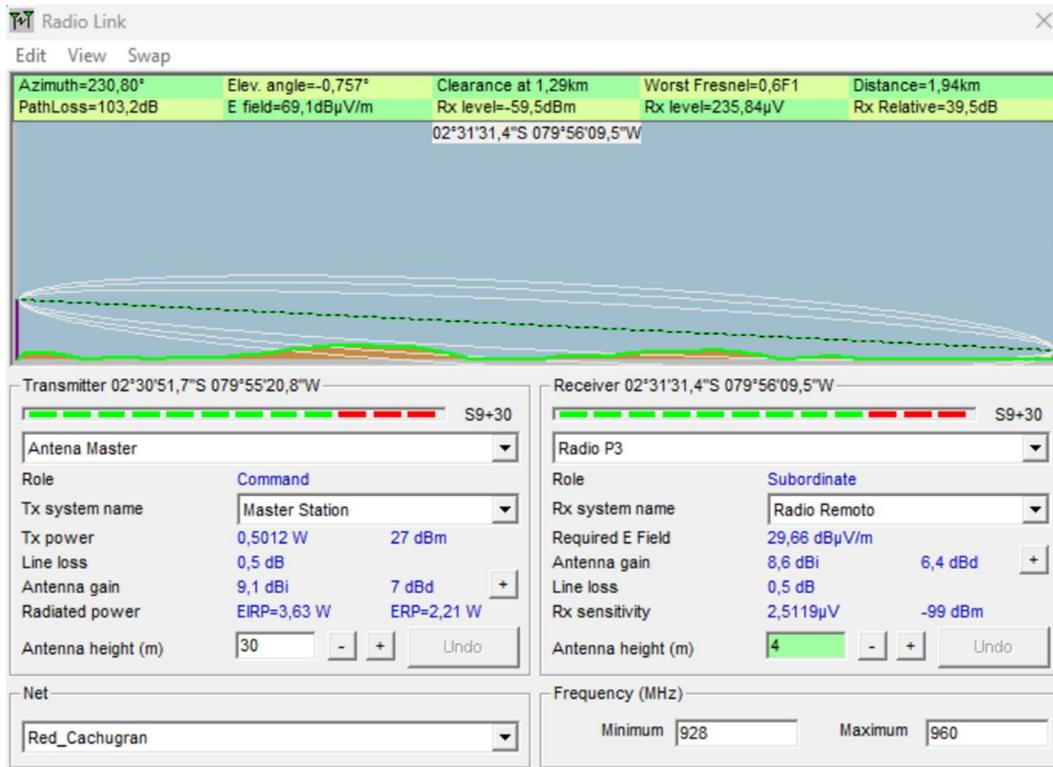


Figura 2.20 Punto remoto P3, 60% despejada, fuerza de señal -59,5 dBm (Señal idónea).

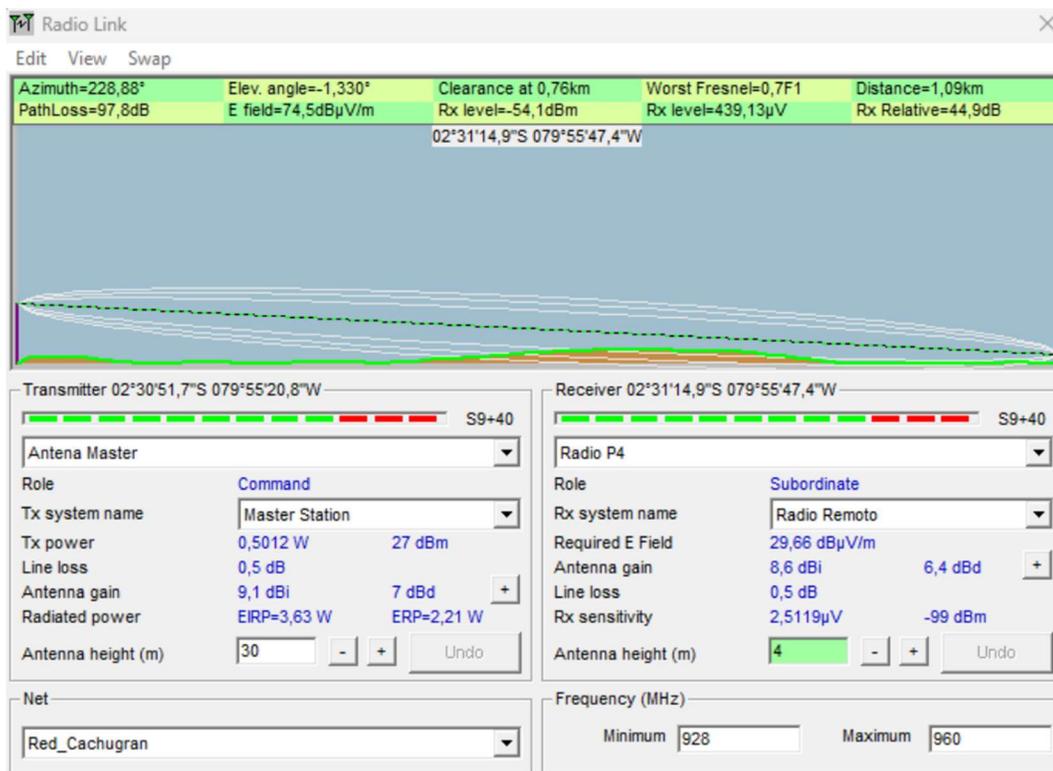


Figura 2.21 Punto remoto P4, 70% despejada, fuerza de señal -54,1 dBm (Señal idónea).

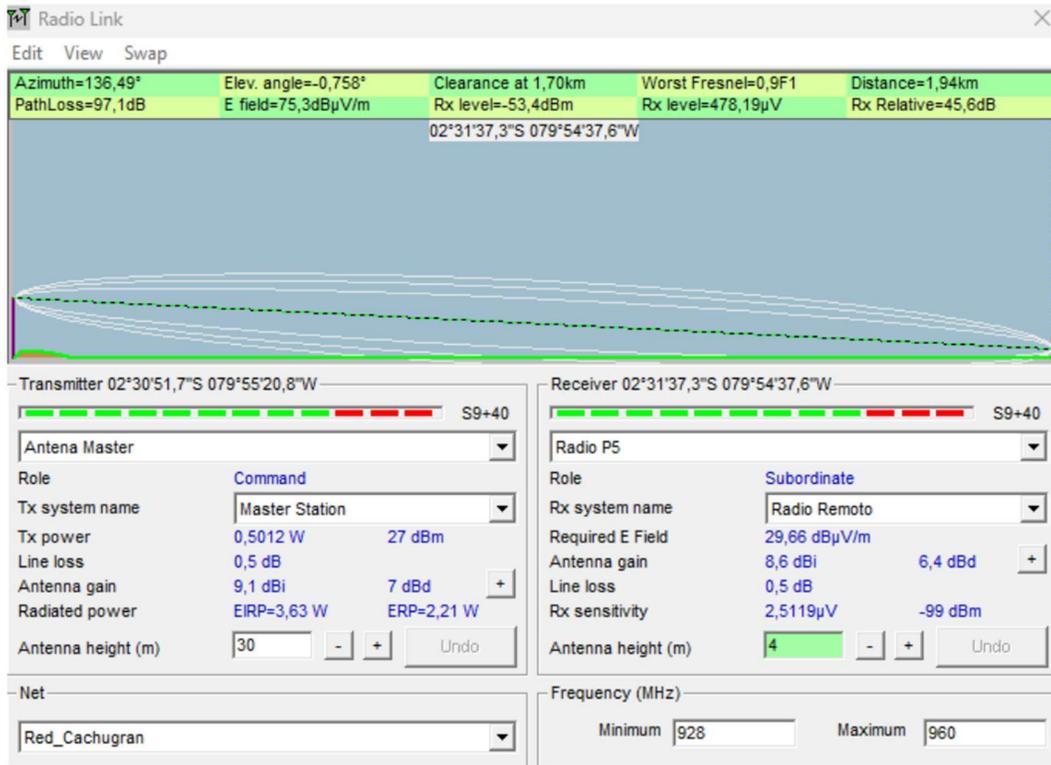


Figura 2.22 Punto remoto P5, 90% despejada, fuerza de señal -53,4 dBm (Señal idónea).

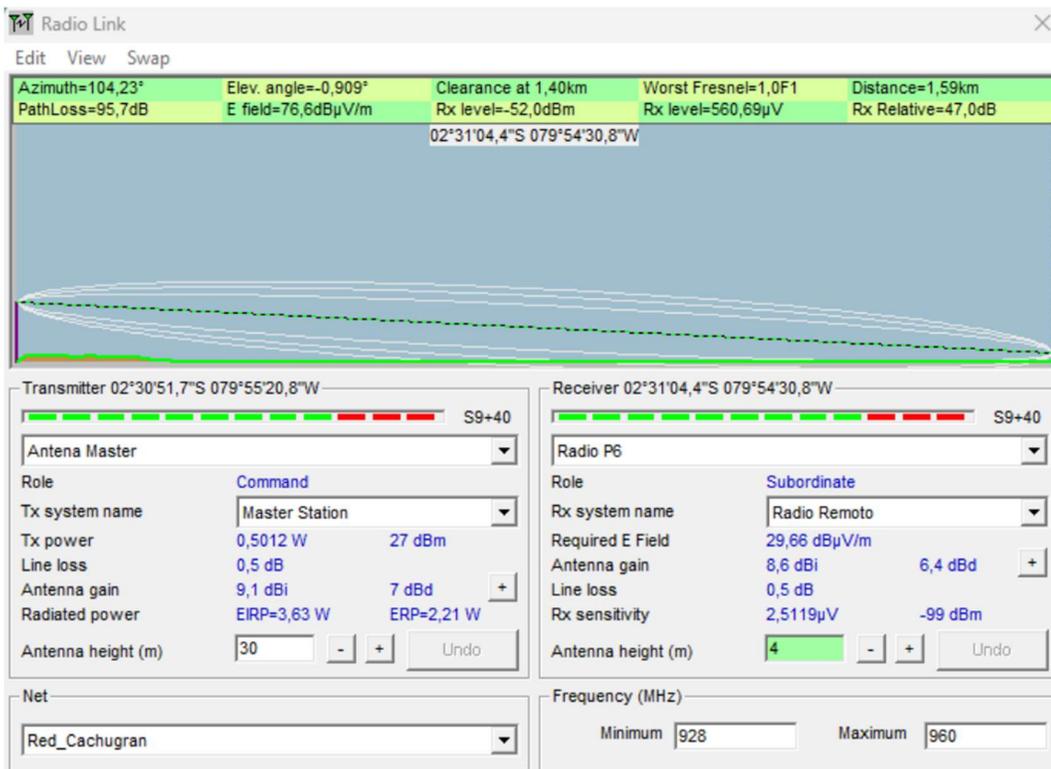


Figura 2.23 Punto remoto P6, 100% despejada, fuerza de señal -52,0 dBm (Señal idónea).

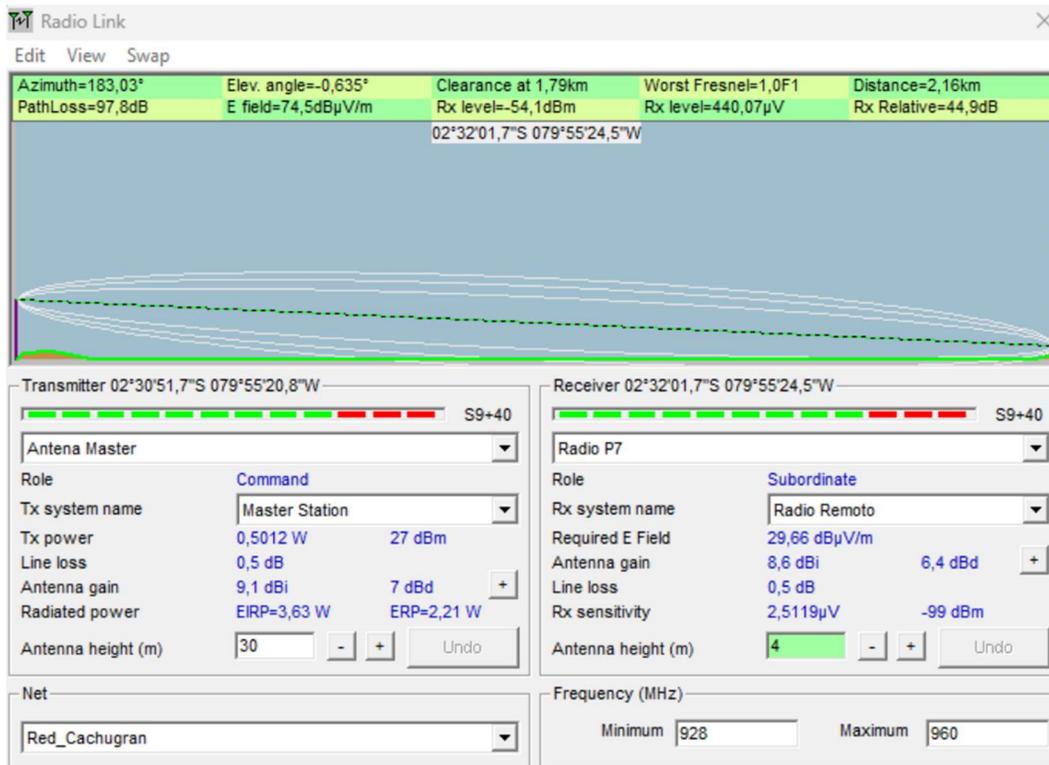


Figura 2.24 Punto remoto P7, 100% despejada, fuerza de señal -54,1 dBm (Señal idónea).

En la figura 2.20, se observa la antena de radio frecuencia ubicada en el poste y en la parte superior del tablero de control, este elemento se encuentra conectado al módulo de comunicación de radio frecuencia General Electric quien se encarga de procesar la información recopilada por la propia antena. El objetivo de las antenas es enviar la información a un módulo de comunicación maestro a través de otra antena principal para luego ser procesado a través del sistema de supervisión, monitoreo y control del proceso de la producción de camarones. Por último, se observa con detalles la conexión de estos módulos de comunicación con la antena en mención. Las antenas deben cumplir con normas de seguridad frente interferencias atmosféricas (tormenta, lluvia, etc.) ya que estarán ubicadas a elevadas altitudes para captar la información de todo el proceso mencionado previamente.

