

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Electricidad y
Computación**

**“DISEÑO CONCEPTUAL DE UN SISTEMA PARA LA
SUPERVISION INTELIGENTE EN INDUSTRIA
CAMARONERA ECUATORIANA”**

INFORME DE PROYECTO INTEGRADOR

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
AUTOMATIZACIÓN**

MARÍA FERNANDA MORA GRANDA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2020

DEDICATORIA

*El presente proyecto es dedicado a mi madre, Mónica Rosana
Granda Játiva, sin su empuje y amor no lo hubiera logrado.*

AGRADECIMIENTO

Quiero agradecer a Dios por permitirme llegar hasta este momento con salud y junto a mis seres queridos. A mis padres y hermanos quienes me han acompañado a lo largo de la carrera.

Gracias a los docentes que con amor y empeño brindaron sus conocimientos en las horas clases y un especial agradecimiento a cada compañero, ahora colega, que me brindó su mano amiga cuando no comprendía algún tema en específico y se tomó el tiempo de enseñarme.

Este camino no lo recorrí sola, gracias totales por su apoyo incondicional.

DECLARACIÓN EXPRESA

“Los derechos de titularidad y explotación, nos corresponde conforme al reglamento de propiedad intelectual de la institución; María Fernanda Mora Granda da su consentimiento para que la ESPOL 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”



María Fernanda Mora Granda

EVALUADORES



PhD. Wilton Agila Gálvez
PROFESOR DE LA MATERIA



PhD. Cesar Martin Moreno
PROFESOR TUTOR

RESUMEN

En el Ecuador, la exportación del camarón ha ganado importancia en los últimos años tal que representa un fuerte ingreso en la economía del país. Sin embargo, algunas camaroneras no cuentan con tecnología para llevar a cabo una crianza automatizada y eficiente. Todo proceso y verificación es realizado de forma manual y artesanal, esto representa un gran problema porque se alargan los procesos de producción y la calidad y precisión no es la adecuada.

En este trabajo, se analizan diferentes tipos de supervisión inteligente aplicadas en la industria tales como: redes neuronales, lógica borrosa, red de Petri y sistemas multiagentes. No obstante, para darle solución a esta problemática se realiza un modelo de supervisión inteligente basado en lógica borrosa tal que se pueda llevar un control alimenticio y un control del nivel de oxígeno presente en las piscinas camaroneras.

Para la creación del controlador basado en lógica borrosa se emplea la plataforma Fuzzy Logic Designer que hará posible llevar el manejo de todo el sistema. De acuerdo con la entrada recibida, se la relaciona con los conjuntos borrosos de entrada y se toma decisiones que generarán una salida determinada. Luego, se crea una interfaz amigable con el operador a partir del software LabVIEW; donde se implementa el controlador previamente creado en Fuzzy Logic Designer.

Finalmente, para evaluar la robustez del controlador basado en lógica borrosa, se sometió el sistema a perturbaciones de diferentes tipos donde se observa oscilaciones por un tiempo hasta que el sistema encuentra estabilidad. Un controlador no lineal basado en lógica difusa posee la ventaja de brindar eficiencia y efectividad en un proceso experimental sin requerir de matemáticas y cálculo avanzado.

Palabras claves: camarón, supervisión inteligente, lógica borrosa, control alimenticio, control de oxígeno.

ABSTRACT

In Ecuador, shrimp exports have gained importance in recent years such that it represents a strong income in the country's economy. However, some shrimp farms do not have the technology to carry out automated and efficient farming. All process and verification is carried out manually, this represents a big problem because the production processes are lengthened and the quality and precision is not adequate.

In this paper, different types of intelligent supervision applied in the industry are analyzed such as: neural networks, fuzzy logic, Petri net and multi-agent systems. However, to solve this problem, an intelligent supervision model based on fuzzy logic is chosen so that a nutritional control and a control of the level of oxygen present in the shrimp ponds can be carried out.

The Fuzzy Logic Designer platform is used to create a controller based on fuzzy logic, which will make it possible to carry out the management of the entire system. According to the input received, it will be related to the fuzzy input sets and then, the controller will make decisions that will generate a certain output. Then, an operator-friendly interface is created from LabVIEW software; where the controller previously created in Fuzzy Logic Designer is implemented.

Finally, to evaluate the robustness of the controller based on fuzzy logic, the system was subjected to disturbances of different types where oscillations are observed for a time until the system finds stability. A non-linear controller based on fuzzy logic has the advantage of providing efficiency and effectiveness in an experimental process without requiring advanced math and calculation.

Keywords: shrimp, intelligent supervision, fuzzy logic, feed control, oxygen control.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	I
ABSTRACT	II
ÍNDICE GENERAL.....	III
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
ÍNDICE DE TABLAS.....	VI
ABREVIATURAS.....	VII
SIMBOLOGÍA	VIII
CAPITULO I	1
INTRODUCCIÓN	1
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN.....	2
1.3 OBJETIVOS.....	2
OBJETIVOS GENERAL.....	2
OBJETIVO ESPECÍFICO	2
1.4 MARCO TEÓRICO	3
PIRAMIDE CIM	3
PROTOCOLO ETHERNET/IP	4
OPC.....	4
TIPOS DE SUPERVISION INTELIGENTE.....	4
LÓGICA BORROSA O DIFUSA	4
SISTEMAS MULTIAGENTES	7
REDES DE PETRI.....	8
REDES NEURONALES ARTIFICIALES.....	9
LABVIEW	10
CAPITULO II	11
METODOLOGIA.....	11
2.1 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA	11
2.2 SENSORES Y ACTUADORES.....	13
OXIGENÓMETRO.....	13
AIREADORES	14
MÉTODO PARA DETERMINAR PESO DE CAMARÓN.....	15
ARQUITECTURA DE CONTROL	16
2.3 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN INTELIGENTE A IMPLEMENTAR	17
2.4 INTERFAZ AMIGABLE EN LABVIEW	18
DEFINICIÓN DE VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA	19

DEFINICIÓN DE LAS REGLAS DIFUSAS	22
CAPITULO III	25
ANÁLISIS DE RESULTADOS	25
3.1 EVALUCIÓN DEL SUPERVISOR EXPERTO	25
3.2 INTERFAZ AMIGABLE CON EL USUARIO.....	28
3.3 SISTEMA DE LÓGICA BORROSA SOMETIDO A PERTURBACIONES.....	29
3.4 ANÁLISIS DE COSTOS	33
CAPITULO IV	35
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	35
4.1 CONCLUSIONES	35
4.2 RECOMENDACIONES	36
BIBLIOGRAFÍA.....	37
ANEXOS.....	38
FICHA TÉCNICA DEL OXIGENÓMETRO	38
COTIZACIÓN DE AIREADORES	39

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: PIRÁMIDE CIM	3
ILUSTRACIÓN 2: FRONTERAS DEFINIDAS Y NO DEFINIDAS	5
ILUSTRACIÓN 3: FUNCIONES DE MEMBRESÍA PARA CONJUNTOS BORROSOS	6
ILUSTRACIÓN 4: ESQUEMA DE SISTEMA MULTIAGENTES	7
ILUSTRACIÓN 5: EJEMPLO DE RED DE PETRI	9
ILUSTRACIÓN 6: EJEMPLO DE RED NEURONAL	9
ILUSTRACIÓN 7: OXIGENÓMETRO COD200 CONTROLLER	14
ILUSTRACIÓN 8: SISTEMA DE OXIGENACIÓN DE AGUA CON PALETAS	14
ILUSTRACIÓN 9: DIAGRAMA DE CONEXIONES DE DISPOSITIVOS DE ENTRADAS Y SALIDAS	16
ILUSTRACIÓN 10: PROCEDIMIENTO DE FUZZYFICACIÓN DE UNA VARIABLE	17
ILUSTRACIÓN 11: ESQUEMA DE SISTEMA INTELIGENTE BASADO EN LÓGICA BORROSA	18
ILUSTRACIÓN 12: CURVAS DE LA ETIQUETA LINGÜÍSTICA 'PESO DE CAMARÓN'	19
ILUSTRACIÓN 13: CURVAS DE LA ETIQUETA LINGÜÍSTICA 'NIVEL DE OXIGENO'	20
ILUSTRACIÓN 14: CURVAS DE VARIABLE DE SALIDA 'RACIÓN ALIMENTICIA'	21
ILUSTRACIÓN 15: CURVAS DE VARIABLE DE SALIDA 'AIREADORES'	21
ILUSTRACIÓN 16: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO CUANDO EL CAMARÓN ESTÁ EN LA ETAPA DE NIÑEZ	23
ILUSTRACIÓN 17: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO CUANDO EL CAMARÓN ESTÁ EN LA ETAPA DE JUVENTUD	23
ILUSTRACIÓN 18: DIAGRAMA ESQUEMÁTICO CUANDO EL CAMARÓN ESTÁ EN LA ETAPA DE ADULTEZ	24
ILUSTRACIÓN 19: SIMULACIÓN 1 EN FUZZY SYSTEM DESIGNER	25
ILUSTRACIÓN 20: SIMULACIÓN 2 EN FUZZY SYSTEM DESIGNER	26
ILUSTRACIÓN 21: SIMULACIÓN 3 EN FUZZY SYSTEM DESIGNER	27
ILUSTRACIÓN 22: INTERFAZ AMIGABLE EN SOFTWARE LABVIEW	28
ILUSTRACIÓN 23: DIAGRAMA DE CONEXIONES EN LABVIEW	28
ILUSTRACIÓN 24: DIAGRAMA DE CONEXIONES EN LABVIEW CON ENTRADA ESCALÓN	29
ILUSTRACIÓN 25: GRAFICAS DE SALIDA ANTE UNA ENTRADA ESCALÓN	30
ILUSTRACIÓN 26: DIAGRAMA DE CONEXIONES EN LABVIEW CON ENTRADA DE TREN DE PULSOS	31
ILUSTRACIÓN 27: GRAFICAS DE SALIDA ANTE UNA ENTRADA DE TREN DE PULSOS	31
ILUSTRACIÓN 28: DIAGRAMA DE CONEXIONES EN LABVIEW CON ENTRADA RAMPA	32
ILUSTRACIÓN 29: GRAFICAS DE SALIDAS ANTE UNA ENTRADA RAMPA	32

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1: ELEMENTOS DE UNA RED PETRI	8
TABLA 2: ALIMENTACIÓN POR PESO DEL CAMARÓN	12
TABLA 3: NIVEL CRÍTICO DE OXÍGENO PARA ORGANISMOS ACUÁTICOS	13
TABLA 4: RELACIÓN PESO - EDAD DEL CAMARÓN	15
TABLA 5: RANGOS Y FUNCIONES DE LOS CONJUNTOS BORROSOS DE ENTRADA	20
TABLA 6: RANGOS Y FUNCIONES DE CONJUNTOS BORROSOS DE SALIDA.....	22
TABLA 7: PRESUPUESTO PARA EQUIPAR UNA PISCINA DE CRIANZA PARA CAMARONES	33
TABLA 8: INVERSIÓN INICIAL PARA EQUIPAR 10 PISCINAS DE CRIANZA PARA CAMARONES.....	34

ABREVIATURAS

CIM	COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING
CNA	CAMARA NACIONAL DE ACUACULTURA
OPC	OLE FOR PROCESS CONTROL
PLC	PROGRAMMABLE LOGIC CONTROLLER
SCADA	SUPERVISORY CONTROL AND DATA ACQUISITION
MIMO	MULTIPLE INPUTS AND MULTIPLE OUTPUTS
TCP	TRANSMISSION CONTROL PROTOCOL
IP	INTERNET PROTOCOL

SIMBOLOGÍA

°C	GRADOS CELSIUS
cm	CENTIMENTROS
g	GRAMOS
Km	KILOMETROS
%	PORCIENTO
L	LITROS
mg	MILIGRAMOS
m²	METROS CUADRADOS
Ha	HECTÁREA

CAPITULO I

INTRODUCCIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

En el Ecuador, el camarón se ha posicionado en primer lugar como producto estrella en exportación desplazando al banano ecuatoriano que llevaba muchos años en ese puesto, de acuerdo con los datos recopilados por la Cámara Nacional de Acuicultura (CNA).

La acuicultura o producción de camarón en cautiverio es una actividad que tiene como objetivo criar en condiciones óptimas especímenes acuáticos: vegetales o animales. No obstante, en este trabajo centraremos la atención en la crianza de camarón en piscinas para el posterior consumo humano.

Las industrias ecuatorianas no cuentan con tecnología ni el financiamiento para el control adecuado durante la crianza del camarón, usualmente se presentan dos principales problemas:

1. **La alimentación**, el operador suministra la comida en base a la experiencia de años de trabajo y no a partir de una medida referencial que debe ser suministrada de acuerdo con el peso/edad del camarón. Esto resulta un inconveniente porque los camarones no se alimentan adecuadamente y en el peor de los casos, pueden morir o enfermarse. Además, se genera una pérdida de comida y dinero para la empresa.
2. **La oxigenación del agua de las piscinas**, usualmente no se cuenta con un sensor que mide el nivel de oxígeno del agua, sino que a partir de observación de cuando los camarones asoman en la superficie de la piscina, es síntoma de que el agua requiere de un proceso intenso de oxigenación. Esto representa un gran problema a corto plazo para la salud de las especies en el medio acuático porque a cierto nivel de oxígeno, las especies empiezan a estresarse, enfermarse y posteriormente mueren.

En base a lo mencionado, se infiere que la mayoría de los procesos que se llevan a cabo durante la crianza de camarones se realiza de forma manual o artesanal. Todo proceso artesanal representa una desventaja ya que los tiempos de producción se alargan, la calidad y precisión no es la adecuada y siempre se está expuesto a posibles errores del operario.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Se desea implementar un sistema de supervisión inteligente con una interfaz amigable para la supervisión de procesos en la industria camaronera tal que mejore eficiencia y precisión. Además, se tenga un control detallado y remoto de cada una de las etapas que intervienen a lo largo del crecimiento del camarón.

Los sistemas para la supervisión inteligente es un tema de investigación que avanza rápidamente tal que se ha convertido en un pilar en la inteligencia artificial, existen diferentes enfoques y planteamientos para la supervisión inteligente donde se destacan: sistemas multiagentes, redes de Petri, lógica borrosa o difusa, redes neuronales, entre otros.

Los enfoques anteriormente mencionados se ajustan al menos una de las siguientes orientaciones: La primera consiste en modificaciones online del proceso y en el controlador del proceso, otro esquema busca detectar y diagnosticar posibles fallas en la red del proceso (sensores y actuadores) y un tercer esquema consiste en la capacidad de receptar y asimilar información tal que el sistema está en un aprendizaje constante. En la actualidad, existen múltiples fusiones de los esquemas mencionados, lo que ha permitido la creación de varios sistemas de supervisión inteligente que se adaptan a una problemática en específico (LEON, RIOS , HIDROBO, & AGUILAR).

1.3 OBJETIVOS

OBJETIVOS GENERAL

Diseñar un sistema de supervisión inteligente en una industria camaronera a partir de una interfaz SCADA tal que se lleve un control de forma remota y detallada en la etapa de crecimiento del camarón.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Analizar los diferentes tipos de supervisión inteligente para la posterior selección del esquema que se adapte mejor a la aplicación.
- Realizar un control alimenticio y un control de oxigenación del agua en las piscinas camaroneras tal que se incremente la supervivencia de los camarones.
- Realizar una interfaz amigable con el operario a partir del software LabVIEW.
- Generar eficiencia y precisión al librar al operario de las etapas de producción.

1.4 MARCO TEÓRICO

PIRAMIDE CIM

Alrededor de los 70s, el Dr. Joseph Harrington publicó el libro 'Computer Integrated Manufacturing' o CIM, en el cual se hace referencia a la revolución de la industria manufacturera que en ese entonces daba sus primeros pasos. Esta industria empezó a crecer rápidamente tal que la mano de obra no era suficiente y es de ahí que surge la necesidad de automatizar los procesos.

La pirámide CIM cuenta con 5 niveles, tal como se muestra en *la ilustración 1*. Pero, es posible dividir en dos secciones la pirámide:



Ilustración 1: Pirámide CIM

La parte inferior de la pirámide (incluye los niveles: proceso, campo y célula) es la base de todo, en esta sección existe mayor intercambio de información en comparación con la sección superior y es de suma importancia que el tiempo empleado para la transmisión de datos sea corta y precisa. Asimismo, el tipo de comunicación a implementar debe ser lo suficientemente robusta para soportar variaciones de temperaturas bruscas, vibración, interferencia, entre otros. (MURCIA & STRACK, 2016)

Por otro lado, la parte superior de la pirámide (nivel de planta y nivel de fábrica) está encargada del control y supervisión del proceso industrial que se lleva a cabo. En esta sección, el intercambio de datos es más lento.

PROTOCOLO ETHERNET/IP

Un protocolo de comunicación puede ser definido como el lenguaje entre los dispositivos para que sea posible el pase de información o el paso de los paquetes de datos a través de una red. Un protocolo son reglas establecidas que hacen posible una comunicación eficiente entre dispositivos.

El protocolo Ethernet/IP es el más popular en la industria de la automatización, se fundamenta en el protocolo convencional TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) para controlar, programar y acceder a los diferentes dispositivos de automatización. (ROCKWELL AUTOMATION, 2015)

OPC

Un servidor OPC sigue el modelo cliente-servidor donde el servidor envía datos al cliente y este los lee y manipula. Los servidores OPC son muy populares en las industrias por su facilidad para implementarse en diferentes procesos y aplicaciones sin restricción alguna, a pesar de que intervengan dispositivos de diferentes marcas comerciales. El estándar OPC permite una comunicación en tiempo real con los PLC que intervienen en la escena, RTUs, interfaz HMI y demás. (Tamairon Perez, 2016)

TIPOS DE SUPERVISION INTELIGENTE

Hace varias décadas atrás, el tema 'supervisión inteligente' no era conocido ni implementado en los procesos industriales, todo era realizado y verificado de forma artesanal o manual por el operario.