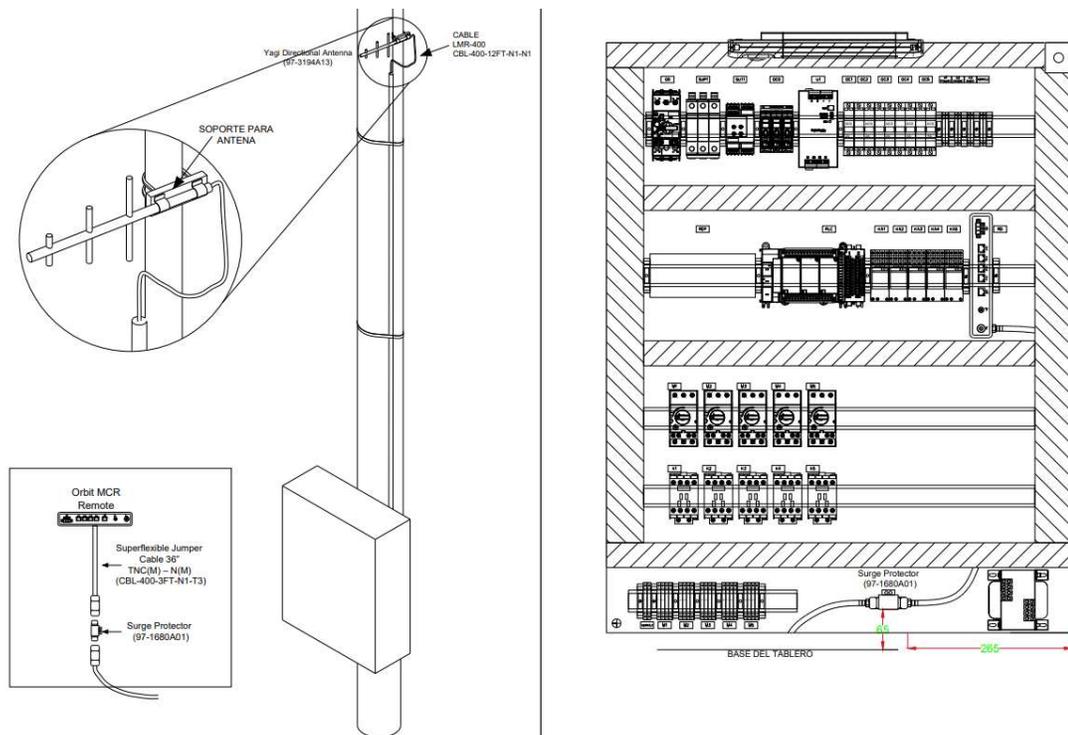


Figura 2.25 Antena de comunicación ubicada en la parte superior del tablero de control.

2.16 Metodología de Implementación del sistema SCADA.

La implementación del sistema SCADA (Control de Supervisión y Adquisición de Datos) para la granja camaronera en Guayaquil, Ecuador, implicó una serie de pasos metodológicos para asegurar que el sistema funcione de manera eficiente y cumpla con los objetivos de monitoreo y control. En esta sección se describe el enfoque metodológico adoptado para la implementación del sistema SCADA, desde el análisis preliminar hasta la puesta en marcha.



Figura 2.26 Interfaz Principal del SCADA.

2.16.1 Análisis de Requerimiento.

2.16.1.1 Evaluación de Necesidades.

El primer paso en la implementación del sistema SCADA fue la evaluación de las necesidades específicas de la granja camaronera. Esto incluye la identificación de los parámetros críticos a monitorear, tales como temperatura, salinidad, pH, niveles de oxígeno, y la frecuencia de muestreo. Mediante los análisis realizados en las secciones anterior de este Capítulo se determinó las variables, sensores, actuadores que cumplirán con los requisitos operativos y de control.

2.16.1.2 Análisis de Infraestructura existente.

Se lleva a cabo un análisis exhaustivo de la infraestructura existente (Sección 2.15), incluyendo la red de comunicación, equipos de control, y dispositivos de medición. Esto permitió determinar la compatibilidad con el sistema SCADA propuesto y planificar cualquier actualización o integración necesaria.

2.16.2 Diseño del Sistema.

2.16.2.1 Selección de Hardware y Software.

Para la simulación del sistema SCADA al proceso a estudiar se consideró el Software Wonderware Indusoft Web Studio, es un programa completo que nos permite integrar interfaces gráficas para la interacción con el operador mediante un monitoreo o supervisión del proceso de la producción de la granja camaronera. Cabe recalcar que este programa tiene una versión educativa, por lo tanto, nos servirá únicamente para simular nuestro proyecto.

2.16.2.2 Descripción breve del proceso a monitorear por el sistema SCADA.

Para empezar la granja camaronera recibirá alimentación energética a través de subestaciones eléctricas donde su entrada recibirá una tensión alta de 69KV y a través de su salida se va a obtener una red de media tensión de 13.8KV, todos los equipos a utilizar trabajarán en baja tensión, por lo tanto, con el uso de un transformador generamos la red de baja tensión con niveles de voltajes de 240V, 480V, 600V etc. Se conoce que esta gran Camarena es de grandes dimensiones, por lo tanto, se ha dividido en sectores para lograr un mejor control de los aireadores, motores, válvulas, etc.

Existen determinadas cantidades de piscinas para los diferentes sectores, entonces para alimentar cada sector de energía, existen centros estratégicos donde estarán ubicados los equipos y será los encargados de distribuir la energía al sector requerido. Dentro de las piscinas para diferente sector se integrarán sensores para el monitoreo de diversas variables que se van a considerar en el proceso:

- Nivel de Oxígeno disuelto en el agua
- Nivel de PH en el Agua
- Nivel de temperatura en el agua
- Nivel de salinidad en el agua
- Nivel de turbidez en el agua.

2.16.2.3 Diseño de la Topología de Red.

Se diseñó una topología de red adecuada para la transmisión de datos entre los sensores, controladores y el servidor SCADA. Esto incluyó una red Ethernet para la comunicación interna y enlaces inalámbricos para áreas remotas.

El proceso de monitoreo de cada piscina está controlado por un PLC Micrologix 850, este se encarga de procesar las señales de campo antes mencionadas, para cada PLC se tendrá un tablero ubicado en tierra y en una zona estratégica. Y para la comunicación se utilizarán equipos de radio de enlace donde uno actúa como emisores y otro actúa como receptor. La información va a dirigida a los servidores para el sistema SCADA.

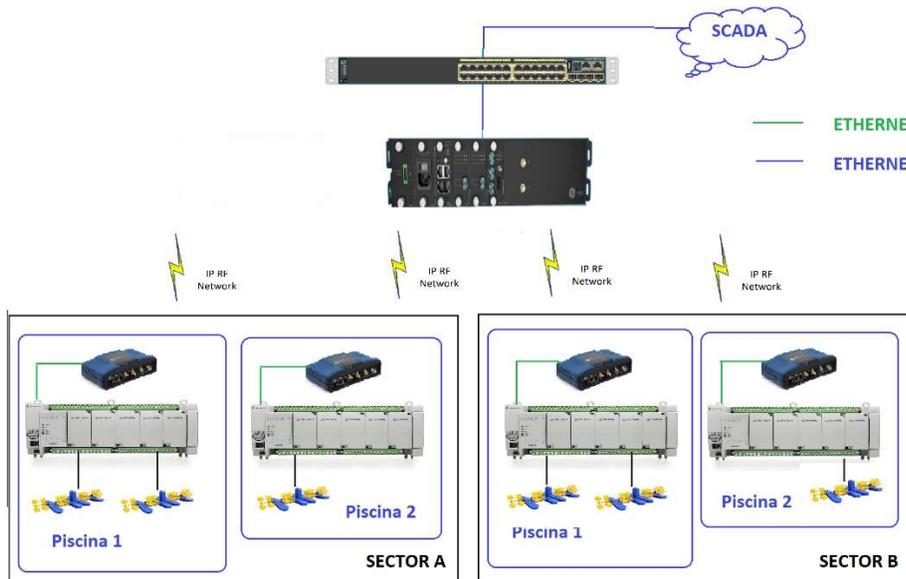


Figura 2.27 Flujo tecnológico del sistema de monitoreo.

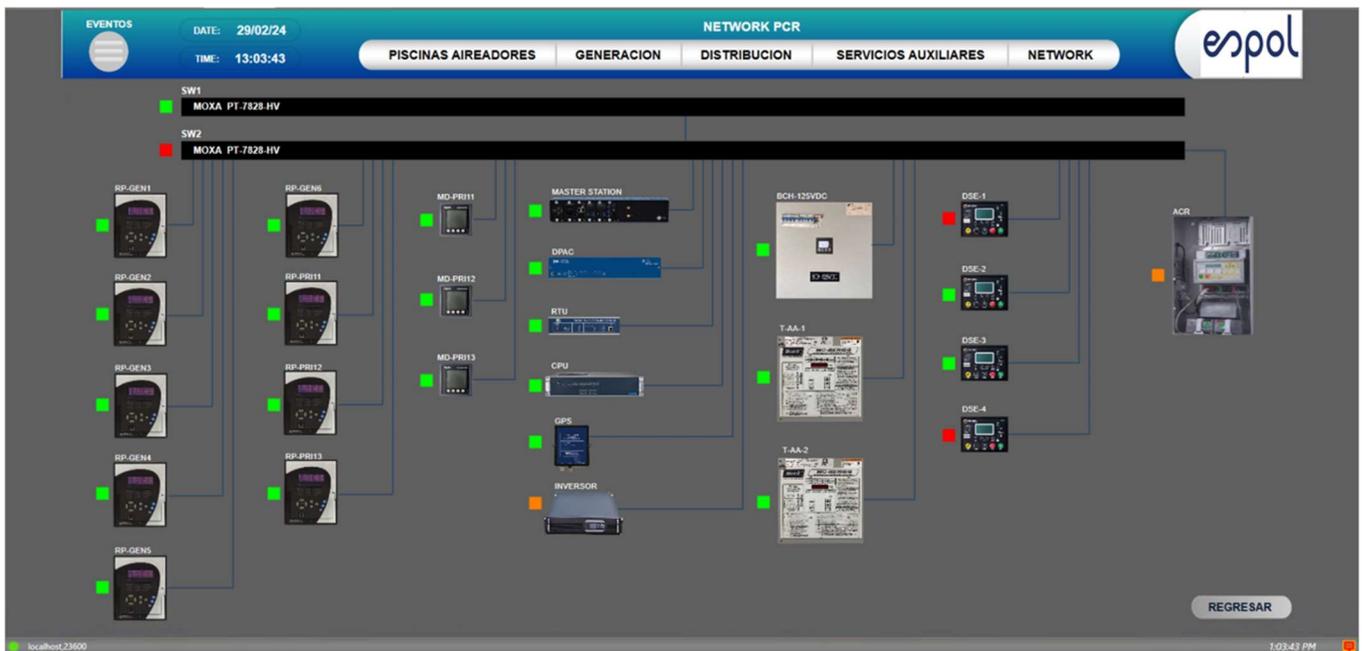


Figura 2.28 Interfaz de monitoreo de la red de Comunicaciones.

2.16.2.4 Descripción de las variables a monitorear por el sistema SCADA.

Tabla 2.6 Tags para el sistema SCADA en el Indusoft Web Studio.

Identificador	Origen/dirección o expresión	Tipo	Rango	Alarma (S/N)	Tipo Alarma	Parámetro/ Alarma	Históricos (S/N). Actualización
NOP001	Proceso/ chanel1/ device1/ AI1	Analógica	Por definir	S	Relativo	Setpoint, Hi, Lo	S,30 seg
NPHP001	Proceso/ chanel1/ device1/ AI2	Analógica	1-14 PH	S	Relativo	Setpoint, Hi, Lo	S,30 seg
TP001	Proceso/ chanel1/ device1/ AI3	Analógica	0-100°C	S	Relativo	Setpoint, Hi, Lo	S,30 seg
NAP001	Proceso/ chanel1/ device1/ AI4	Analógica	0-100%	S	Relativo	Setpoint, Hi, Lo	S,30 seg
NAP1_01	Proceso/ chanel1/ device1/ AI5	Analógica	0-100%	S	Absoluto	Setpoint, Hi, Lo	S,30 seg
NAP1_02	Proceso/ chanel1/ device1/ AI6	Analógica	0-100%	S	Absoluto	Setpoint, Hi, Lo	S,30 seg
NAP1_03	Proceso/ chanel1/ device1/ AI7	Analógica	0-100%	S	Absoluto	Setpoint, Hi, Lo	S,30 seg
NAP1_04	Proceso/ chanel1/ device1/ AI8	Analógica	0-100%	S	Absoluto	Setpoint, Hi, Lo	S,30 seg
AM_01	Proceso/device1/ OUT1	Digital	True/Fal se	S	Discreta	Valor	S,CambioValor
AM_02	Proceso/device1/ OUT2	Digital	True/Fal se	S	Discreta	Valor	S,Cambio Valor
AM_03	Proceso/device1/ OUT3	Digital	True/Fal se	S	Discreta	Valor	S,Cambio Valor

2.16.2.5 Norma aplicada y seguridad al sistema SCADA.

Cabe recalcar que en la realización del sistema SCADA se realizó basándose en la Norma ISA 101 para respetar principalmente el uso de colores para el desarrollo de este sistema. Se consideró accionamiento de componentes como bombas, válvulas. De igual manera el uso del color rojo para evidenciar la activación de una alarma o presencia de fallas en el proceso.

El sistema SCADA implementa con niveles de seguridad para que determinadas personas con niveles jerárquicos puedan tener acceso a la información deseada, en caso del propietario su nivel es el más superior ya que puede acceder a toda la información de la granja camaronera, pero para un operador su nivel de seguridad es bajo y solo podría visualizar la información, pero no controlar ciertos parámetros de actuación.

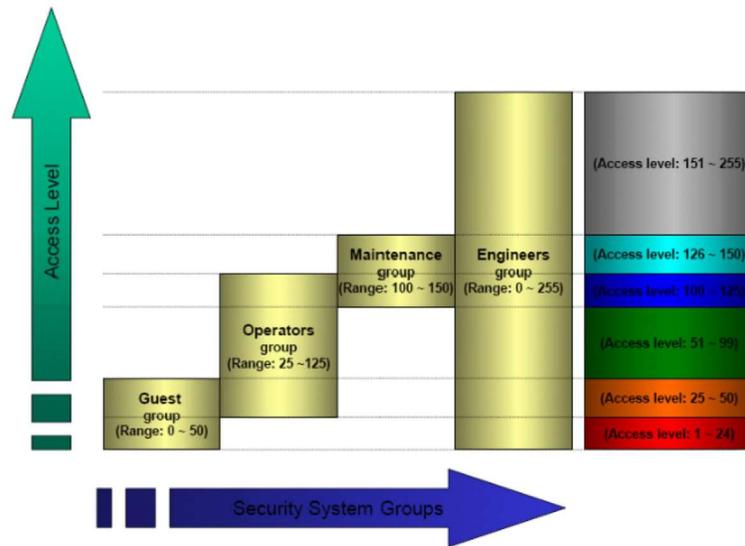


Figura 2.29 Ejemplo de los niveles de seguridad en un sistema SCADA.

2.16.2.6 Configuración de Interfaces y Paneles de Control.

Se diseñan y configuran las interfaces gráficas del sistema SCADA, como los paneles de control y los gráficos de supervisión. Esto incluye la definición de alarmas, informes y otras funcionalidades que faciliten la operación y monitoreo de la granja.