En la actualidad, la supervisión inteligente es un tema de investigación que avanza rápidamente tal que se ha convertido en un pilar de la inteligencia artificial; esta busca brindar al operario eficiencia, confiabilidad y calidad en los procesos industriales. Existe una variedad de sistemas para la supervisión inteligente que se ajustan bien de acuerdo con la problemática que se desee controlar. A continuación, se describen algunos de los enfoques:

LÓGICA BORROSA O DIFUSA

Uno de los enfoques que propone la inteligencia artificial es la lógica borrosa o difusa, consiste en el conocimiento de un tema o área en el que se aplicará un proceso de deducciones y razonamiento a partir de un lenguaje formal basado en las matemáticas. (GONZALEZ, TORTAJADA, & MATA, 2007)

Un conjunto que no posee fronteras definidas es posible representarlo matemáticamente mediante lógica difusa, por ejemplo:

Las frases 'Hace calor' o 'El clima está caluroso' son muy comunes, pero ¿a partir de cuál temperatura es considerado caliente? Esto dependerá del lugar donde la persona viva o dependerá si se trata de una mujer o un hombre, por lo general las mujeres son más sensibles a temperaturas bajas mientras que los hombres sienten más el calor. Es posible establecer un rango de temperatura entre 25°C a 30°C en lo que se considera un clima caluroso. Pero ¿A partir de cuál temperatura se establece que un día es caluroso o no caluroso? No existe tal temperatura. (MANRIQUE GAMO & SUAREZ DE FIGUEROA BAONZA)

Por otro lado, la *ilustración 2.a)* muestra el ejemplo de la temperatura corporal humana en grados Celsius donde es posible establecer un límite o frontera en la que una persona tiene o no tiene fiebre. Cuando la temperatura es igual o mayor a 37°C, la persona tiene fiebre. Existe una frontera definida. Esta es la diferencia entre un conjunto convencional y un conjunto borroso o difuso, en el primer conjunto es posible determinar la pertenencia o no al conjunto basado en reglas o condiciones definidas mientras que, para un conjunto difuso o borroso, la frontera resulta vaga e imprecisa. Ver *ilustración 2.b)*. (JANTZEN & VERBRUGGEN)

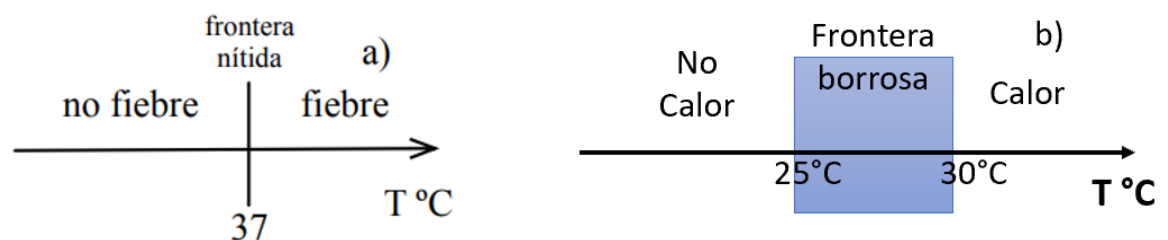


Ilustración 2: Fronteras definidas y no definidas

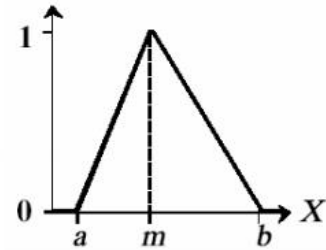
Otros ejemplos de lógica borrosa o difusa son:

- Horario en el que anochece, no existe una hora establecida, existe un pronóstico o rango horario en el que cae el sol y este dependerá de la ciudad y la estación del lugar.
- ¿Cuál es la estatura para considerar que una persona es alta? No existe, la referencia podría variar entre 175 cm -180 cm. Y cualquier valor que se tome, es correcto.
- ¿A qué distancia un lugar es cercano o lejano? Dependerá de la perceptiva de la persona, si la persona tiene la costumbre de realizar caminatas largas, 3 km no le resultará lejos. Por otro lado, si la persona no suele salir a caminar, 3 km representaría una larga distancia.

Para representar a los conjuntos borrosos y sus variables, se utilizan etiquetas lingüísticas y funciones convencionales que representan el comportamiento de la variable a modelar. (HAO, 2000) Algunas de las funciones para representar las variables se muestran en la *ilustración 3*:

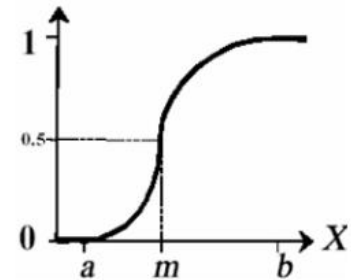
Forma Triangular

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ (x-a)/(m-a) & \text{si } x \in (a, m] \\ (b-x)/(b-m) & \text{si } x \in (m, b) \\ 1 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



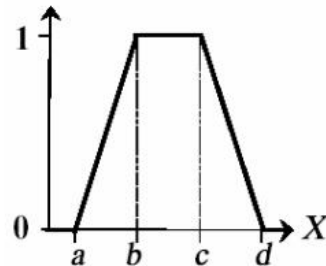
Forma S

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } x \leq a \\ 2\{(x-a)/(b-a)\}^2 & \text{si } x \in (a, m] \\ 1 - 2\{(x-a)/(b-a)\}^2 & \text{si } x \in (m, b) \\ 1 & \text{si } x \geq b \end{cases}$$



Forma Trapezoidal

$$A(x) = \begin{cases} 0 & \text{si } (x \leq a) \vee (x \geq d) \\ (x-a)/(b-a) & \text{si } x \in (a, b] \\ 1 & \text{si } x \in (b, c) \\ (d-x)/(d-c) & \text{si } x \in (c, d) \end{cases}$$



Forma singleton

$$A(x) = \begin{cases} 1 & x = a \\ 0 & x \neq a \end{cases}$$

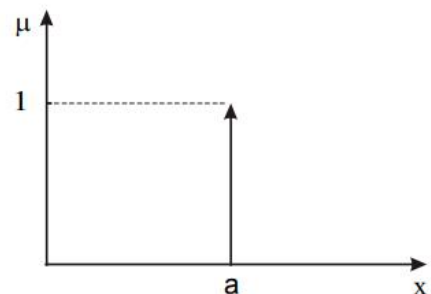


Ilustración 3: Funciones de membresía para conjuntos borrosos

La lógica difusa invita a la persona encargada de diseñar el sistema inteligente a reflexionar y elegir el tipo de representación que se adapte mejor a la problemática a resolver.

SISTEMAS MULTIAGENTES

Otro enfoque de supervisión inteligente es el sistema multiagentes, el cual es un método muy efectivo para aplicaciones con mayor dificultad. El sistema está constituido por agentes que interactúan, coordinan, cooperan y negocian simultáneamente para la realización de tareas, como se muestra en la *ilustración 4*.

Los agentes tienen acceso a un listado de acciones a seguir frente a un problema con sus respectivas precondiciones. Para que exista una acción oportuna por parte de un agente, este debe estar consciente todo el tiempo de su entorno. Es preciso mencionar que cada agente posee cierto grado de autonomía ya que actúan sin intervención humana directa y poseen control de su estado interno. No obstante, el operario posee la plataforma donde puede interactuar con los agentes para que respondan a ordenes específicas. (ROMERO TERNERO, 2010)

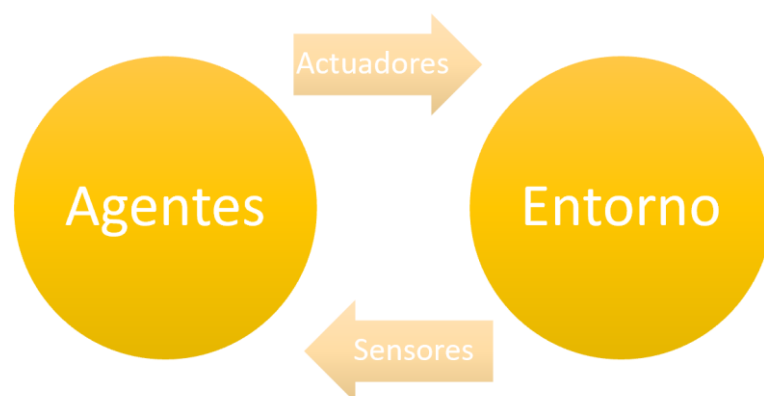


Ilustración 4: Esquema de Sistema Multiagentes

El objetivo de los sistemas multiagentes es poder resolver problemas o situaciones que un agente de forma individual no podría hacerlo. Es importante mencionar que los agentes no son 'inteligentes' desde un inicio, sino que existen dos formas para dotar de conocimiento al agente:

- El enfoque convencional consiste en otorgarle la mayor cantidad de conocimientos al agente a partir de ejemplos, problemas, ejercicios, entre otros; tal que el agente aprenda desde cero a razonar y actuar frente a problemáticas en su entorno.
- El segundo enfoque consiste en un aprendizaje en equipo entre los agentes donde aprenderán a partir de la interacción entre ellos. Se conoce a este tipo de comportamiento como emergente.

REDES DE PETRI

En 1962, el Dr. Carl Adam Petri introdujo el tema de las Redes Petri; las cuales fueron definidas como una herramienta amigable que permite representar y analizar sistemas discretos. Las redes Petri, tal como se muestra en la *Tabla 1*; son representadas a partir de 4 elementos:





Plazas	
Transiciones	
Arcos	
Tokens	

Tabla 1: Elementos de una red Petri

Las plazas hacen referencia a un estado o lugar que es o será utilizado dentro del sistema, las transiciones son la conexión entre plazas; también son consideradas como las acciones o eventos que generan el cambio de estado. Los arcos indican el sentido del flujo dentro del sistema, permiten conectar las transiciones con las plazas; es decir que no es posible conectar una plaza con otra sin pasar primero por una transición. Por último, los tokens son marcas en el sistema que se ubican dentro de las plazas y hacen referencia a la materia prima, producto en proceso o producto final en el sistema.