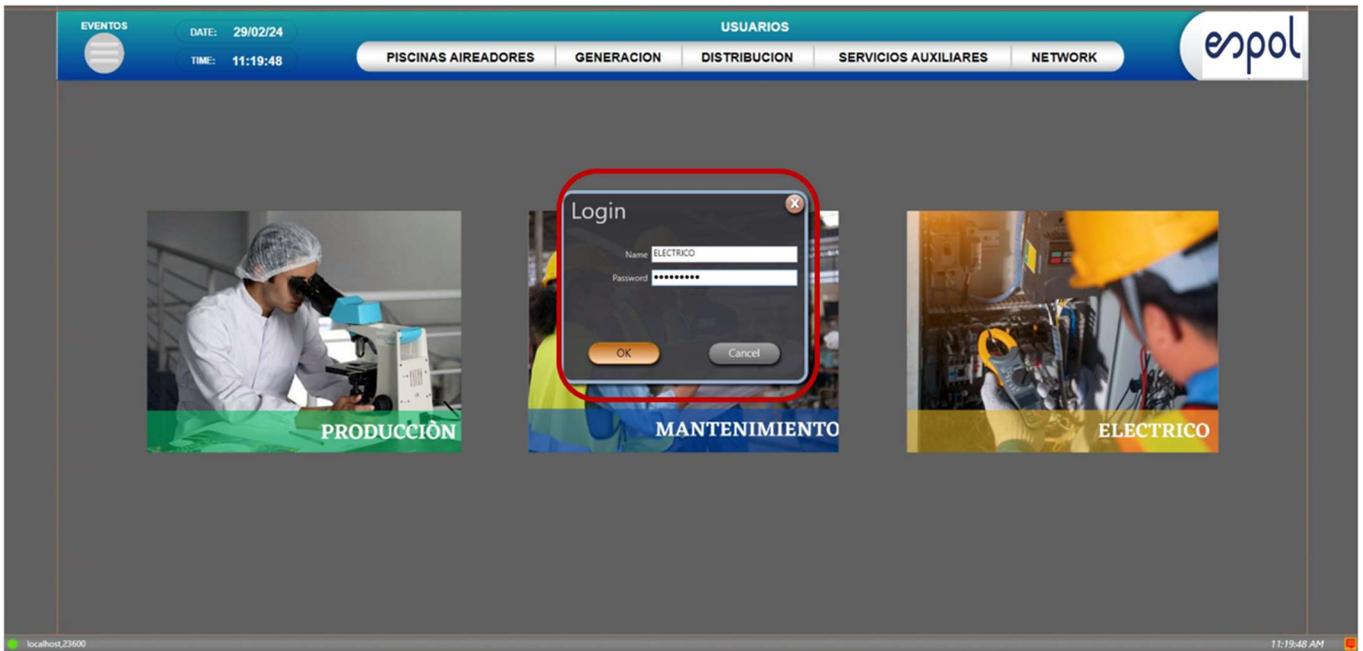


Figura 2.30 Interfaz de inicio de sesión del SCADA.



Figura 2.31 Interfaz de piscinas y tableros de aireadores de la Granja Camaronera.



Figura 2.32 Interfaz de monitoreo y control de Piscina 48.



Figura 2.33 Curvas de Tendencia para análisis de consumo de energía.

2.16.3 Implementación del Sistema.

2.16.3.1 Instalación de Hardware.

La instalación de hardware incluye la colocación de sensores y actuadores en las piscinas, la instalación de antenas, tableros, controladores y equipos de comunicación. Se realizan pruebas iniciales para verificar que todos los dispositivos estén funcionando correctamente y comunicándose con el servidor SCADA.



Figura 2.34 Instalación de Tablero de Aireadores.



Figura 2.35 Instalación de Antenas Remotas para cada Tablero de Aireadores.

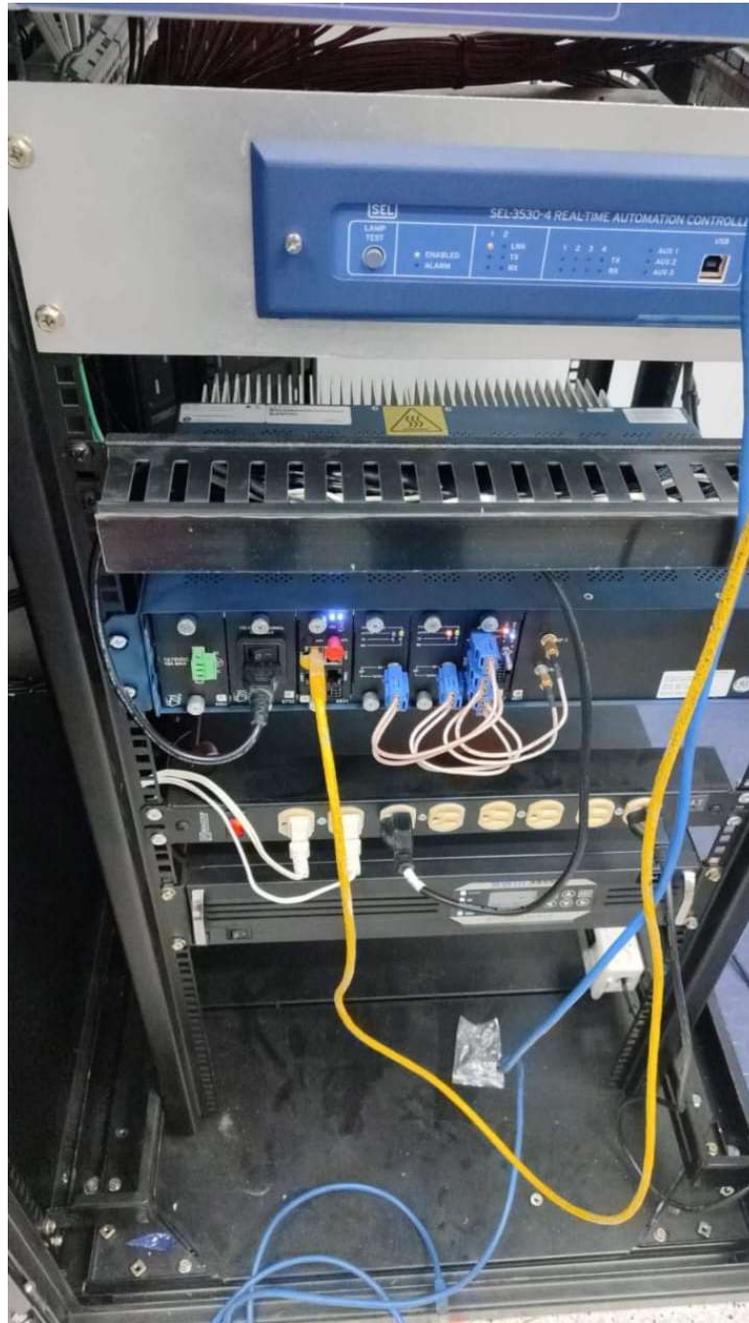


Figura 2.36 Instalación de Rack de Comunicaciones o Concentrador de Datos.

2.16.3.2 Configuración de Software.

El software SCADA se configura para integrar los datos de los sensores y controlar los dispositivos conectados. Esto incluye la programación de las alarmas, la creación de

bases de datos para el almacenamiento de datos históricos, y la configuración de la interfaz de usuario.

2.16.3.3 Integración y Pruebas.

Se realiza una fase de integración en la que se verifica la correcta comunicación entre los diferentes componentes del sistema. Se llevan a cabo pruebas exhaustivas para asegurar que el sistema SCADA recoja y procese los datos de manera precisa y que todas las funcionalidades operen según lo esperado.

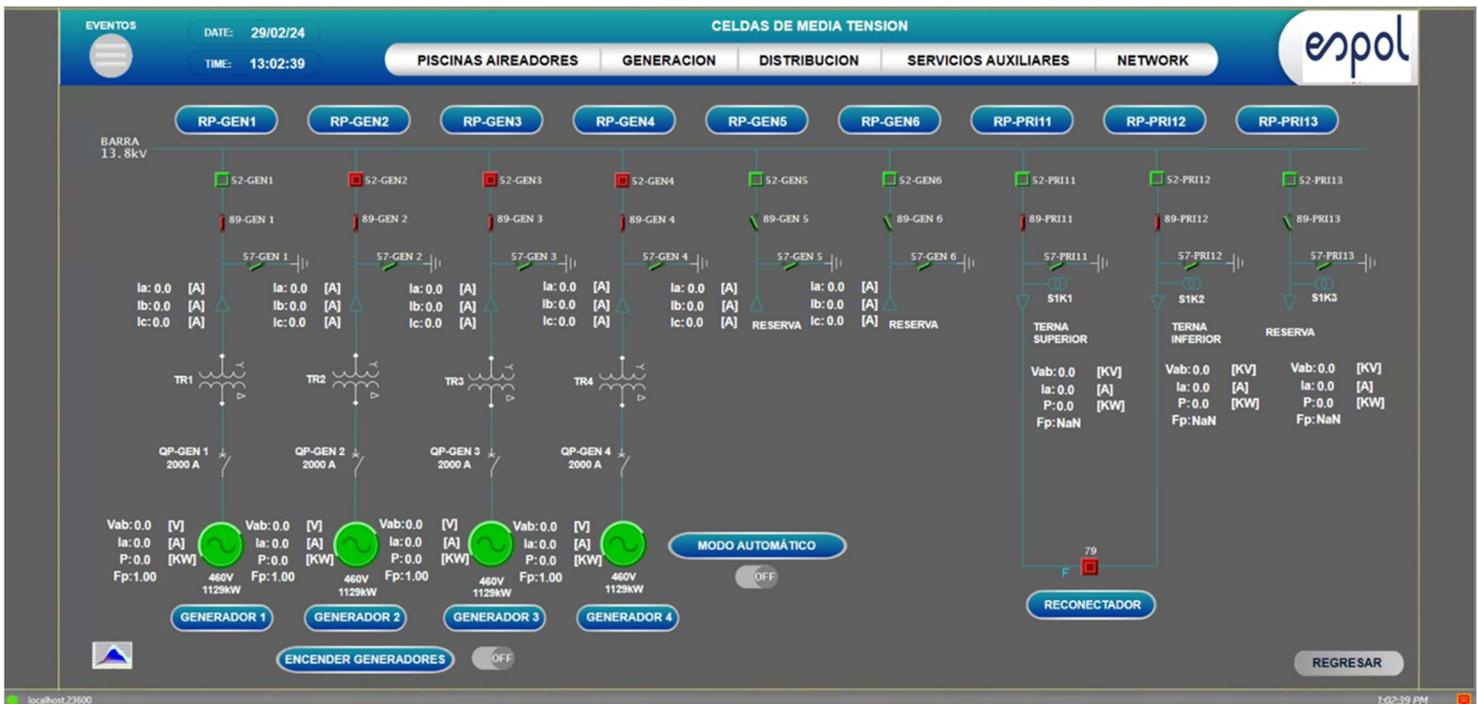


Figura 2.37 Interfaz del sistema eléctrico de potencia en 460V y 13.8kV.

2.16.4 Capacitación y Puesta en Marcha.

2.16.4.1 Capacitación del Personal.

Se proporciona capacitación al personal de la granja sobre el uso del sistema SCADA. Esto incluye formación en la operación diaria, la interpretación de datos, la gestión de alarmas, y la realización de tareas de mantenimiento básico.

2.16.4.2 Puesta en Marcha.

Una vez completadas las pruebas y la capacitación, se procede con la puesta en marcha del sistema SCADA. Esto implica la transición del sistema desde el entorno de pruebas al entorno de producción, asegurando que todo funcione de manera continua y sin interrupciones.

2.16.5 Mantenimiento y Soporte.

2.16.5.1 Mantenimiento Preventivo y Correctivo.

Se establecen procedimientos de mantenimiento preventivo para asegurar el funcionamiento continuo del sistema SCADA. Esto incluye la revisión periódica de hardware y software, la actualización de componentes y la resolución de problemas.

2.16.5.2 Soporte Técnico.

Se define un plan de soporte técnico para abordar cualquier problema que pueda surgir después de la implementación. Esto puede incluir la asistencia remota, la reparación de equipos, y la actualización del sistema según sea necesario.

CAPÍTULO III

3. RESULTADO Y ANÁLISIS

3.1 Sistema de Radio Enlace.

Los puntos más críticos de la zona fueron los siguientes:

Tabla 3.1 Puntos GPS más críticos del sistema de Radio Enlace.

PROYECTO GRANJA CAMARONERA			
PUNTO	LATITUD	LONGITUD	PISCINA
PCR (MASTER)	2°30'51.71"S	79°55'20.84"O	-
P2 (REMOTO)	2°32'0.00"S	79°56'19.96"O	79
P3 (REMOTO)	2°31'31.39"S	79°56'9.52"O	35
P4 (REMOTO)	2°31'14.90"S	79°55'47.43"O	32
P7 (REMOTO)	2°32'1.69"S	79°55'24.55"O	88

La parametrización de los equipos fueron las siguientes considerando los 30 metros de la antena principal o Master y una altura mínima de las antenas remotas de 4 metros:

Radio maestro: MDS Orbit UL 900 MHz (915-928 MHz)

- TX power: 27 dBm
- Ip address bridge: 192.168.101.1/24
- Network name: nx_arrancadores
- Device mode: Access-point

Radio remoto: MDS Orbit UL 900 MHz (915-928 MHz)

- TX power: 27 dBm
- Ip address bridge: 192.168.101.10/24
- Ip address wifi: 192.168.155.70/24 (DHCP)
- Network name: nx_arrancadores
- Device mode: Remote

Obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 3.2 Fuerza de Señal de Radio Enlace de los puntos más críticos.

ESTACION MASTER	REMOTO	UBICACIÓN - PISCINA	DISTANCIA EN KILOMETROS	*AVG RSSI	FRECUENCIA	CALIDAD
TORRE DE COMUNICACIÓN	P4	32	1,09	-90 dBm	918 - 926 MHz	BUENA
	P3	35	1,94	-97 dBm	918 - 926 MHz	BUENA
	P2	79	2,84	-93 dBm	918 - 926 MHz	BUENA
	P7	88	2,33	-90 dBm	918 - 926 MHz	BUENA

*AVG RSSI: Indicador de fuerza de la señal recibida

- Más de -76 dBm (números más cercanos a 0) = Excelente
- Entre -89 y -77 = Muy buena cobertura
- Entre -97 y -90 = Buena cobertura
- Entre -103 y -98 = Baja cobertura
- Entre -112 y -104 = Bajísima cobertura
- Entre -113 y -132 dBm = Muy poca cobertura
- A partir de -135 = Sin cobertura

```

Símbolo del sistema - ping 1f x + v
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=10ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=193ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=22ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=12ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=11ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=19ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=13ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=1800ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=24ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=89ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=11ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=13ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=306ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=22ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=755ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=10ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=191ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=13ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=11ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=15ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=12ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=9ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=11ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=13ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=13ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=11ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=11ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=10ms TTL=63
Respuesta desde 192.168.101.1: bytes=32 tiempo=13ms TTL=63

```

Figura 3.1 Ping (Packet Internet Groper) para determinar la latencia de comunicación entre remoto y estación.



Figura 3.2 Avg RSSI (-90 dBm) en piscina 88.



Figura 3.3 Avg RSSI (-97 dBm) en piscina 35.

Se pudo verificar en sitio que el indicador de fuerza de la señal recibida se encuentra entre -90 dBm y -97 dBm siendo esta de buena cobertura en un rango de frecuencia de 918-926 MHz.

3.2 Interacción de las pantallas del sistema SCADA de la granja camaronera.

En este sentido se configuró el acceso considerando diferentes niveles de seguridad que tiene relación con las diferentes acciones que pueden realizar cada uno de los operadores.

En el Nivel de invitado (GUEST GUEST) (no tiene acceso del sistema scada) y corresponde a cualquier particular que no tiene relación con el proceso y no tiene acceso ni a la visualización del proceso, ni a las tendencias, alarmas y reportes que se generan en el desarrollo del proceso.