En las redes Petri existen comportamientos que ocurren todo el tiempo, tal que es importante mencionarlos: sincronización (unión o suma), concurrencia (división), paralelismo (dos procesos ocurren simultáneamente) y recursos compartidos. Asimismo, existen diferentes enfoques que se le ha dado a las redes Petri, entre la más conocidas se encuentran: Redes Petri temporizadas, Redes Petri algebraicas, Redes Petri continuas e híbridas, Redes Petri difusas, entre otros. (CERVANTES CANALES, 2005). En *la ilustración 5*, se muestra un ejemplo básico de las redes de Petri.

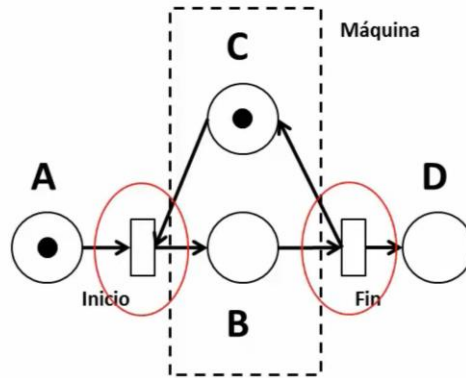


Ilustración 5: Ejemplo de red de Petri

REDES NEURONALES ARTIFICIALES

Una red neuronal artificial es un conjunto de neuronas conectadas entre sí, que están inspiradas en una red neuronal biológica. Las redes neuronales normalmente son usadas para análisis con información sensorial. Se caracterizan por brindar un procesado robusto ya que son de rápido aprendizaje y fácil adaptabilidad. Además, cuenta con un procesado no lineal y un procesado paralelo; estas características son importante porque incrementan la capacidad de la red para la aproximación de funciones, predicción de eventos y clasificación de patrones.

La parte más elemental en una red neuronal se le denomina nodo o unidad, cada nodo está relacionado con un input que tiene un peso asociado, este peso se ajusta a lo largo del proceso de aprendizaje (MARÍN, 2012). La *ilustración 6* muestra un ejemplo de una red neuronal con las entradas, las salidas y las capas que interactúan entre sí.

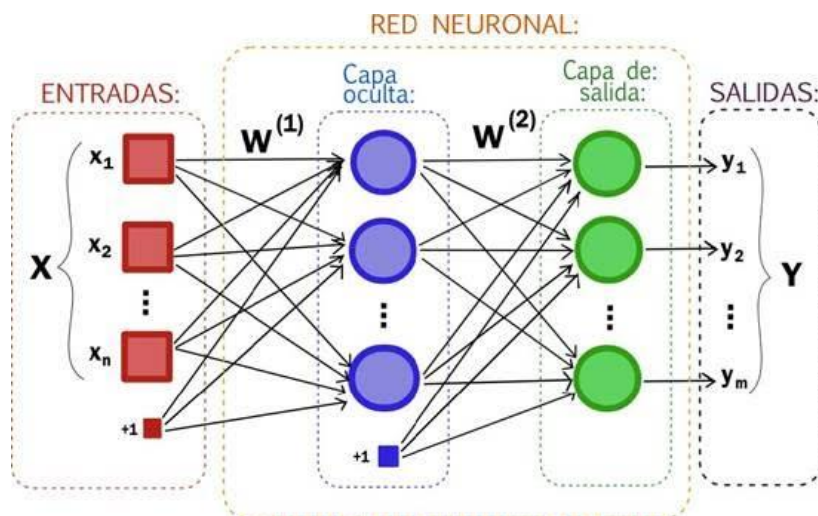


Ilustración 6: Ejemplo de red neuronal

Todo modelado con redes neuronales artificiales posee dos etapas:

La primera etapa es la de entrenamiento, la cual consiste en brindarle a la red neuronal una base de datos y a partir de esos datos, calcular los pesos o parámetros

que establecerán el modelo de red neuronal. El objetivo principal de esta fase es reducir el error resultante.

La siguiente etapa es la de prueba, tiene como objetivo evitar que la red neuronal pierda la habilidad de aprendizaje al ajustarse perfectamente a un modelo específico. Para evitar esto, se debe ingresar un segundo conjunto de datos (datos de validación) diferentes a los que se usó para el entrenamiento, esto permitirá que la red neuronal pueda resolver nuevos casos. (MARÍN, 2012)

En definitiva, las redes neuronales es un modelo que brinda mayor exactitud en sus resultados, siendo así más eficiente respecto a métodos convencionales como el método de regresión. Se destaca por brindar una excelente interpolación en sus resultados, pero tiene poca precisión cuando se realiza la extrapolación. Pese a las cualidades que tiene las redes neuronales, no ha recibido buena acogida por parte de la industria tecnológica e industrial.

LABVIEW

LabVIEW es un software de simulación para ingeniería que permite controlar, medir y tomar pruebas en tiempo real. El tipo de programación que ofrece es gráfico tal que se vuelve una interfaz amigable con el programador. Una vez creada la aplicación en LabVIEW, el operario podrá visualizar cada detalle de su aplicación y tendrá acceso a información como: configuraciones de hardware, datos de depuración y de medidas. (Corp, 2020)

CAPITULO II

METODOLOGIA

2.1 ANÁLISIS DE LA PROBLEMÁTICA

Actualmente en el Ecuador, el camarón es el producto que tiene mayor acogida en el extranjero seguido de cerca por el banano. Muchas de las industrias camaroneras ecuatorianas no cuentan con un sistema automatizado de supervisión en las piscinas tal que cuentan con dos principales inconvenientes:

1. **La alimentación** que se le brinda al camarón no depende de un sistema de medición donde se calcula la cantidad de comida que requiere, sino que se basa en los años de experiencia y el tanteo del operador. Esto representa un gran problema en la empresa porque el camarón no recibe la cantidad de comida que necesita, provocando que el crecimiento no sea el ideal y la especie se enferme. Además, representa un gasto económico para la empresa porque se desperdicia comida.

Lo que se busca al colocar un sistema de supervisión inteligente es incrementar los niveles de supervivencia de los camarones en las piscinas y generar un ahorro en costes.

A continuación, se muestra la *Tabla 2* donde detalla el porcentaje de comida que debe recibir el camarón de acuerdo con el peso que posee.

Peso Promedio por Camarón (g)	Tasa de Alimentación (% peso vivo por día)
2.0	5.50
3.0	4.65
4.0	4.22
5.0	3.90
6.0	3.60
7.0	3.27
8.0	3.00
9.0	2.85
10.0	2.75
11.0	2.63
12.0	2.55
13.0	2.50
14.0	2.41
15.0	2.30
16.0	2.25
17.0	2.19
18.0	2.10
19.0	2.00
20.0	1.95
21.0	1.88
22.0	1.80

Tabla 2: Alimentación por peso del camarón

La porción de alimento que se le da al camarón depende de la etapa de vida en la que se encuentra; cuando el camarón es joven se le suele alimentar con el 10% de su biomasa y una vez alcanzado la adultez, la porción de comida deberá haber disminuido a un 2% de su biomasa.

Por ejemplo: Si el peso promedio en un estanque con 100 camarones es de 15 g entonces la cantidad de comida a distribuir será 34,5 g de balanceado.

2. **La oxigenación del agua** de las piscinas es otro problema común que se presenta en las camaroneras, el método que emplean para determinar si la piscina requiere de oxígeno es esperar a que el camarón suba a la superficie de la piscina. Acto seguido, se realiza el proceso de oxigenación.

Una mala oxigenación en las piscinas ocasiona estrés y muerte de los organismos acuáticos.

Se presenta la *Tabla 3* con los niveles críticos de oxígeno para organismos acuáticos.

Nivel Crítico (mg/l)	Consecuencia
0 - 1.0	Letal
1.0 - 1.5	Letal con exposición prolongada
1.7 - 3.0	Pobre conversión del alimento, crecimiento lento, disminución de resistencia a enfermedades si exposición es continua.

Tabla 3: Nivel crítico de oxígeno para organismos acuáticos

En un medio acuático las fuentes de oxígeno son: fitoplancton y plantas acuáticas, el ingreso de agua o renovación de agua al estanque (oxígeno adicionado), oxígeno de la atmosfera y el oxígeno generado por agentes externos como aireadores mecánicos.

Por otro lado, el oxígeno se ve distribuido por los organismos acuáticos de la siguiente forma: la respiración del sedimento requiere entre el 50% y 55% del oxígeno, el fitoplancton absorbe entre 40% y 45% del oxígeno del estanque y tan solo el 5% es tomado por la especie cultivada o insertada en el ambiente acuático (el camarón)

2.2 SENSORES Y ACTUADORES

OXIGENÓMETRO

Considerando el escenario planteado anteriormente, es importante conocer dos variables para el desarrollo de la aplicación. En primer lugar, se debe definir el nivel oxigenación dentro de la piscina y luego, se debe de calcular un peso aproximado de los camarones.