Figura 3.4 Portada del sistema SCADA con Seguridad alta.

El siguiente nivel de seguridad definido es el de OPERADOR y en el desarrollo de este SCADA lo contemplamos con el nombre de Usuario "RONALD". En este nivel el usuario puede acceder a alarmas y tendencias y monitorear proceso, obteniendo únicamente la información que le brinda el proceso; más, sin embargo, no puede controlar ningún parámetro.

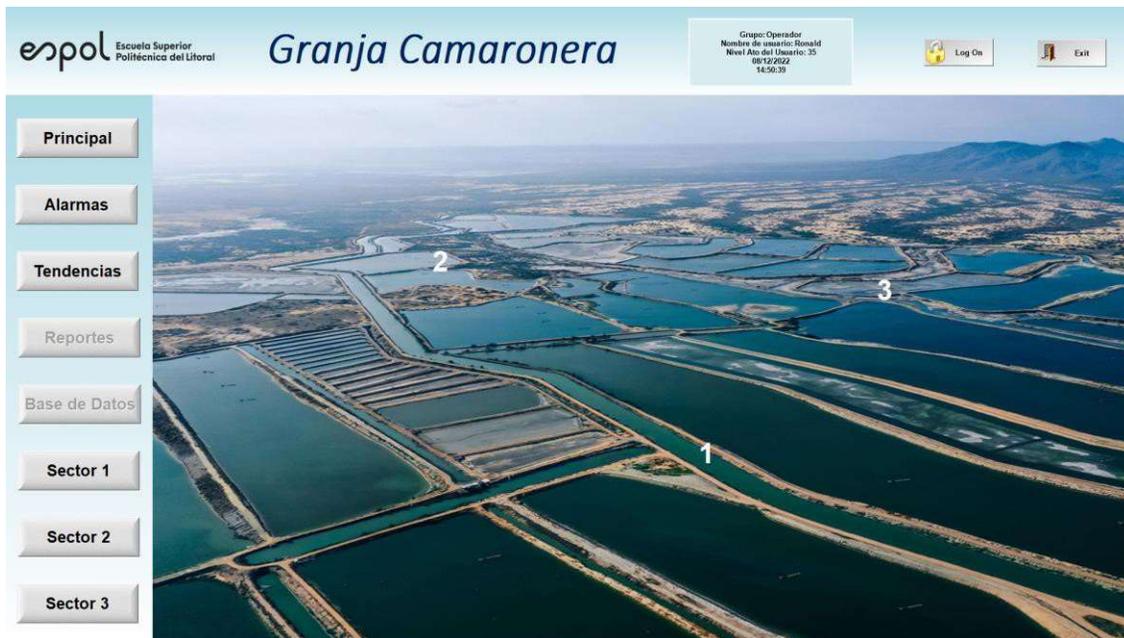


Figura 3.5 Portada del sistema SCADA con Seguridad media.

Por ejemplo, en el sector 1 el usuario puede visualizar el nivel de oxígeno en las piscinas y evidenciar si está desarrollándose de manera óptima el proceso. Pero no tiene la capacidad de activar bombas, válvulas, nivel de las piscinas, entre otros.

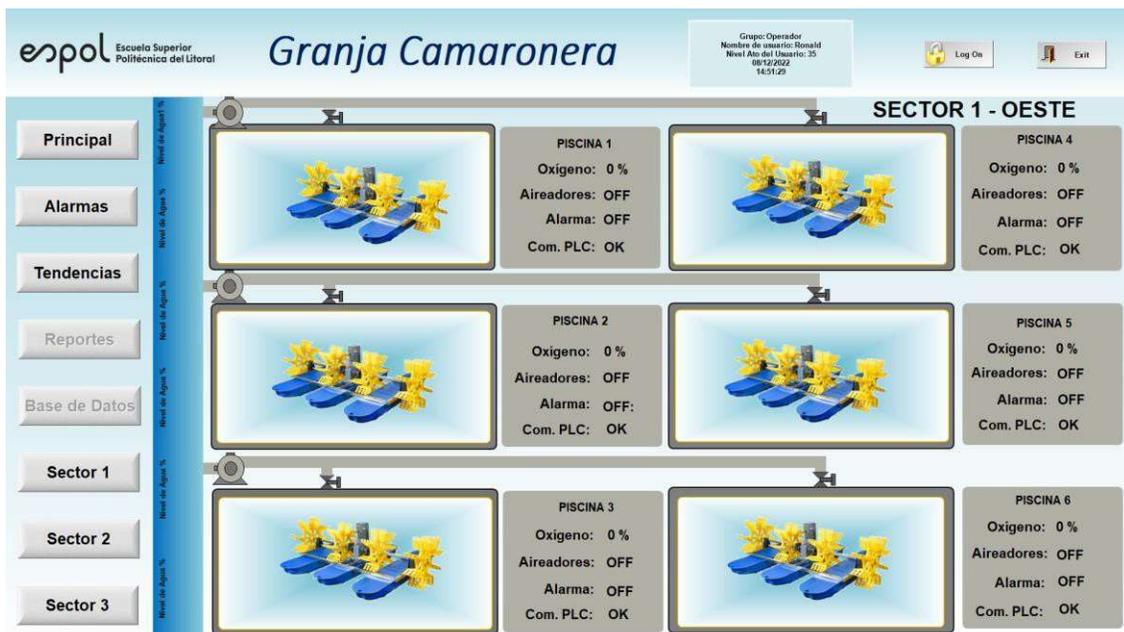


Figura 3.6 Pantalla de los aireadores y monitoreo de oxígeno.

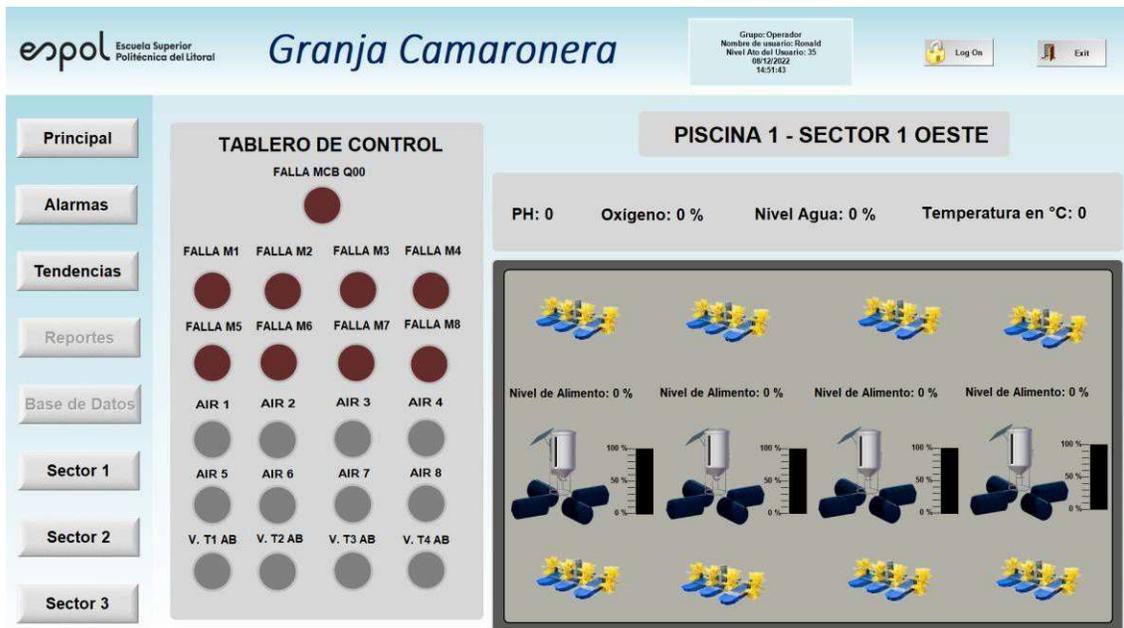


Figura 3.7 Pantalla del proceso de monitoreo de las variables fisicoquímicas del camarón.

Con relación a las Alarmas el nivel operador puede observar las alarmas que se presentan en el proceso y realizar el reconocimiento de estas.



Figura 3.8 Pantalla de alarmas en un sistema SCADA.

En la pantalla de Tendencias el usuario “Operador” tiene la capacidad de observar el desarrollo del proceso verificando la tendencia de operación de las diferentes variables.

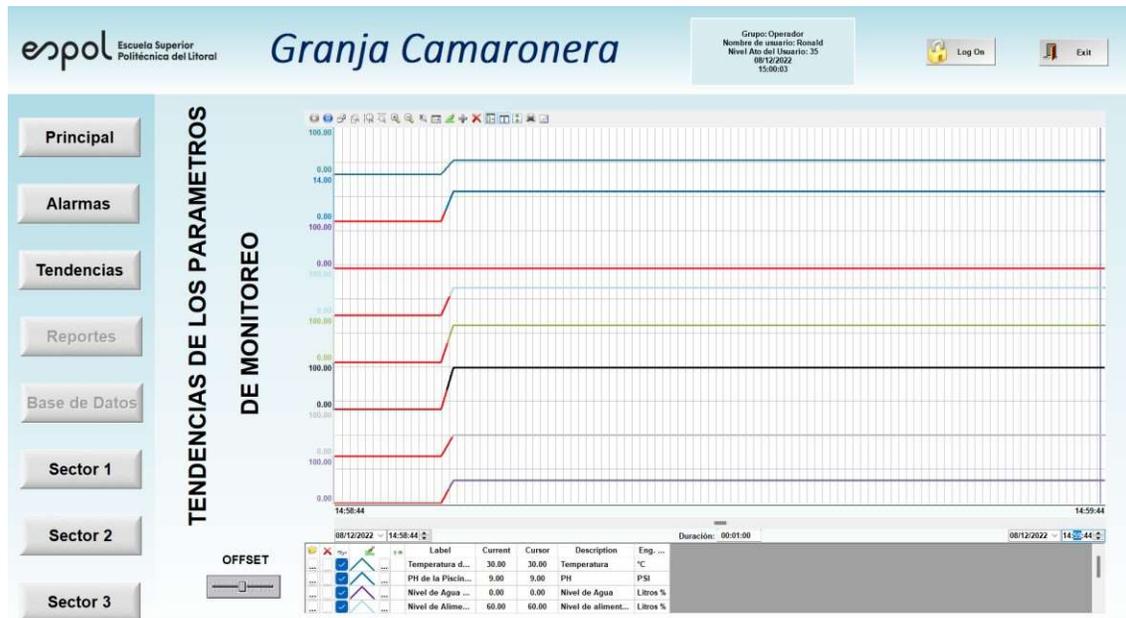


Figura 3.9 Pantalla de tendencias del sistema SCADA.

Avanzando al siguiente nivel de seguridad del sistema SCADA, se tiene el nivel de SUPERVISOR cuyo usuario para este proyecto es “Óscar” el mismo que puede acceder a reportes y base de datos y a monitorear proceso, pero no tiene la capacidad de controlarlo.

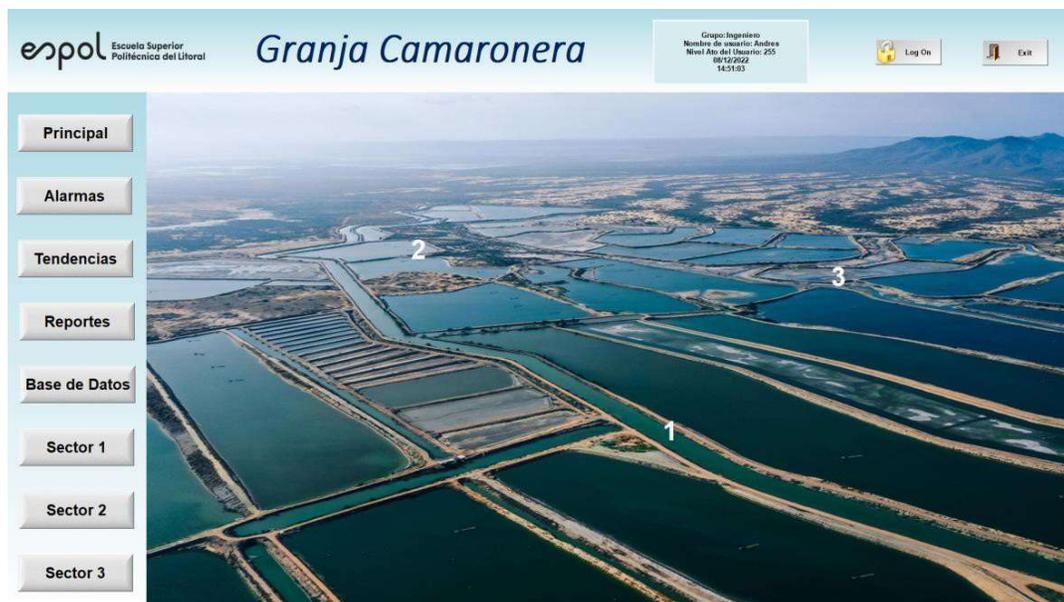


Figura 3.10 Portada del Sistema SCADA con seguridad baja.

Como se mencionó anteriormente, el Nivel OPERADOR, puede acceder a la base de datos para realizar el monitoreo de las variables del proceso.



Figura 3.11 Pantalla de la base de datos en un sistema SCADA.

Finalmente, el nivel más alto de Seguridad se tiene el de INGENIERO, el cual en este proceso se accede a través del usuario “Andrés” el mismo que tiene la capacidad de acceder a todas las pantallas del proceso, puede acceder a las sliders de la pantalla de cada sector; tiene acceso a los botones de manual, automático; así mismo, a los botones marcha y paro, es decir, tiene control total del proceso de la granja camaronera.

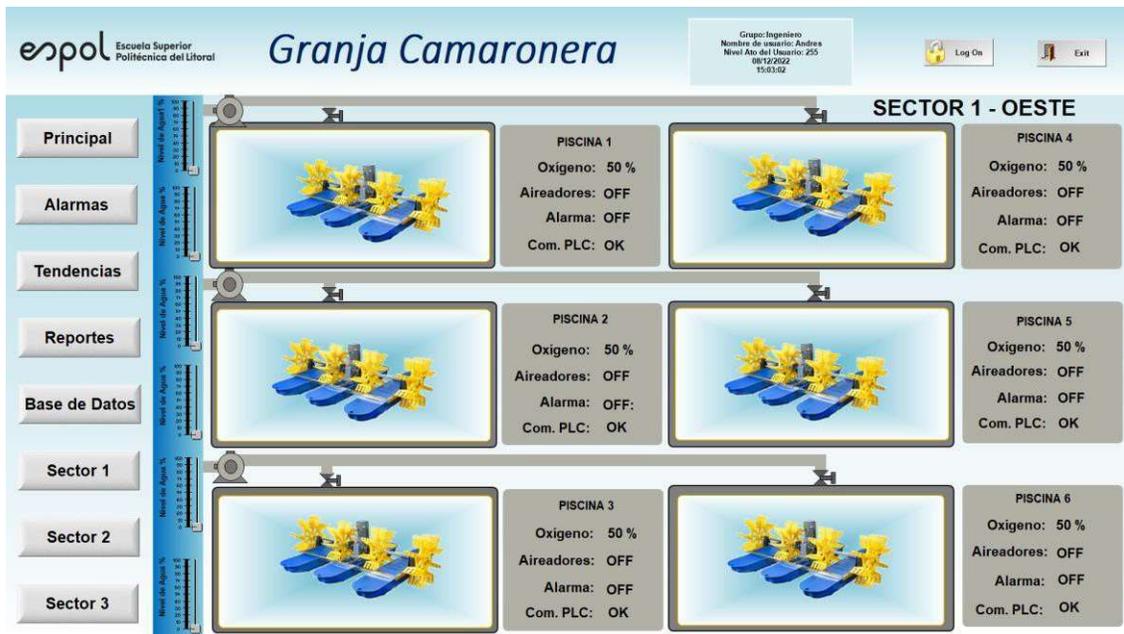


Figura 3.12 Interacción de los aireadores en el sistema SCADA.