El nivel de oxígeno disuelto en las piscinas de crianza de camarón es determinado a partir de un oxigenómetro llamado COD200 Controller (*Ver ilustración 7*), esta nueva tecnología de HACH utiliza óptica y le da apertura a la medición de temperatura, oxígeno saturado y oxígeno disuelto del agua en un mismo dispositivo portátil. Además, se cuenta con dos salidas analógicas de 4-20 mA y un puerto RS485 Modbus. El oxigenómetro es un método preciso y robusto que usualmente es implementado en aplicaciones con aguas residuales o de estanques, piscicultura y fermentación de vinos.



Ilustración 7: Oxigenómetro COD200 Controller

Es importante tener en cuenta que no es un dato relevante la edad en la que se encuentren los camarones para determinar el número de veces que debe ser oxigenada la piscina dado que el sensor llevará el control en tiempo real del nivel de oxígeno para la activación o no del sistema de oxigenación de la piscina.

AIREADORES

Una vez determinado el nivel de oxigenación de las piscinas, el sensor enviará la señal para la activación o desactivación del sistema de aireadores. El tipo de aireador a implementar es un sistema con paletas, es un método convencional pero altamente eficiente y práctico. Ver *ilustración 8*.



Ilustración 8: Sistema de oxigenación de agua con paletas

MÉTODO PARA DETERMINAR PESO DE CAMARÓN

Por otro lado, para determinar la ración alimenticia se debe considerar el peso de los camarones; para lo cual se realiza lo siguiente:

1. Tomar muestras aleatorias de camarones en diferentes partes de la piscina de crianza. No todos los camarones crecen de la misma forma aun estando dentro de un mismo ambiente. A partir de ahí, se saca un peso promedio de los camarones que se encuentran en la piscina. Se debe realizar este proceso en cada una de las piscinas de crianza.
2. Para la toma de muestras en las piscinas de crianza, se emplea un instrumento llamado 'atarralla', el cual es similar a una malla de pescar. Se debe de capturar al menos 30 camarones donde se descartarán los camarones enfermos y los camarones muertos. Luego, se los coloca en la balanza y se saca un peso promedio aproximado.
3. Además, se debe llevar un control de los días de vida (edad) que tienen los camarones y tomar como referencia una tabla que relaciona peso-edad del camarón. A continuación, se adjunta *Tabla 4*.

Edad (semanas)	Peso Vivo (g)	% Supervivencia
1	0.10	100
2	0.12	90
3	0.25	85
4	0.50	83
5	1.20	80
6	2.10	78.5
7	3.02	77
8	3.93	75.6
9	4.83	74.2
10	5.75	72.7
11	6.65	71.3
12	7.56	69.8
13	8.47	68.3
14	9.38	66.9
15	10.28	65.4
16	11.20	64.0
17	12.10	62.5
18	13.00	61.0
19	13.92	59.6
20	14.83	58.1
21	15.73	56.7
22	16.64	55.2
23	17.55	53.8
24	18.46	52.3

Tabla 4: Relación peso - edad del camarón

El objetivo principal de brindarle una adecuada alimentación al camarón es incrementar el nivel de sobrevivencia y obtener el tamaño del camarón adecuado para su futura cosecha. Dado que se encuentra en un ambiente controlado en comparación con un ambiente natural donde la calidad de agua, el nivel de oxígeno y nutrición no es monitoreada, se estima un crecimiento óptimo del camarón en las piscinas de crianza.

ARQUITECTURA DE CONTROL

Se muestra en la *ilustración 9*, un diagrama de conexiones del sistema de supervisión inteligente donde el software LabVIEW y TIA PORTAL estarán comunicados mediante el servidor OPC permitiendo el intercambio de información entre cliente y servidor.

Asimismo, el PLC con la PC estarán comunicados mediante el protocolo de comunicación Ethernet/IP.

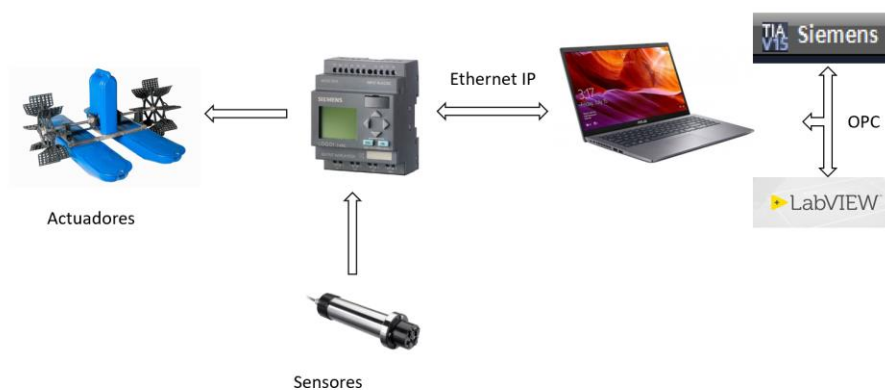


Ilustración 9: Diagrama de conexiones de dispositivos de entradas y salidas

2.3 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN INTELIGENTE A IMPLEMENTAR

En este trabajo se escogió como método para la supervisión inteligente a la lógica borrosa o difusa en el que se realizará un análisis profundo y didáctico a partir de una problemática en la industria. Se escogió esta metodología dado que el control alimenticio depende de las variables del peso y edad del camarón; y estas no pueden ser medidas sino estimadas.

El proceso de supervisión cuenta con sistemas inteligentes que cumplen con tareas tales como: diagnosticar fallos, toma de decisiones, predicción, planificación, entre otros. Para llevar a cabo estas tareas, el sistema posee un grado de razonamiento o inferencia y una fuente de conocimiento al que acudirá cuando recibe como entrada un hecho.

El sistema de lógica borrosa funciona tal que, se tiene una entrada numérica que al pasar por la etapa de fuzzyficación se la relaciona con cada función que representa a un conjunto borroso, se muestra un ejemplo en la *ilustración 10*:

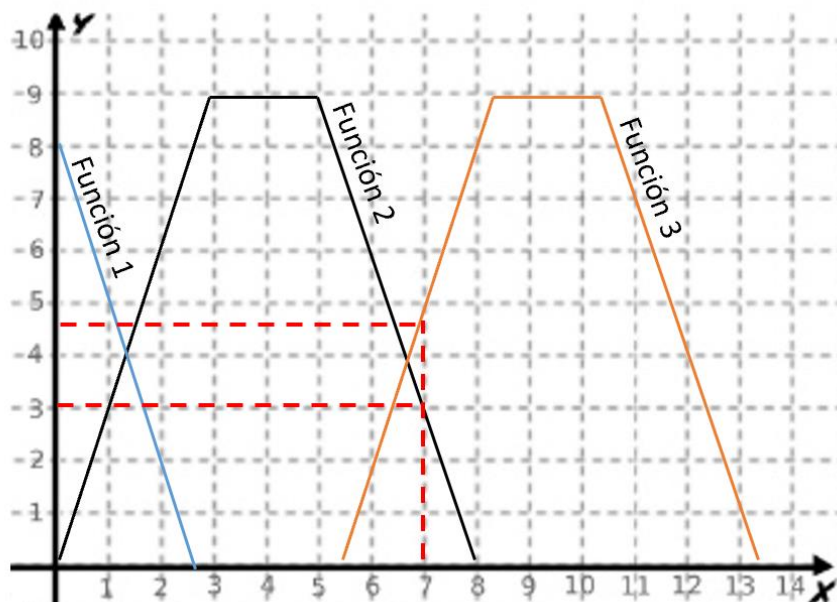


Ilustración 10: Procedimiento de fuzzyficación de una variable

Se observa que cuando x toma el valor de 7, existen diferentes posibles valores que puede tomar Y de acuerdo con la función que se desea analizar:

$$Y_1(x=7) = 0\% \text{ de probabilidad}$$

$$Y_2(x=7) = 30\% \text{ de probabilidad}$$

$Y_3 (x=7) = 47\%$ de probabilidad

Luego, el motor de inferencias relaciona la entrada recibida con las reglas difusas y dará un resultado. Finalmente, se pasa por la etapa de defuzzyficación tal que el resultado se convierte en un valor numérico que puede ser utilizado.

El método que se utilizará en este trabajo para la defuzzyficación será por **centro de área**, el cual consiste en dar un número real que es igual a la suma de centros de gravedad de cada conjunto borroso de salida que posee un grado de pertenencia en ese determinado punto que es analizado. La *ilustración 11* muestra un esquema del sistema inteligente basado en lógica borrosa.

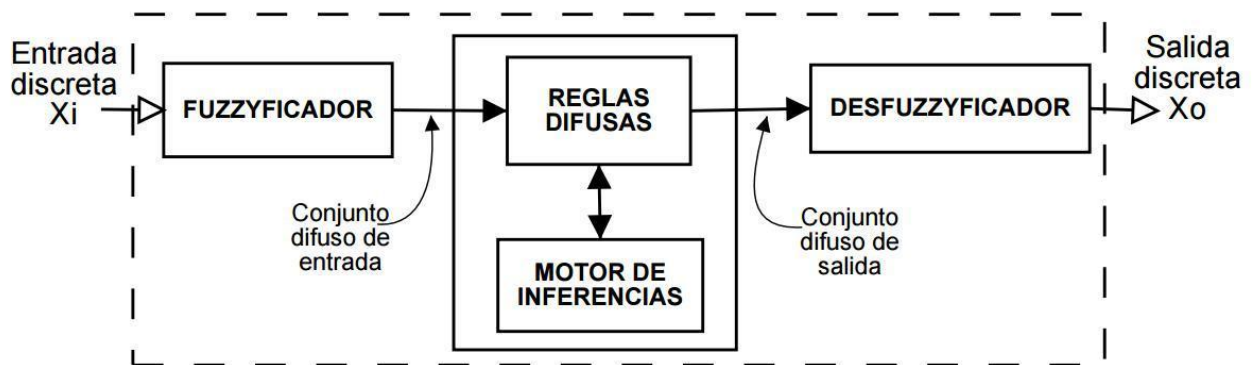


Ilustración 11: Esquema de sistema inteligente basado en lógica borrosa

La supervisión inteligente con lógica borrosa se diferencia de los demás sistemas de supervisión inteligente ya que utiliza variables de tipo cualitativo o etiquetas lingüísticas para la definición de un conjunto.

2.4 INTERFAZ AMIGABLE EN LABVIEW

En este trabajo, para simular el proceso de supervisión inteligente aplicando lógica borrosa; se acudió al software LabVIEW el cual cuenta con una plataforma didáctica llamada 'Fuzzy System Designer'.

Esta plataforma presenta tres pestañas de configuraciones: En la primera parte se establecen los conjuntos borrosos, entradas y salidas con etiquetas lingüísticas y sus respectivas curvas. En la segunda ventana, se crean las diferentes reglas difusas en las que se debe activar una determinada salida de acuerdo con la entrada recibida y finalmente, la última ventana consiste en la simulación en tiempo real con curvas resultantes.

DEFINICIÓN DE VARIABLES DE ENTRADA Y SALIDA

Los sistemas con lógica borrosa deben establecer ciertos parámetros para definir los conjuntos, empezando por el dominio del conjunto. Luego, las variables a emplear con su respectivo dominio o rango, la unidad de medida y las diferentes etiquetas lingüísticas a utilizar.

Identificada la problemática, se procede a definir los conjuntos borrosos:

Se establece la etiqueta lingüística 'PESO DEL CAMARON' a las 3 funciones trapezoidales para diferenciar 3 etapas: niñez, juventud y adultez del camarón siendo los rangos de pesos: 2g - 8g, 6g – 16g y 14g – 22g respectivamente. *Ver ilustración 12.*

Se emplean funciones trapezoidales en lugar de funciones triangulares dado al rango de pertenencia en el que se puede definir un periodo de 'niñez', 'juventud' o 'adultez'. Es decir, hay un rango de peso en el que se da lugar a esa etapa, no es únicamente un solo valor, sino que se trata de un rango.

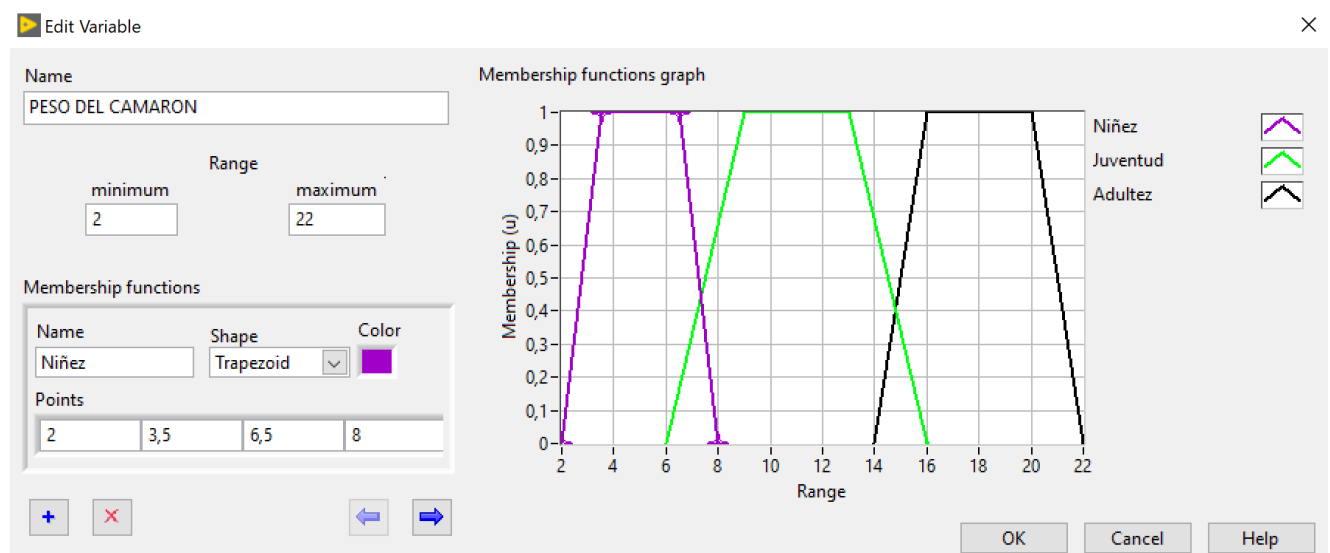


Ilustración 12: Curvas de la etiqueta lingüística 'PESO DE CAMARÓN'

Se establece la etiqueta lingüística 'NIVEL DE OXIGENO' a las 3 funciones trapezoidales para diferenciar 3 niveles: bajo, medio y alto siendo los rangos: 0 mg/l – 4 mg/l, 3 mg/l – 10 mg/l y 8 mg/l – 14 mg/l respectivamente. *Ver ilustración 13.*

Se emplean funciones trapezoidales en lugar de funciones triangulares dado al rango de pertenencia en el que se puede definir el nivel de oxígeno. Es decir, hay un rango de oxígeno en el que se considera crítico para el camarón, no se trata de un único valor, sino que se trata de un rango. *Ver ilustración 13.*

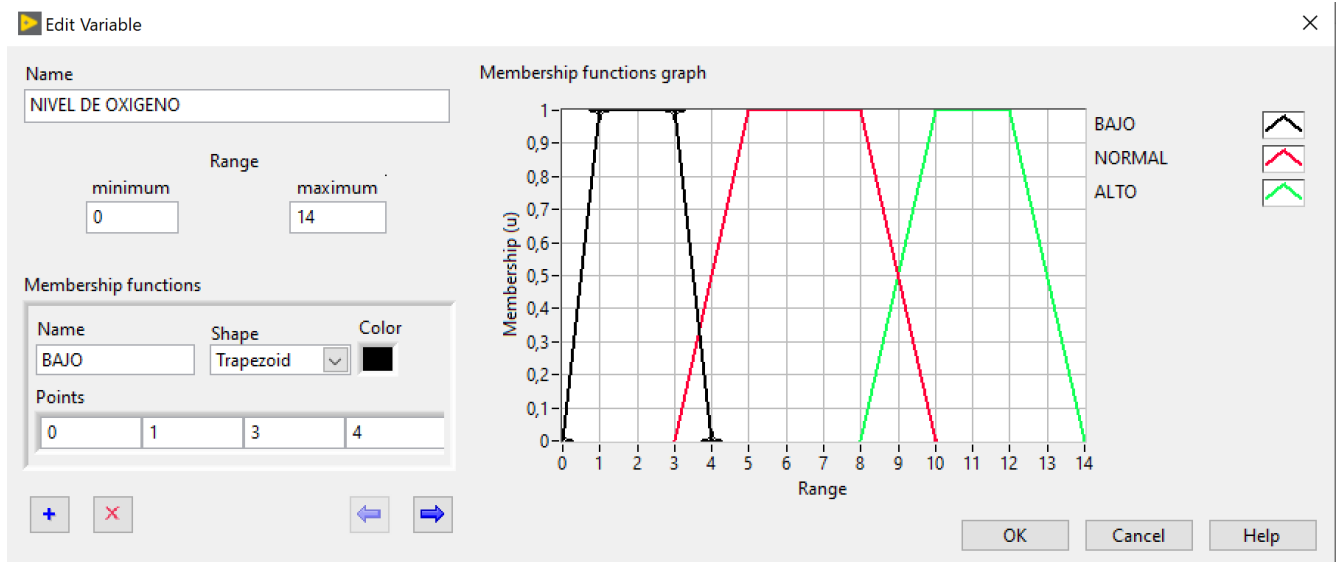


Ilustración 13: Curvas de la etiqueta lingüística 'NIVEL DE OXIGENO'

La *Tabla 5* muestra los rangos y el número de funciones de pertenencia que posee cada conjunto de entrada.

Input variables

Name	Range	Number of membership functions
PESO CAMARON	2 -> 22	3
NIVEL DE OXIGENO	0 -> 14	3

Tabla 5: Rangos y funciones de los conjuntos borrosos de entrada

Una vez establecido las variables de entradas con sus respectivos conjuntos borrosos, se procede a definir las variables de salida:

Se establece la etiqueta lingüística 'RACIÓN ALIMENTICIA' a las 3 funciones gaussianas para diferenciar 3 diferentes medidas que se le dará al camarón de acuerdo con la edad de este: medida 1, medida 2, medida 3 siendo los rangos: 2.75% - 5.5 %, 2.25% - 3% y 1.8% - 2.25% de la biomasa del camarón, respectivamente. Ver *ilustración 14*.