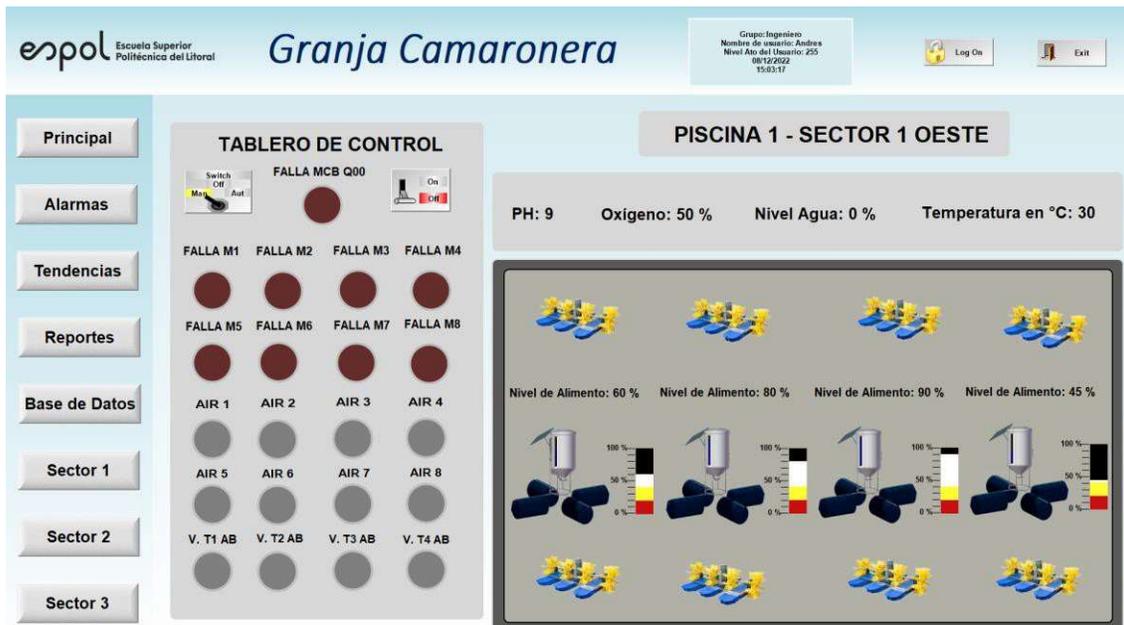


Figura 3.13 Interacción de los aireadores en el sistema SCADA.

Precisamente en base al usuario INGENIERO se realiza las simulaciones correspondientes para evidenciar el óptimo funcionamiento del sistema SCADA.

Ahora se continúa con la Simulación de bombas para los niveles de aguas de las 6 piscinas. En la siguiente gráfica se puede observar cómo desde KepServer Ex se realiza el encendido de las bombas de las piscinas.

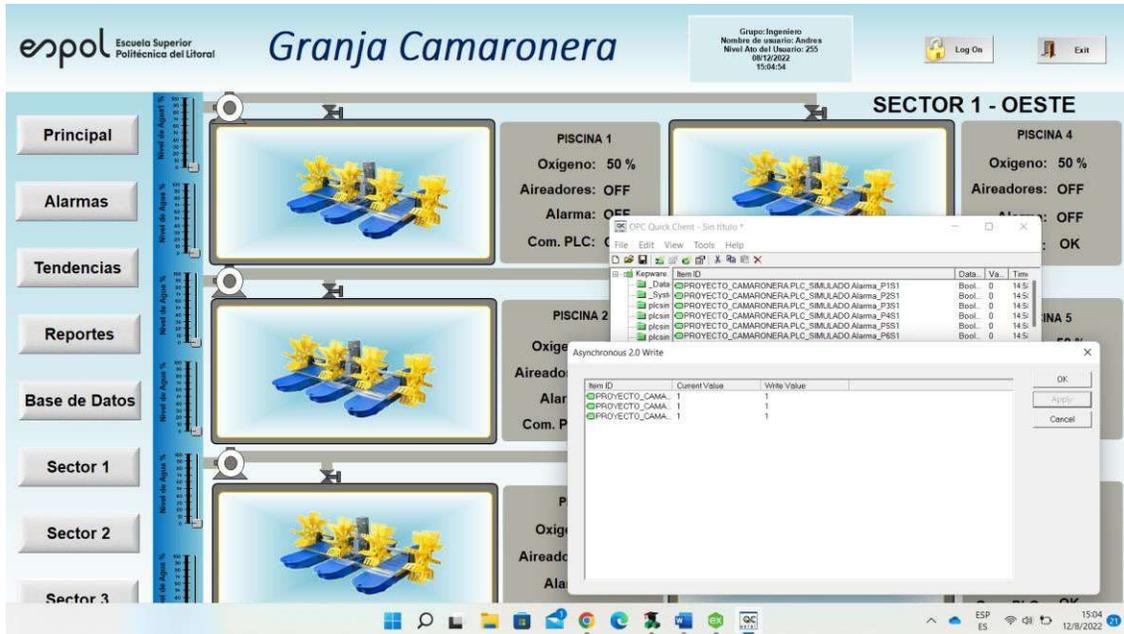


Figura 3.14 Interacción de las variables del sistema SCADA.

Se puede realizar desde esta pantalla el encendido de válvulas en cada una de las piscinas como se observa en la imagen siguiente.

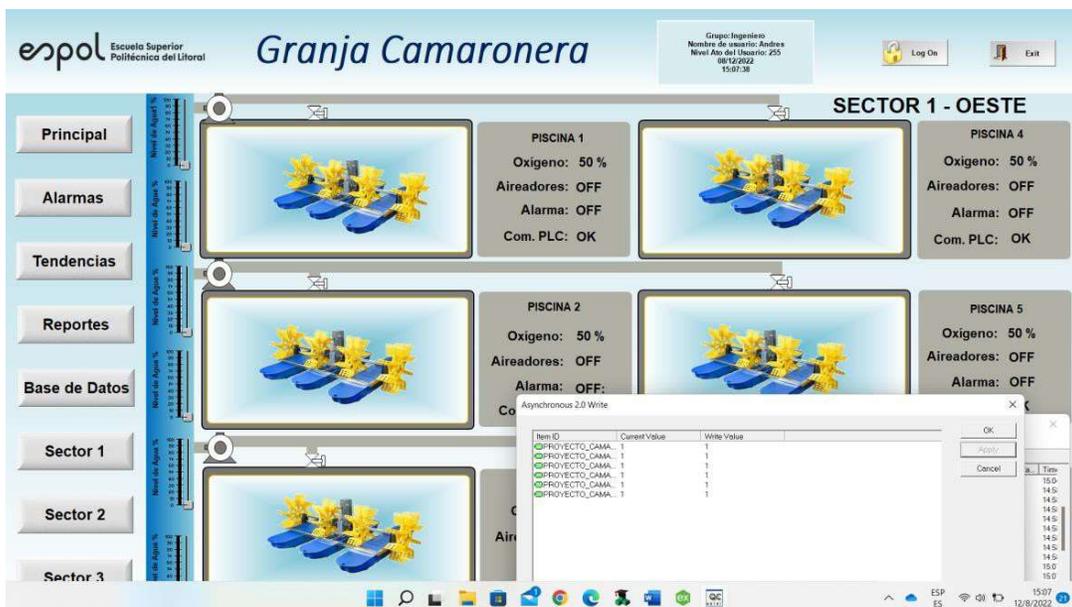


Figura 3.15 Interacción del Kepserver con el sistema SCADA.

De la misma manera se puede evidenciar el llenado de las piscinas y tuberías pudiéndose identificar según la intensidad del azul de cada piscina, el nivel de llenado de estas.

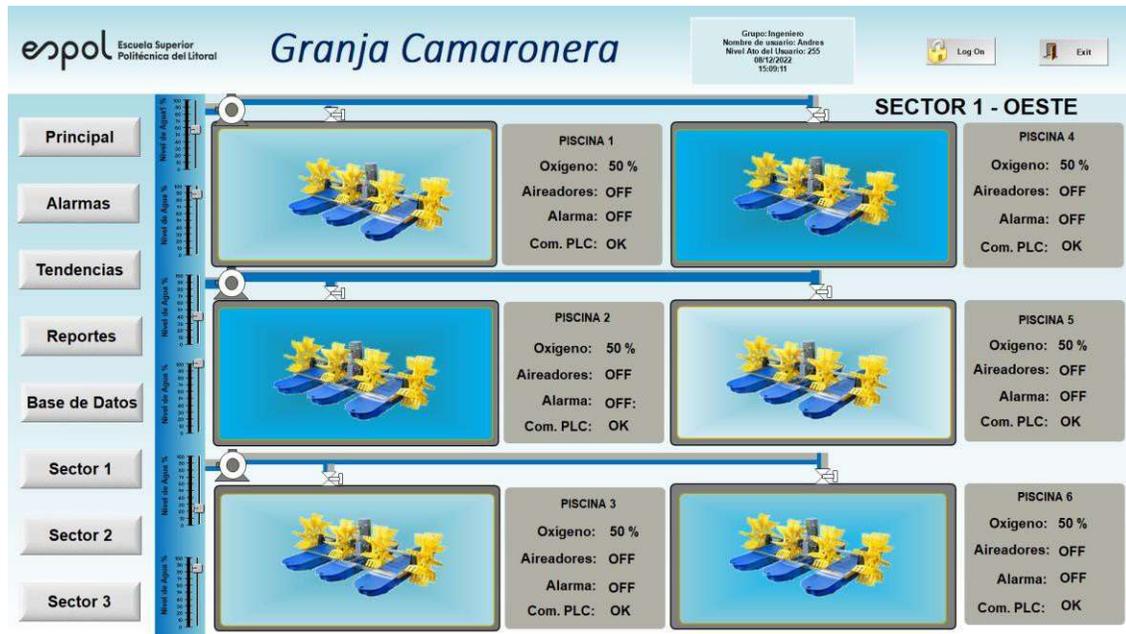


Figura 3.16 Interacción del nivel de agua en las piscinas.

Se puede evidenciar en el desarrollo de la simulación que se ha activado los aireadores de la piscina 1 que resalta de las demás piscinas que se encuentran con los aireadores apagado, lo cual entrega información visual importante.



Figura 3.17 Interacción de figuras sobrepuestas para los aireadores.

Así mismo, desde KepServer Ex se puede evidenciar que existe la correcta comunicación cuando al activar la variable de activación de los aireadores se observa la Simulación de encendido de los aireadores principales de las seis piscinas.

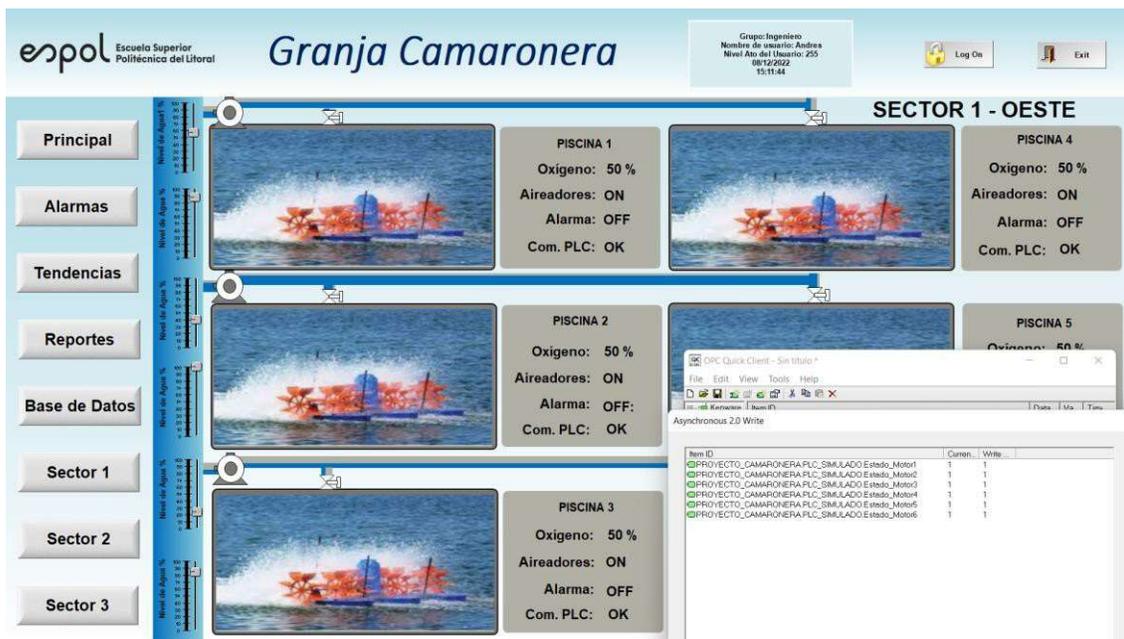


Figura 3.18 Interacción de los aireadores con todas las piscinas mostradas.

De igual manera se puede observar el encendido de las 3 alarmas de piscina 1, 2 y 3 como se observa en la siguiente imagen.

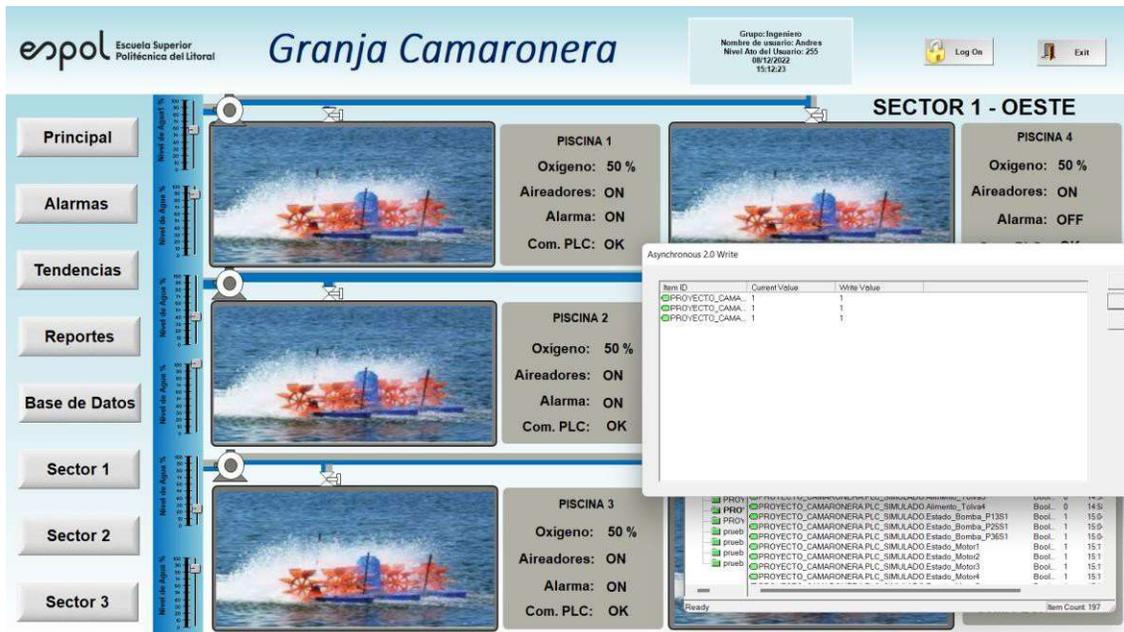


Figura 3.19 Simulación de los aireadores para notificación de alarmas.