Se emplean funciones gaussianas para representar las variables de salida dado que una campana de gauss presenta una mejor distribución de datos. Es importante tener en cuenta que, en la parte más alta de la campana de gauss, se encuentra el valor de la media, la moda y la mediana del conjunto borroso.

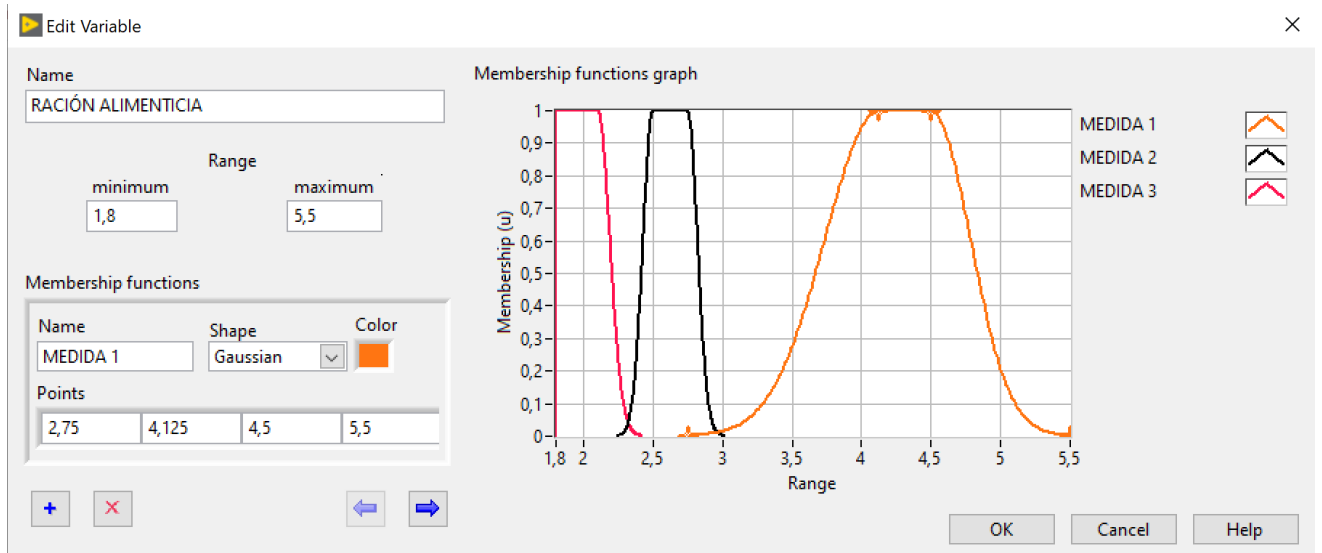


Ilustración 14: Curvas de variable de salida 'RACIÓN ALIMENTICIA'

Se establece la etiqueta lingüística 'AIREADORES' a las funciones: 50% (función gaussiana), 0% (función singleton) y 100% (función gaussiana). Estas funciones hacen referencia al porcentaje en el que trabajarán los aireadores mecánicos de acuerdo con el nivel de oxígeno dentro de la piscina. Ver ilustración 15.

Se emplean funciones gaussianas para representar las variables de salida dado que una campana de gauss presenta una mejor distribución de datos. Es importante tener en cuenta que, en la parte más alta de la campana de gauss, se encuentra el valor de la media, la moda y la mediana del conjunto borroso.

Además, se emplea una función singleton o también conocido como singularidad difusa que es utilizada cuando un único elemento pertenece a un conjunto borroso. En este ejemplo, el único valor que pertenece al conjunto 0% es el número 0.

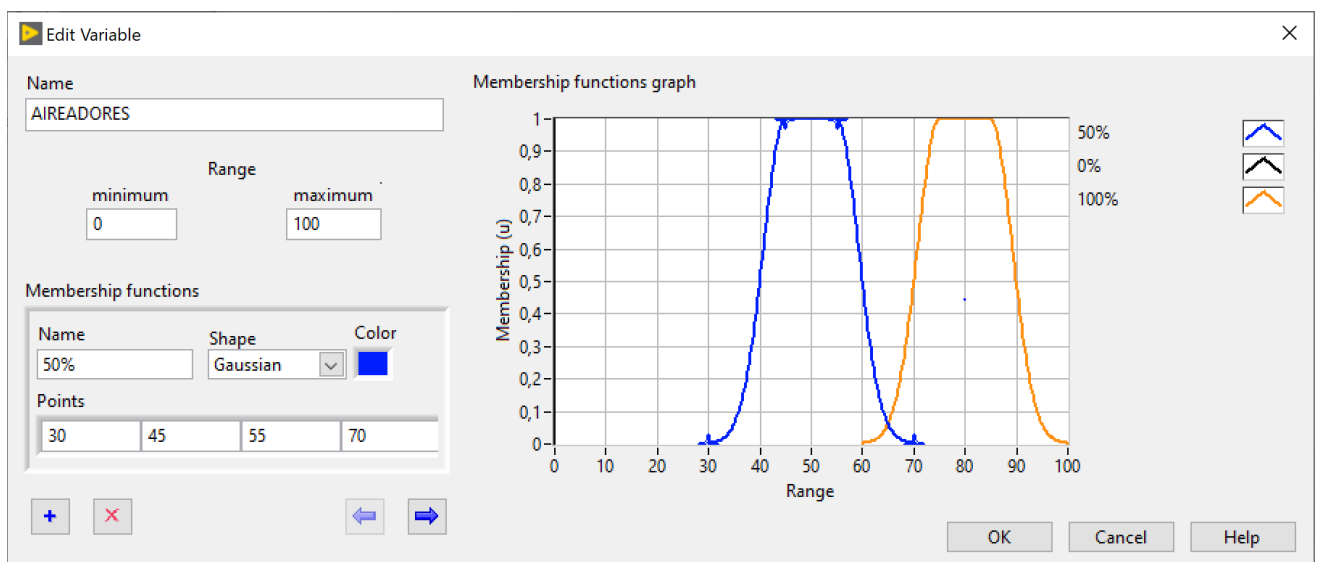


Ilustración 15: Curvas de variable de salida 'AIREADORES'

La *Tabla 6* muestra los rangos y el número de funciones de pertenencia que posee cada conjunto de entrada.

Output variables

Name	Range	Number of membership functions
RACIÓN ALIMENTICIA	1,8 -> 5,5	3
AIREADORES	0 -> 100	3

Tabla 6: Rangos y funciones de conjuntos borrosos de salida

DEFINICIÓN DE LAS REGLAS DIFUSAS

Luego de establecer las variables de entrada y salida con sus respectivas etiquetas lingüísticas y dominios; se procede a definir las reglas difusas. Las reglas difusas o borrosas involucran a un conjunto difuso de entrada llamado premisa con un conjunto difuso llamado consecuente donde se realizan afirmaciones del tipo SI-ENTONCES. Las reglas borrosas son las encargadas de recibir un valor de entrada y a partir del mismo, determinará qué salida es la más adecuada para ser activada.

Existe casos donde una entrada satisface a más de una regla de correspondencia o regla difusa; para esos casos, el valor que se tomará en cuenta será aquel que tenga mayor grado de pertenencia referente a los conjuntos borrosos de salida.

Se cuenta con 9 reglas de correspondía las cuales han sido clasificadas de la siguiente forma:

Se observa que cuando el peso de camarón hace referencia a la etapa de la niñez, la ración alimenticia a suministrar es la 'Medida 1' y de acuerdo con el nivel de oxígeno censado, los aireadores trabajaran al 100%, 50% o al 0% de su potencia. Ver *ilustración 16*.

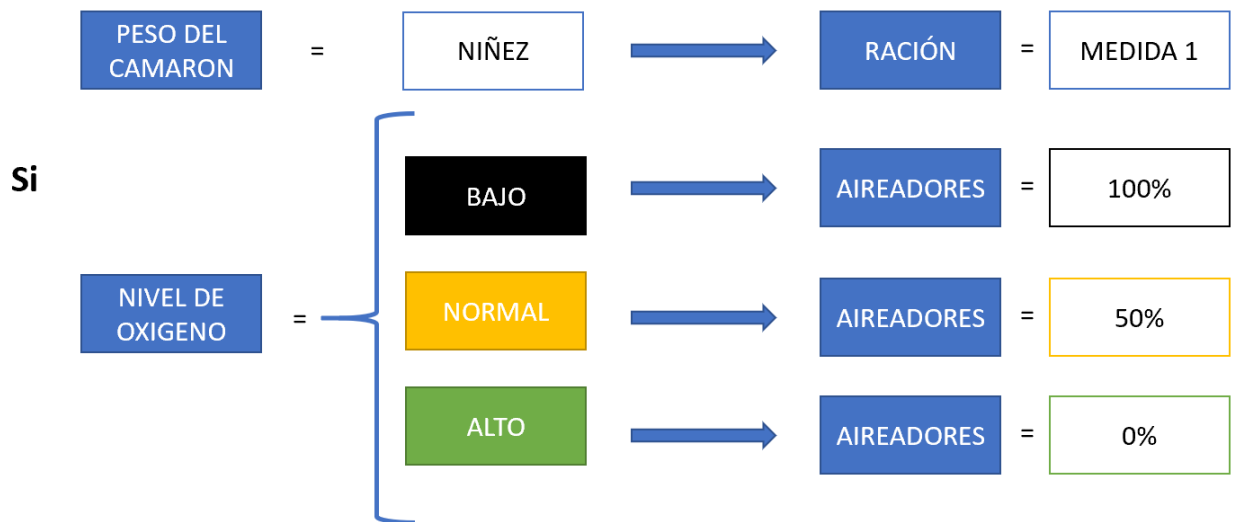


Ilustración 16: Diagrama esquemático cuando el camarón está en la etapa de niñez

Se observa que cuando el peso de camarón hace referencia a la etapa de la juventud, la ración alimenticia a suministrar es la 'Medida 2' y de acuerdo con el nivel de oxígeno censado, los aireadores trabajarán al 100%, 50% o al 0% de su potencia. Ver ilustración 17.