El sistema SCADA permite también evidenciar cuando exista falla en la comunicación de los PLC de las diferentes piscinas.

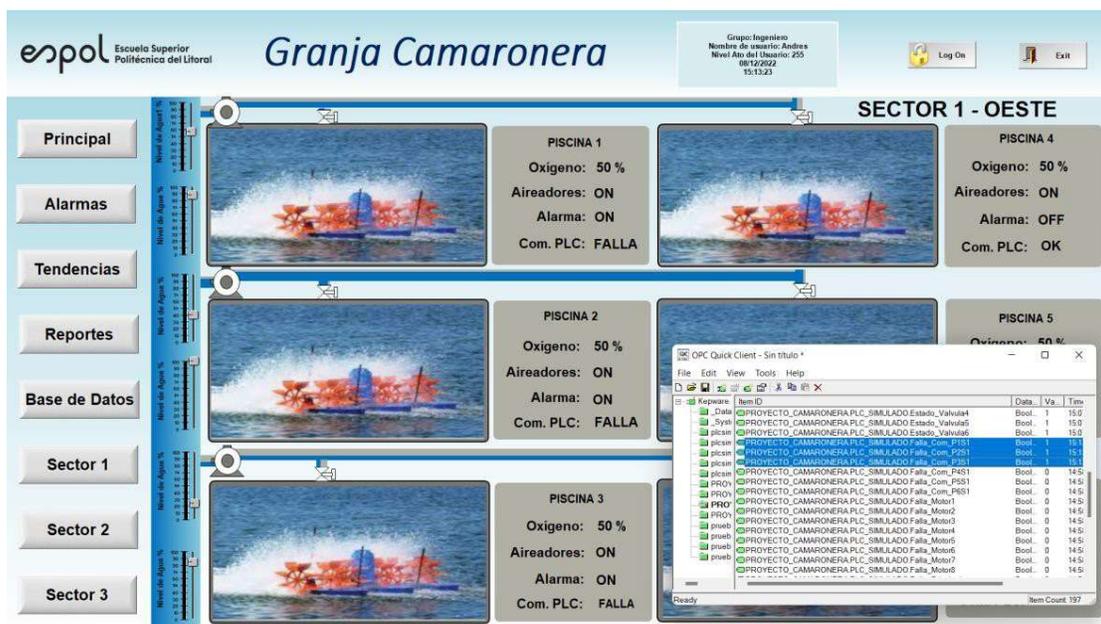


Figura 3.20 Interacción en caso de pérdida de comunicación con el equipo de control.

De igual manera, como se mencionó en el inicio el control y/o monitoreo del nivel de Niveles de oxígeno es muy importante dentro del desarrollo de este proceso. Se puede evidenciar en la siguiente imagen que se simula el nivel de oxígeno al 50%.

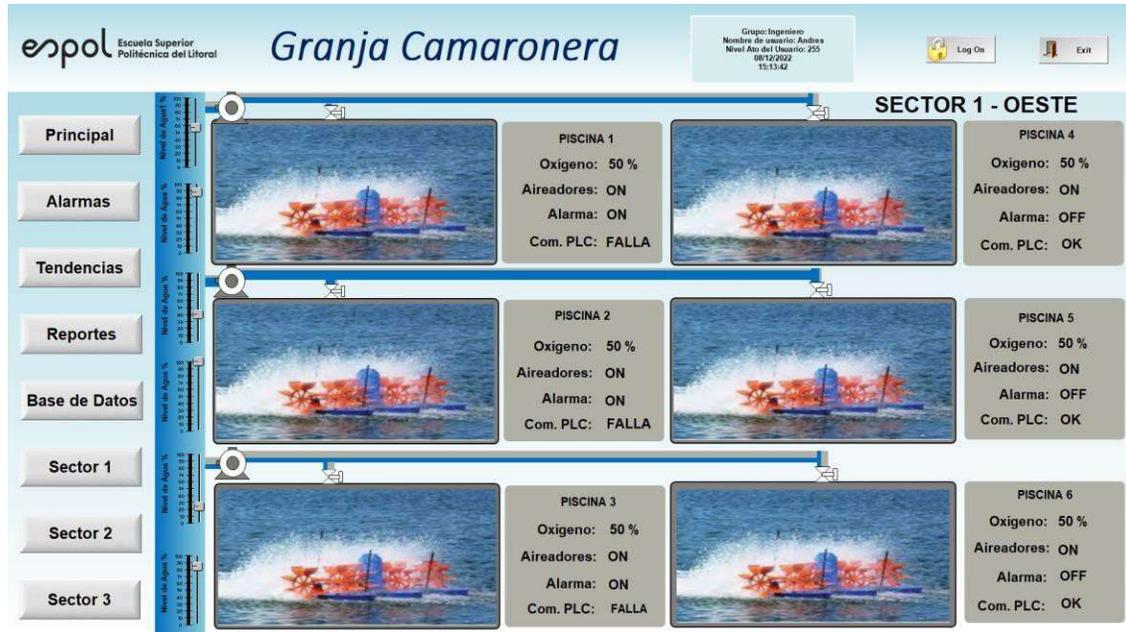


Figura 3.21 Nivel de oxígeno de todas las piscinas a un 50%.

De igual manera bajo el nivel de seguridad INGENIERO, se puede realizar la Simulación por ejemplo de la piscina 1 donde se evidencia la presencia de fallas MCB Q00, M1 y M3. Así mismo tanto en los indicadores luminosos como en las gráficas de los aireadores se observa la operación AIR 1, AIR 2, AIR 3, AIR 4, AIR 5, AIR 6.

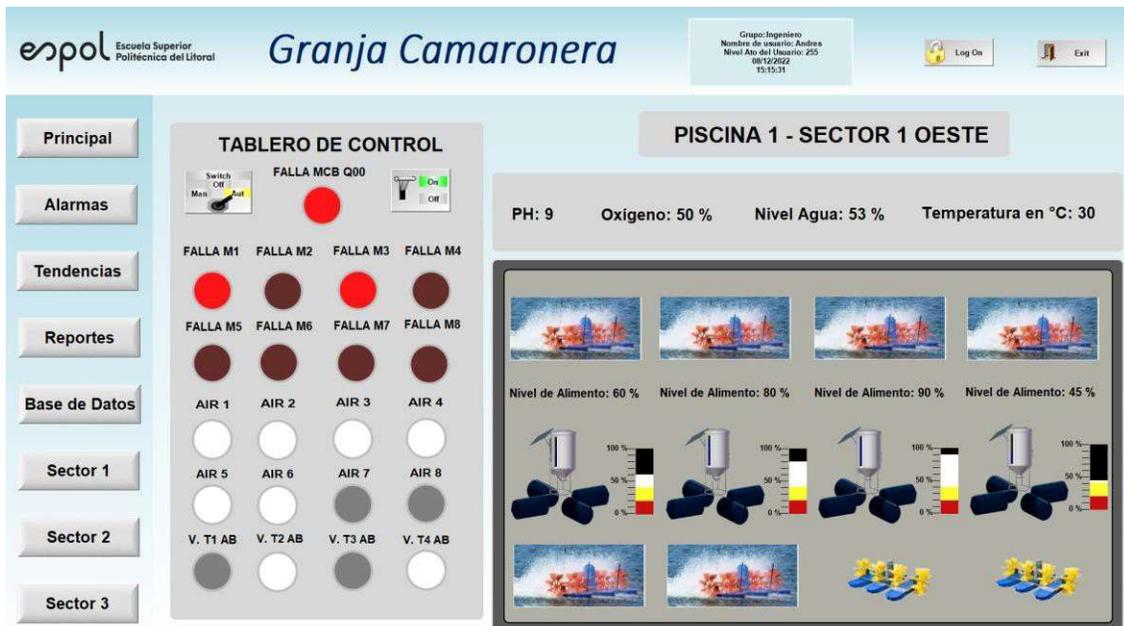


Figura 3.22 Indicadores para el encendido de los aireadores.

En lo que se refiere a las Alarmas se ha realizado la creación y comprobación de las alarmas considerando las variables críticas a monitorear en el proceso como son fallas en el motor, Nivel de agua en cada piscina, Nivel de Oxígeno en la piscina, entre otras.

Accediendo a la pantalla de alarmas se puede observar las diversas alarmas encendidas.



Figura 3.23 Simulación de las alarmas pertinentes sin verificar.

De la misma manera, el nivel de seguridad en el que se encuentra operando permite realizar el reconocimiento de variables de las fallas que se habían presentado anteriormente.

The screenshot shows the 'Granja Camaronera' control system interface. At the top, there is a header with the logo 'espol Escuela Superior Politécnica del Litoral' and the title 'Granja Camaronera'. On the right, there is a user information box: 'Grupo: Ingeniero, Nombre de usuario: Andrea, Nivel: Alto del Usuario: 255, 08/12/2022, 15:20:09'. Below the header is a navigation menu with buttons for 'Principal', 'Alarmas', 'Tendencias', 'Reportes', 'Base de Datos', 'Sector 1', 'Sector 2', and 'Sector 3'. The main area displays an alarm log table with columns: 'Tiempo de Activación', 'Nombre de Tag', 'Mensaje', 'Valor', and 'Tipo'. Below the log, there is a window titled 'Reconocimiento de Alarmas' which shows a similar table with a 'Verificar' column containing checkmarks.

Tiempo de Activación	Nombre de Tag	Mensaje	Valor	Tipo
08/12/2022 15:18:31	FALLA_Mot_P151_Oeste	Existe una falla en el motor del atizador de la piscina 5.Revisar!!!	1	Hi
08/12/2022 15:14:34	FALLA_Mot3000_P151_Oeste	Existe una falla en el breaker principal que alimenta los motores de los atizadores de la piscina 1.Revisar!!!	1	Hi
08/12/2022 15:14:28	FALLA_Mot_P151_Oeste	Existe una falla en el motor del atizador de la piscina 3.Revisar!!!	1	Hi
08/12/2022 15:14:28	FALLA_Mot5_P151_Oeste	Existe una falla en el motor del atizador de la piscina 5.Revisar!!!	1	Hi
08/12/2022 15:14:28	FALLA_Mot1_P151_Oeste	Existe una falla en el motor del atizador de la piscina 1.Revisar!!!	1	Hi
08/12/2022 15:13:21	Falla_Comm_PLC_P351_Oeste	Existe falla de comunicación con el PLC de la Piscina 3.Revisar Red de comunicación	1	Hi
08/12/2022 15:13:21	Falla_Comm_PLC_P251_Oeste	Existe falla de comunicación con el PLC de la Piscina 2.Revisar Red de comunicación	1	Hi
08/12/2022 15:13:21	Falla_Comm_PLC_P151_Oeste	Existe falla de comunicación con el PLC de la Piscina 1.Revisar Red de comunicación	1	Hi
08/12/2022 15:12:20	Alarma_P351_Oeste	Alarma de la Piscina 3 se encuentra Encendida.Revisar!!!	1	Hi
08/12/2022 15:12:20	Alarma_P151_Oeste	Alarma de la Piscina 1 se encuentra Encendida.Revisar!!!	1	Hi
08/12/2022 15:12:20	Alarma_P251_Oeste	Alarma de la Piscina 2 se encuentra Encendida.Revisar!!!	1	Hi
08/12/2022 14:49:14	Nivel_Agua_P351_Oeste	El Nivel de Agua de la Piscina 3 esta Bajo.Activa Válvula de la Piscina 3	23	Lo
08/12/2022 14:49:14	Nivel_Agua_P351_Oeste	El Nivel de Agua de la Piscina 3 esta Bajo.Activa Válvula de la Piscina 3	37	Lo

Tiempo de Activación	Nombre de Tag	Mensaje	Valor	Tipo	Verificar
08/12/2022 15:18:31	FALLA_Mot_P151_Oeste	Existe una falla en el motor del atizador de la piscina 5.Revisar!!!	1	Hi	✓
08/12/2022 15:14:34	FALLA_Mot3000_P151_Oeste	Existe una falla en el breaker principal que alimenta los motores de los atizadores de la piscina 1.Revisar!!!	1	Hi	✓
08/12/2022 15:14:34	FALLA_Mot3000_P151_Oeste	Existe una falla en el breaker principal que alimenta los motores de los atizadores de la piscina 1.Revisar!!!	1	Hi	✓
08/12/2022 15:14:28	FALLA_Mot_P151_Oeste	Existe una falla en el motor del atizador de la piscina 3.Revisar!!!	1	Hi	✓
08/12/2022 15:14:28	FALLA_Mot5_P151_Oeste	Existe una falla en el motor del atizador de la piscina 5.Revisar!!!	1	Hi	✓
08/12/2022 15:14:28	FALLA_Mot1_P151_Oeste	Existe una falla en el motor del atizador de la piscina 1.Revisar!!!	1	Hi	✓
08/12/2022 15:13:21	Falla_Comm_PLC_P351_Oeste	Existe una falla en el motor del atizador de la piscina 3.Revisar!!!	1	Hi	✓
08/12/2022 15:13:21	Falla_Comm_PLC_P251_Oeste	Existe una falla en el motor del atizador de la piscina 2.Revisar!!!	1	Hi	✓
08/12/2022 15:13:21	Falla_Comm_PLC_P151_Oeste	Existe una falla en el motor del atizador de la piscina 1.Revisar!!!	1	Hi	✓
08/12/2022 15:12:20	Alarma_P351_Oeste	Alarma de la Piscina 3 se encuentra Encendida.Revisar!!!	1	Hi	✓
08/12/2022 15:12:20	Alarma_P151_Oeste	Alarma de la Piscina 1 se encuentra Encendida.Revisar!!!	1	Hi	✓
08/12/2022 15:12:20	Alarma_P251_Oeste	Alarma de la Piscina 2 se encuentra Encendida.Revisar!!!	1	Hi	✓

Figura 3.24 Simulación de las alarmas verificadas y corregidas.

La siguiente pantalla implementada es la de Tendencias. En la siguiente imagen se observa los valores que han ido desarrollándose a lo largo del tiempo de las variables analógicas que se detallan a continuación: temperatura, PH, nivel de Agua, nivel de alimento principalmente.

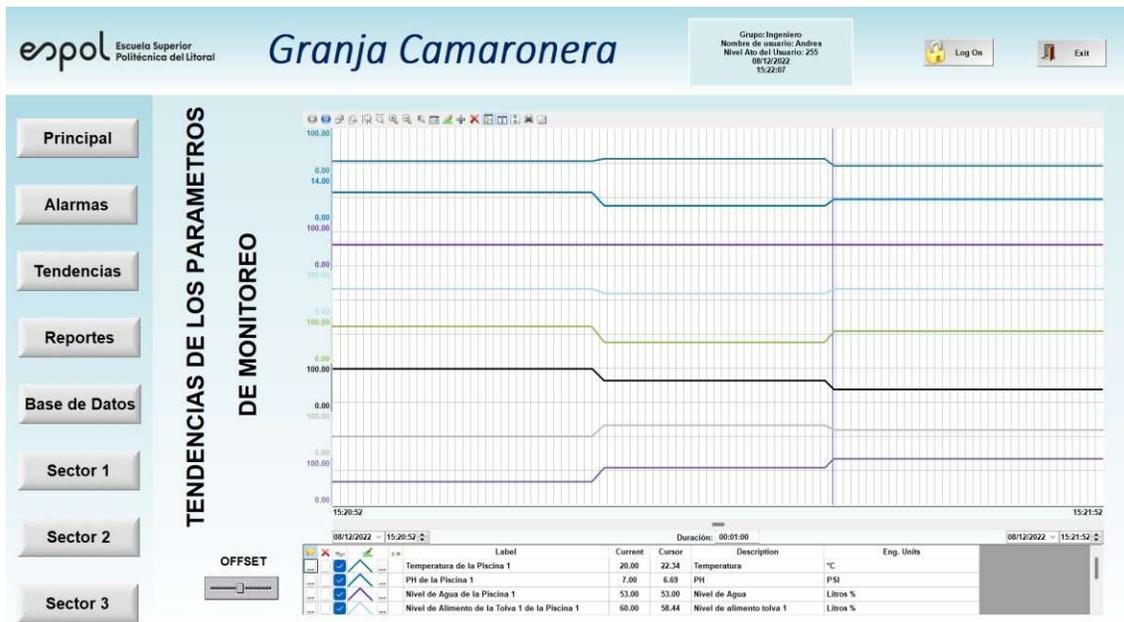


Figura 3.25 Registro temporal de las variables en tiempo real.

Basándose en la información obtenida de la pantalla de tendencias, se creó una pantalla para la Generación de reportes que tiene tres formatos de presentación: txt, pdf y rtf.

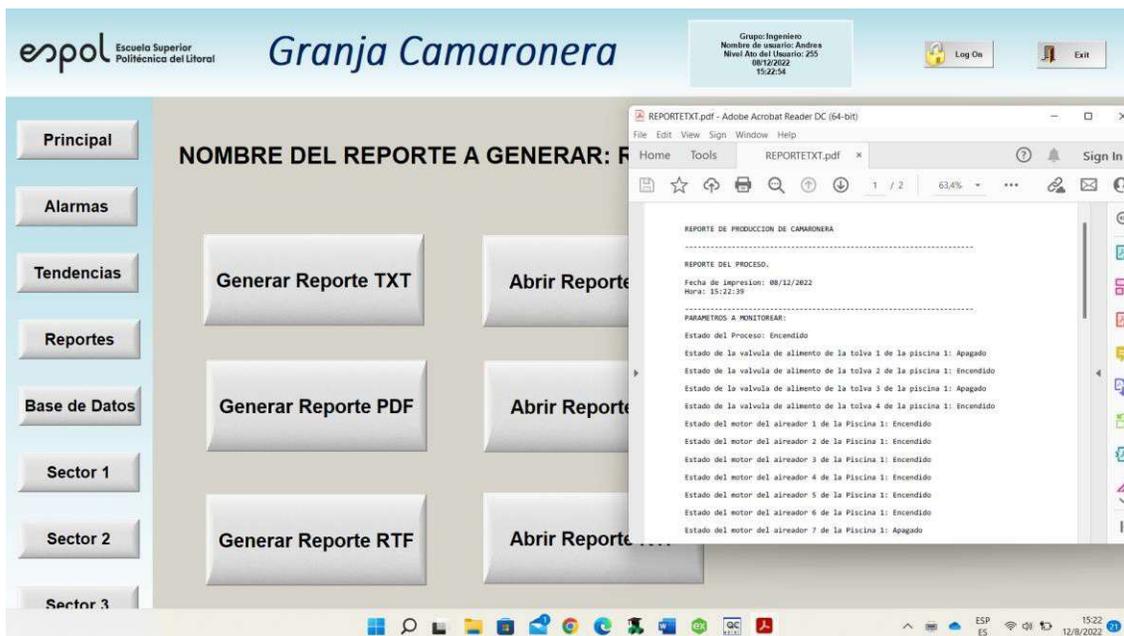


Figura 3.26 Generación de reportes de la granja camaronera.

En la siguiente imagen se evidencia la base de datos la cual se encuentra plasmada en una pantalla denominada Base de datos que presenta las últimas actualizaciones las últimas actualizaciones.

espol Escuela Superior Politécnica del Litoral Granja Camaronera

Grupo Ingeniero
Nombre de usuario: Andrea
Nivel Año del Usuario: 255
08/12/2022
15:23:28

Principal Alarmas Tendencias Reportes Base de Datos Sector 1 Sector 2 Sector 3

BASE DE DATOS DE LAS TENDENCIAS DE PARAMETROS DE MONITOREO DE LA GRANJA CAMARONERA

ID	Información	Segundos	Nivel de Ag...	Nivel de Ox...	Nivel de All...	PH de la Pis...	Temperatur...				
1	08/12/2022 20:23:17.203	203	53	100	60	70	45	60	7	7	20
2	08/12/2022 20:23:16.201	201	53	100	60	70	45	60	7	7	20
3	08/12/2022 20:23:15.225	225	53	100	60	70	45	60	7	7	20
4	08/12/2022 20:23:14.221	221	53	100	60	70	45	60	7	7	20
5	08/12/2022 20:23:13.220	220	53	100	60	70	45	60	7	7	20
6	08/12/2022 20:23:12.219	219	53	100	60	70	45	60	7	7	20
7	08/12/2022 20:23:11.220	220	53	100	60	70	45	60	7	7	20
8	08/12/2022 20:23:10.219	219	53	100	60	70	45	60	7	7	20
9	08/12/2022 20:23:09.221	221	53	100	60	70	45	60	7	7	20
10	08/12/2022 20:23:08.222	222	53	100	60	70	45	60	7	7	20
11	08/12/2022 20:23:07.219	219	53	100	60	70	45	60	7	7	20
12	08/12/2022 20:23:06.093	93	53	100	60	70	45	60	7	7	20
13	08/12/2022 20:23:05.234	234	53	100	60	70	45	60	7	7	20
14	08/12/2022 20:23:04.078	78	53	100	60	70	45	60	7	7	20
15	08/12/2022 20:23:03.133	133	53	100	60	70	45	60	7	7	20
16	08/12/2022 20:23:02.232	232	53	100	60	70	45	60	7	7	20
17	08/12/2022 20:23:01.080	80	53	100	60	70	45	60	7	7	20
18	08/12/2022 20:23:00.095	95	53	100	60	70	45	60	7	7	20
19	08/12/2022 20:22:59.127	127	53	100	60	70	45	60	7	7	20
20	08/12/2022 20:22:58.185	185	53	100	60	70	45	60	7	7	20
21	08/12/2022 20:22:57.182	182	53	100	60	70	45	60	7	7	20
22	08/12/2022 20:22:56.173	173	53	100	60	70	45	60	7	7	20

Figura 3.27 Registro de las variables requeridas en una base de datos en línea.

De igual manera, debido a la alta importancia que tiene almacenar la información del monitoreo; por ello se ha considerado el Almacenamiento de los reportes y base de datos dentro del proyecto.

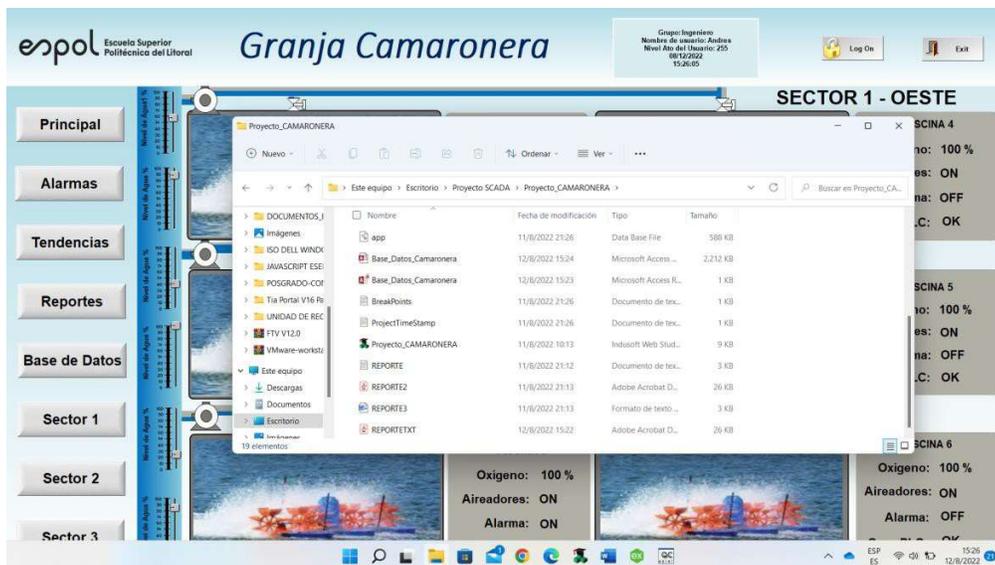


Figura 3.28 Archivo de Base de datos generado y almacenado en una ubicación local automáticamente.

La Base de datos que se trabajó en el presente proyecto se lo realizan en ACCESS. Es así que se almacenan en esta base de datos lo obtenido de la pantalla Alarmas.

Al_Start_Time	Al_Tag	Al_Message
10/8/2022 20:05:03	191 N_PH_P151_Oeste	El PH de la piscina esta muy baja. Colocar químico(s).
10/8/2022 20:05:03	191 N_PH_P151_Oeste	El PH de la piscina esta muy baja. Colocar químico(s).
10/8/2022 20:05:03	191 N_PH_P151_Oeste	El PH de la piscina esta muy baja. Colocar químico(s).
10/8/2022 20:54:31	775 Nivel_Agua_P151_Oeste	El Nivel de Agua de la Piscina 1 esta Bajo. Activa Valvula de la Piscina 1
10/8/2022 20:54:31	775 Nivel_Agua_P151_Oeste	El Nivel de Agua de la Piscina 1 esta demasiado Baja. Activa Valvula de la Piscina 1
10/8/2022 20:54:31	775 N_Oxig_P151_Oeste	El Nivel de Oxigeno de la Piscina 1 esta Baja. Activa los motores de los aireadores de la Piscina 1.
10/8/2022 20:54:31	775 N_Oxig_P151_Oeste	El Nivel de Oxigeno de la Piscina 1 esta demasiado Baja. Activa los motores de los aireadores de la Piscina 1.
10/8/2022 20:54:31	775 Nivel_Agua_P251_Oeste	El Nivel de Agua de la Piscina 2 esta Bajo. Activa Valvula de la Piscina 2
10/8/2022 20:54:31	775 Nivel_Agua_P251_Oeste	El Nivel de Agua de la Piscina 2 esta demasiado Baja. Activa Valvula de la Piscina 2
10/8/2022 20:54:31	775 N_Oxig_P251_Oeste	El Nivel de Oxigeno de la Piscina 2 esta Baja. Activa los motores de los aireadores de la Piscina 2.
10/8/2022 20:54:31	775 N_Oxig_P251_Oeste	El Nivel de Oxigeno de la Piscina 2 esta demasiado Baja. Activa los motores de los aireadores de la Piscina 2.
10/8/2022 20:54:31	775 Nivel_Agua_P351_Oeste	El Nivel de Agua de la Piscina 3 esta Bajo. Activa Valvula de la Piscina 3
10/8/2022 20:54:31	775 Nivel_Agua_P351_Oeste	El Nivel de Agua de la Piscina 3 esta demasiado Baja. Activa Valvula de la Piscina 3
10/8/2022 20:54:31	775 N_Oxig_P351_Oeste	El Nivel de Oxigeno de la Piscina 3 esta Baja. Activa los motores de los aireadores de la Piscina 3.
10/8/2022 20:54:31	775 N_Oxig_P351_Oeste	El Nivel de Oxigeno de la Piscina 3 esta demasiado Baja. Activa los motores de los aireadores de la Piscina 3.
10/8/2022 20:54:31	775 Nivel_Agua_P451_Oeste	El Nivel de Agua de la Piscina 4 esta Bajo. Activa Valvula de la Piscina 4
10/8/2022 20:54:31	775 Nivel_Agua_P451_Oeste	El Nivel de Agua de la Piscina 4 esta demasiado Baja. Activa Valvula de la Piscina 4
10/8/2022 20:54:31	775 N_Oxig_P451_Oeste	El Nivel de Oxigeno de la Piscina 4 esta Baja. Activa los motores de los aireadores de la Piscina 4.
10/8/2022 20:54:31	775 N_Oxig_P451_Oeste	El Nivel de Oxigeno de la Piscina 4 esta demasiado Baja. Activa los motores de los aireadores de la Piscina 4.
10/8/2022 20:54:31	775 Nivel_Agua_P551_Oeste	El Nivel de Agua de la Piscina 5 esta Bajo. Activa Valvula de la Piscina 5
10/8/2022 20:54:31	775 Nivel_Agua_P551_Oeste	El Nivel de Agua de la Piscina 5 esta demasiado Baja. Activa Valvula de la Piscina 5
10/8/2022 20:54:31	775 N_Oxig_P551_Oeste	El Nivel de Oxigeno de la Piscina 5 esta Baja. Activa los motores de los aireadores de la Piscina 5.
10/8/2022 20:54:31	775 N_Oxig_P551_Oeste	El Nivel de Oxigeno de la Piscina 5 esta demasiado Baja. Activa los motores de los aireadores de la Piscina 5.
10/8/2022 20:54:31	775 Nivel_Agua_P651_Oeste	El Nivel de Agua de la Piscina 6 esta Bajo. Activa Valvula de la Piscina 6
10/8/2022 20:54:31	775 Nivel_Agua_P651_Oeste	El Nivel de Agua de la Piscina 6 esta demasiado Baja. Activa Valvula de la Piscina 6
10/8/2022 20:54:31	775 N_Oxig_P651_Oeste	El Nivel de Oxigeno de la Piscina 6 esta Baja. Activa los motores de los aireadores de la Piscina 6.
10/8/2022 20:54:31	775 N_Oxig_P651_Oeste	El Nivel de Oxigeno de la Piscina 6 esta demasiado Baja. Activa los motores de los aireadores de la Piscina 6.
10/8/2022 20:54:31	775 Nivel_Alim_Tolva1_P151_O	El Nivel del alimento de la Tolva 1 de la Piscina 1 esta Bajo. Acercar a un operador para llenar la tolva.
10/8/2022 20:54:31	775 Nivel_Alim_Tolva2_P151_O	El Nivel del alimento de la Tolva 2 de la Piscina 1 esta Bajo. Acercar a un operador para llenar la tolva.

Figura 3.29 Registro de las alarmas en una base de datos externa.

Así también, se realizó una base de datos para almacenar la información obtenida en la pantalla de Tendencias como se observa a continuación.

Time_Stamp	Time	Nivel_Agua_P151_Oeste	N_Oxig_P151_Oeste	Nivel_Alim_Tolva1	Nivel_Alim_Tolva2	Nivel_Alim_Tolva3	Nivel_Alim_Tolva4_P1	N_PH_P151_Oeste	Temperatura_P151_O
10/8/2022 20:07:23	115	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:24	113	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:25	115	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:26	111	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:27	110	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:28	111	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:29	110	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:30	106	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:31	74	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:32	200	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:33	86	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:34	84	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:35	84	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:36	84	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:37	81	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:38	82	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:39	79	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:40	78	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:41	78	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:42	213	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:43	199	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:44	105	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:45	111	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:46	88	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:47	58	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:48	61	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:49	278	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:50	280	70	85	45	55	65	75	5	25
10/8/2022 20:07:51	281	70	85	45	55	65	75	5	25

Figura 3.30 Registro de las tendencias en una base de datos externa.

3.3 Análisis económico de la implementación.

En el siguiente análisis económico del proyecto implementado para la automatización y electrificación de una granja camaronera, tomaremos los siguientes rubros más importantes de la inversión:

3.3.1 Determinación del Costo Total de Inversión

Rubros Principales:

- a) **Generadores a Diesel de 1100 kW PRP (4 unidades)**
 - Costo por generador: \$500,000
 - Costo total: \$2,000,000

- b) **Transformadores elevadores para generadores de 1500 KVA (4 unidades)**
 - Costo por transformador: \$200,000
 - Costo total: \$800,000

- c) **Parte civil para el asentamiento de generadores y transformadores**
 - Costo estimado: \$1,000,000

- d) **Cuarto de control (servidores de SCADA y HMI)**
 - Costo estimado: \$300,000

- e) **Celdas en Media Tensión para maniobras en 13.8 kV (9 celdas)**
 - Costo por celda: \$50,000
 - Costo total: \$450,000

- f) **Electrificación de 600 hectáreas (50 piscinas de camarón)**
 - Costo estimado: \$2,000,000

- g) **Tableros de arrancadores para 1000 aireadores (130 tableros)**
 - Costo por tablero: \$10,000

- Costo total: \$1,300,000

h) Tableros de capacitores y transformadores reductores

- Tableros de capacitores: 55 unidades
Costo por tablero: \$5,000
Costo total: \$275,000
- Transformadores reductores: 55 unidades
Costo por transformador: \$7,000
Costo total: \$385,000

i) Costo de Implementación de Radio Enlace y del Sistema SCADA

- Costo estimado: \$300,000

j) Costo de Aireadores (1000 aireadores)

- Costo por aireador: \$600
- Costo total: \$600,000

k) Viáticos de personal, transporte y alimentación

- Costo estimado: \$1,000,000

l) Mano de obra para 1 año

- Costo estimado: \$1,000,000

Costo Total de Inversión:

$$\begin{aligned}
 \text{Costo Total} &= (4 * a) + (4 * b) + c + d + (9 * e) + f + (130 * g) + (55 * h1) + (55 * h2) \\
 &+ i + (1000 * j) + k + l = (\\
 &= (4 * 500,000) + (4 * 200,000) + 1,000,000 + 300,000 + (9 * 50,000) \\
 &+ 2,000,000 + (130 * 10,000) + (55 * 5,000) + (55 * 7,000) + 300,000 \\
 &+ 600,000 + 1,000,000 + 1,000,000 = \mathbf{\$11,410,000}
 \end{aligned}$$

3.3.2. Estimación de Ingresos y Costos Operativos

Para este análisis se considera un cultivo Semi-Intensivo con 3,000 kg/hectárea y 3 cosechas al año. Dando un resultado en las 600 hectáreas del análisis de 5,400,00 kg de

camarón al año, con un precio de venta promedio de \$8.00 por kilogramo. Se debe considerar también que este es un valor estimado y puede variar según el mercado y las condiciones de cultivo. Por lo tanto, en las siguientes tablas se resumen los Ingresos y Costos Operativos:

Tabla 3.3 Tabla de Ingresos por venta de camarón al año.

Concepto	Valor Unitario	Cantidad	Ingreso Anual Estimado
Producción de Camarón	\$8.00/kg	5,400,000 kg	\$43,200,000
Otros Ingresos	-	-	\$0
Total, Ingresos	-	-	\$43,200,000

Para los costos operativos consideramos los siguientes puntos:

- Alimentación de Camarón: Se estima un costo de \$1.50 por kilogramo de alimento, considerando que se requieren aproximadamente 1.5 kg de alimento para producir 1 kg de camarón.
- Costos de Producción: Incluye gastos generales como insumos, cuidados sanitarios y otros costos directos.
- Transporte: El costo de transporte del camarón hasta el punto de venta o procesamiento.
- Mano de Obra: Considerando un equipo de 50 empleados con un salario promedio de \$1,000 por mes.
- Electricidad y Energía: Costo estimado para operación de generadores y otros equipos eléctricos.
- Mantenimiento de Equipos: Incluye mantenimiento de aireadores, bombas, sistemas de filtración, etc.
- Costos Administrativos: Incluye costos de administración y oficina.
- Otros Costos: Gastos imprevistos y otros costos adicionales.

Tabla 3.4 Tabla de costos operativos para la producción y venta de camarón al año.

Concepto	Costo Unitario	Cantidad	Costo Anual Estimado
Alimentación de Camarón	\$1.50/kg	10,000,000 kg	\$ 15,000,000.00
Costos de Producción	-	-	\$ 3,000,000.00
Transporte	\$0.30/kg	10,000,000 kg	\$ 3,000,000.00
Mano de Obra	\$1,000/empleador/mes	400 empleados	\$ 4,800,000.00
Electricidad y Energía	\$200,000/mes	12 meses	\$ 2,400,000.00
Combustible			\$ 2,416,541.40
Mantenimiento de Equipos	-	-	\$ 500,000.00
Costos Administrativos	-	-	\$ 500,000.00
Otros Costos	-	-	\$ 200,000.00
Total, Costos Operativos	-	-	\$ 31,816,541.40

3.3.3 Cálculo del Flujo de Caja

En la siguiente tabla se resumen los valores de ingresos, costos operativos y la utilidad bruta:

Tabla 3.5 Tabla de resumen de ingreso y costos operativos al año.

Concepto	Valor
Total, Ingresos	\$43,200,000
Total, Costos	\$31,816,541.40
Utilidad Bruta	\$11,383,458.60

$$\begin{aligned} \text{Utilidad Bruta} &= \text{Total Ingresos} - \text{Total Costos} = \$43,200,000 - \$31,816,541.40 \\ &= \$11,383,458.60 \end{aligned}$$

3.3.4. Cálculo del Tiempo de Recuperación de la Inversión (ROI)

Para esto dividimos el costo total de inversión entre el flujo de caja neto anual:

$$\text{Tiempo de Recuperación} = \frac{\text{Costo de Inversión}}{\text{Utilidad Bruta}} = \frac{\$11,410,000}{\$11,383,458.60} = 1 \text{ año}$$

Así, se necesitarían aproximadamente 1 año para recuperar la inversión inicial de \$11,410,000 con los ingresos y costos operativos asumidos.

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

La selección adecuada de sensores y actuadores para la supervisión de los parámetros de cultivo ha sido crucial para garantizar la eficacia del sistema de monitoreo. La elección de sensores de alta precisión para medir parámetros clave como la temperatura, pH, oxígeno disuelto y salinidad ha permitido una supervisión continua y precisa del ambiente de cultivo. Los actuadores seleccionados, adecuados para controlar los motores de aireadores, han demostrado ser efectivos en la regulación de las condiciones del agua, mejorando la salud y crecimiento de los camarones.

La configuración del PLC en las piscinas ha logrado establecer un sistema robusto para el procesamiento de señales de los sensores. La programación del PLC ha permitido una integración efectiva con los actuadores, facilitando el control automático de los aireadores. Esto ha optimizado el manejo del ambiente acuático, asegurando que las condiciones se mantengan dentro de los rangos óptimos para el cultivo de camarones.

El diseño de la red de telecomunicaciones ha permitido una transferencia de datos eficiente desde cada piscina hacia el centro de control. La implementación de una red de comunicación confiable y con suficiente ancho de banda ha garantizado que la información del sistema SCADA se transmita sin retrasos ni pérdidas, mejorando la capacidad de monitoreo y control en tiempo real.

La implementación del sistema SCADA ha sido exitosa y ha demostrado su funcionalidad a través de rigurosos testeos. El sistema SCADA ha facilitado la supervisión centralizada y el análisis de datos, permitiendo una gestión más eficiente y proactiva de la granja camaronera. Las pruebas de funcionalidad confirmaron que el sistema cumple con los requisitos especificados y proporciona una plataforma confiable para el monitoreo y control.

Con el control para el encendido y apagado de los aireadores se tiene un ahorro de energía de aproximadamente un 50%.

4.2 Recomendaciones

Se recomienda evaluar periódicamente la precisión y el estado de los sensores para asegurar su rendimiento óptimo. Además, la incorporación de sensores adicionales para parámetros complementarios podría proporcionar una visión más completa del ambiente de cultivo. La implementación de actuadores más avanzados podría mejorar la capacidad de respuesta y la eficiencia en el control de los aireadores.

Considerar la actualización del PLC a versiones más avanzadas con mayor capacidad de procesamiento y conectividad. Esto permitirá una integración más fluida con futuros dispositivos y una mayor flexibilidad en la programación y control de procesos.

Realizar mantenimientos regulares y actualizaciones en la red de telecomunicaciones para prevenir problemas de conectividad y garantizar la transferencia continua de datos. Evaluar la posibilidad de implementar redundancias en la red para aumentar la resiliencia y la disponibilidad del sistema.

Explorar la posibilidad de integrar funciones adicionales en el sistema SCADA, como análisis predictivo y alertas automáticas basadas en patrones de datos. También se recomienda realizar capacitaciones continuas para el personal para asegurar un uso efectivo del sistema y una rápida adaptación a nuevas funcionalidades.

Invertir en la investigación de nuevas tecnologías y metodologías que puedan mejorar aún más la gestión y el control de la granja camaronera. Los avances en áreas como la inteligencia artificial y el análisis de Big Data podrían ofrecer nuevas oportunidades para optimizar la producción y la calidad del cultivo.

BIBLIOGRAFÍA

- Actitud Ecológica. (5 de Agosto de 2019). Obtenido de <https://actitudecologica.com/temperatura-seca-temperatura-humeda-y-temperatura-efectiva/>
- Autycom. (2020). Obtenido de <https://www.autycom.com/para-que-sirve-un-plc/>
climasmonterrey.com. (2022). Obtenido de <http://www.climasmonterrey.com/image/catalog/emerson/banco-de-fotos/valvulas-de-solenoides/Fig-13-11.jpg>
- Como medir fácilmente la humedad del ambiente. (2011). Obtenido de <http://experimentosyproyectos.blogspot.com/2011/10/como-hacer-un-higrometro-humedo-seco.html>
- Córdoba Foglia, R. (2005). Conceptos básicos sobre el secado de la madera. KURÚ, 1.
- Coyago, R., & Criollo, D. (2013). Diseño térmico de un horno para secado de madera con una capacidad de 23 metros cúbicos al mes. Quito.
- Ilk shops. (2022). Obtenido de https://cdn11.bigcommerce.com/s-gubc8u/images/stencil/1280x1280/products/133029/39136/QFA3101__91745.1565120216.jpg?c=2
- Industry Mall. (2021). Obtenido de <https://mall.industry.siemens.com/mall/es/es/catalog/product/6es7214-1hg40-0xb0>
- infoPLC. (s.f.). Obtenido de <https://www.infopl.net/blogs-automatizacion/item/106987-5-tendencias-futuras-interfaces-hombre-maquina-hmi>
- Ingeniería Química. (7 de Septiembre de 2020). Obtenido de <https://www.ingenieriaquimicareviews.com/2020/09/cartas-psirometricas.html>
- ISA International Society of Automation. (2022). Obtenido de <https://www.isa.org/products/ansi-isa-101-01-2015-human-machine-interfaces-for>
- ISA101 Norma para el diseño HMI. (s.f.). Obtenido de <https://www.infopl.net/actualidad-industrial/item/102902-isa101-hmi>
- Kepware. (2022). Obtenido de <https://www.kepware.com/en-us/products/kepserverex/>

- kepswareKepserverex. (8 de mayo de 2019). Obtenido de <https://www.kepsserverexopc.com/que-es-opc-y-que-es-un-opc-server/>
- Lobo, M. (2020). En Desarrollo de una herramienta destinada al diseño y gestión de diagramas de tuberías e instrumentación en proyectos de instalaciones industriales.
- M, O., & Nave, R. (2009). HyperPhysics. Obtenido de <http://hyperphysics.phy-astr.gsu.edu/hbasees/Kinetic/relhum.html>
- Maderame. (2018). Obtenido de <https://maderame.com/enciclopedia-madera/balsa/>
- NEC. (2015). Estructura de madera . Quito , Pichincha, Ecuador.
- NetToPLCsim. (s.f.). Obtenido de <http://nettoplcsim.sourceforge.net/>
- OMEGA . (s.f.). Obtenido de <https://es.omega.com/cservice/contactus.html>
- Ortiz, F., & Ortiz, G. (1994). Calculo y diseño de un cuarto de secado de madera. Santiago de Cali.
- Peralta Chamba , F. A. (2006). Diseño y simulación de la automatización del horno de secado de madera de la empresa DYMAP. 74.
- PRelectronic. (s.f.). Obtenido de <https://www.prelectronics.com/es/los-fundamentos-de-los-sensores-de-temperatura-rtd/>
- Producción, C. d. (2009). Técnicas de secado de la madera.
- Quezada, J., & Flores, E. (s.f.). Universidad autónoma del estado de hidalgo. Obtenido de IEC-61131 Controladores Programables: <https://www.uaeh.edu.mx/scige/boletin/tizayuca/n2/r1.html>
- SIEMENS. (2021). Obtenido de <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc.html>
- Significados . (s.f.). Obtenido de <https://www.significados.com/entalpia/>
- SIMATIC S7 Controlador programable S7-1200. (2014). ALEMANIA: Copyright © Siemens AG.
- Sistemas de control secuencial. (2007). Obtenido de <http://www.isa.uniovi.es/~idiaz/SA/Teoria/SA.Tema1.pdf>
- SMART FACTORY. (s.f.). Obtenido de <https://www.smartfactorysac.com.pe/categorias/automatizacion->

industrial/117/24/scada/scada-indusoft-detail.html#:~:text=InduSoft%20Web%20Studio%C2%AE%20es,permitir%20su%20despliegue%20donde%20sea.

- V. consideraciones técnicas de la madera. (s.f.). En copilco. Facultad de ingeniería UNAM .
- Viscarra, S. (1998). Guia para el secado de madera en hornos Documento Técnico 69/1998. Bolivia: Proyecto de Manejo Forestal Sostenible BOLFOR.
- Webscolar . (2021). Obtenido de <https://www.webscolar.com/diferentes-tipos-de-secado-de-madera>
- Wonderware. (2021). Obtenido de <https://www.wonderware.es/hmi-scada/que-es-hmi/>
- Woodfactory. (02 de 03 de 2020). Obtenido de <https://www.woodfactory.com.uy/tipos-de-secados-de-la-madera/>