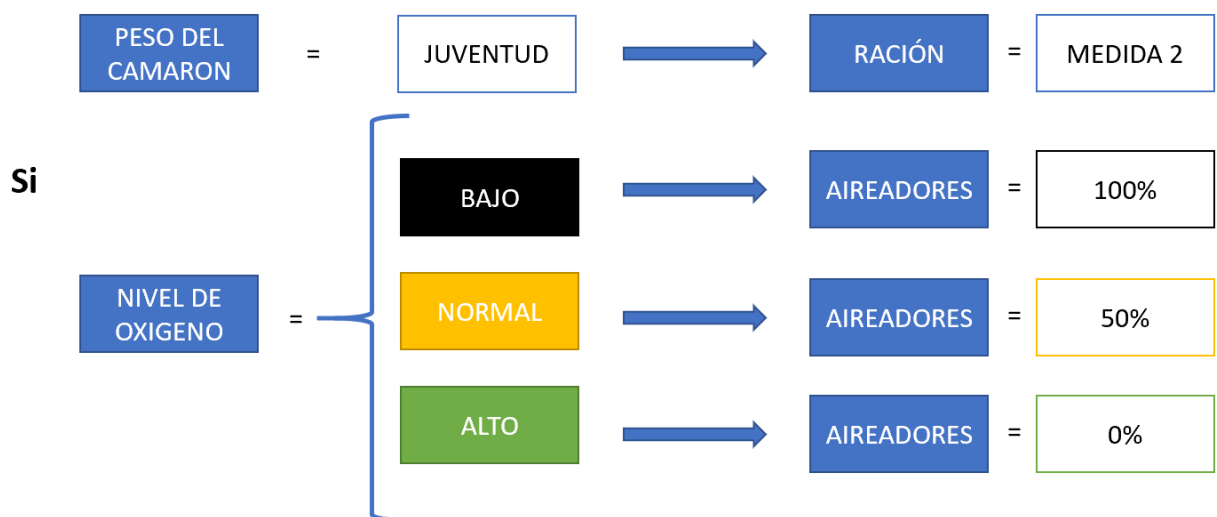


Ilustración 17: Diagrama esquemático cuando el camarón está en la etapa de juventud

Se observa que cuando el peso de camarón hace referencia a la etapa de la adultez, la ración alimenticia a suministrar es la 'Medida 3' y de acuerdo con el nivel de oxígeno censado, los aireadores trabajarán al 100%, 50% o al 0% de su potencia. Ver *ilustración 18*.

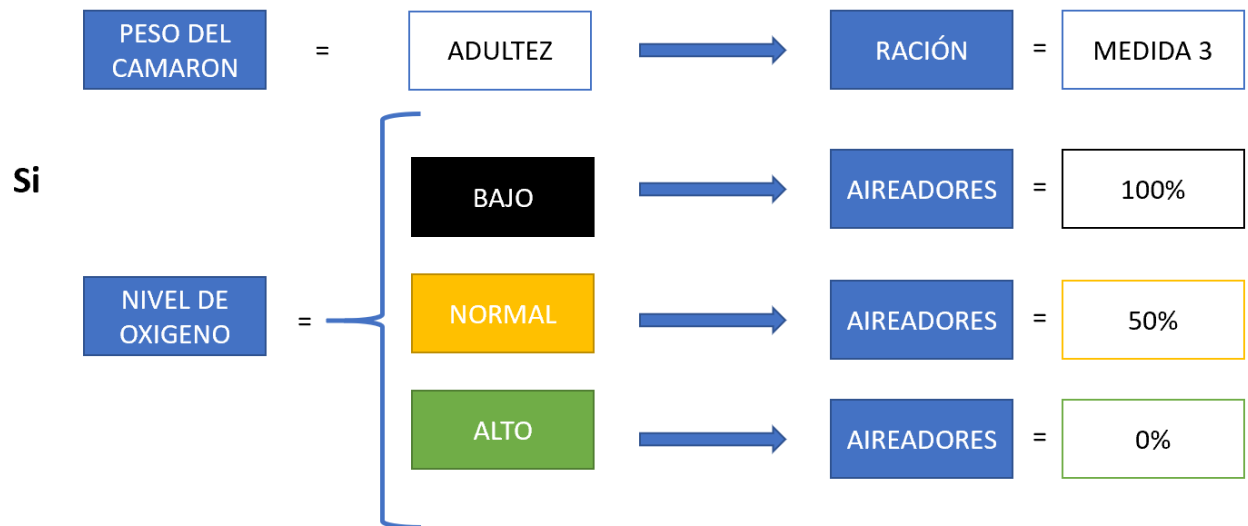


Ilustración 18: Diagrama esquemático cuando el camarón está en la etapa de adultez

CAPITULO III

ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se realiza un análisis de los resultados obtenidos en las simulaciones en el software de desarrollo LabVIEW; donde se somete el sistema de supervisión inteligente con lógica borrosa a perturbaciones con el objetivo de probar la robustez de este. Además, se presenta la interfaz amigable terminada para el manejo del operario.

3.1 EVALUACIÓN DEL SUPERVISOR EXPERTO

Se presenta los resultados obtenidos al evaluar en varios escenarios el sistema de supervisión inteligente implementado en la plataforma Fuzzy System Designer, el mismo que cuenta con dos entradas y dos salidas y de acuerdo con el valor recibido en la entrada, se ingresa a una regla determinada que activará las salidas correspondientes.

Escenario 1, el peso aproximado de cada camarón en la piscina de crianza es de 2g y el nivel de oxígeno censado es de 7mg/l tal que el camarón se encuentra en la etapa de niñez y el porcentaje de biomasa del camarón que debe ser considerado para la ración alimenticia por camarón es 4,23% (Medida 1). Por otro lado, el nivel de oxígeno es normal entonces los aireadores trabajarán a un 50% de su potencia. *Ver ilustración 19.*

Es importante considerar que la ración alimenticia a distribuir a los camarones en la piscina es la multiplicación del **peso del camarón*4,23%*N**, donde N representa el número de camarones dentro de la piscina de crianza.

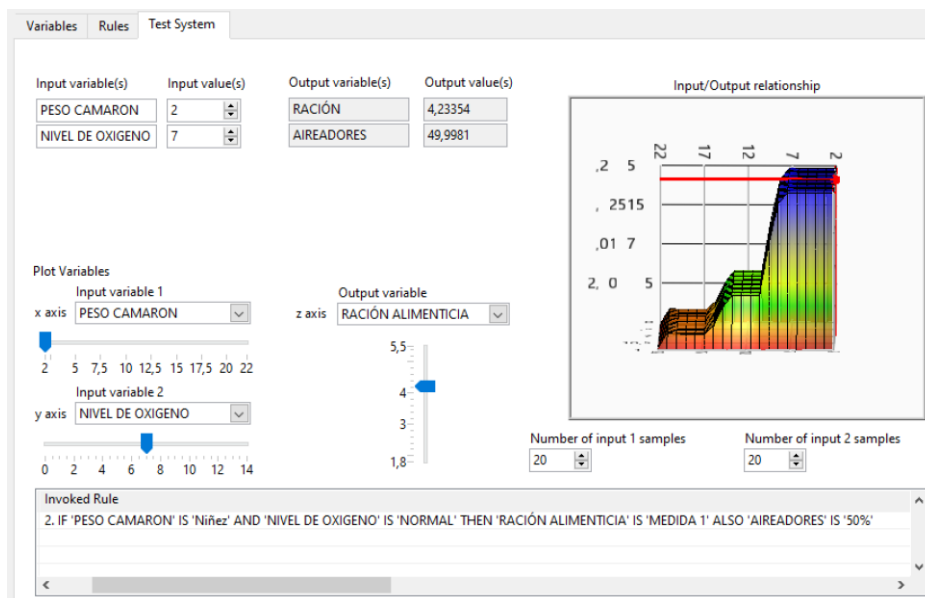


Ilustración 19: Simulación 1 en Fuzzy System Designer

Escenario 2, el peso aproximado de cada camarón en la piscina de crianza es de 10 g y el nivel de oxígeno censado es de 12 mg/l tal que el camarón se encuentra en la etapa de juventud y el porcentaje de biomasa del camarón que debe ser considerado para la ración alimenticia por camarón es 2,62% (Medida 2). Por otro lado, el nivel de oxígeno es alto entonces los aireadores trabajarán a un 0% de su potencia. Ver *ilustración 20*.

Es importante considerar que la ración a distribuir a los camarones es **peso del camarón*2,62%*N**, donde N representa el número de camarones dentro de la piscina de crianza.

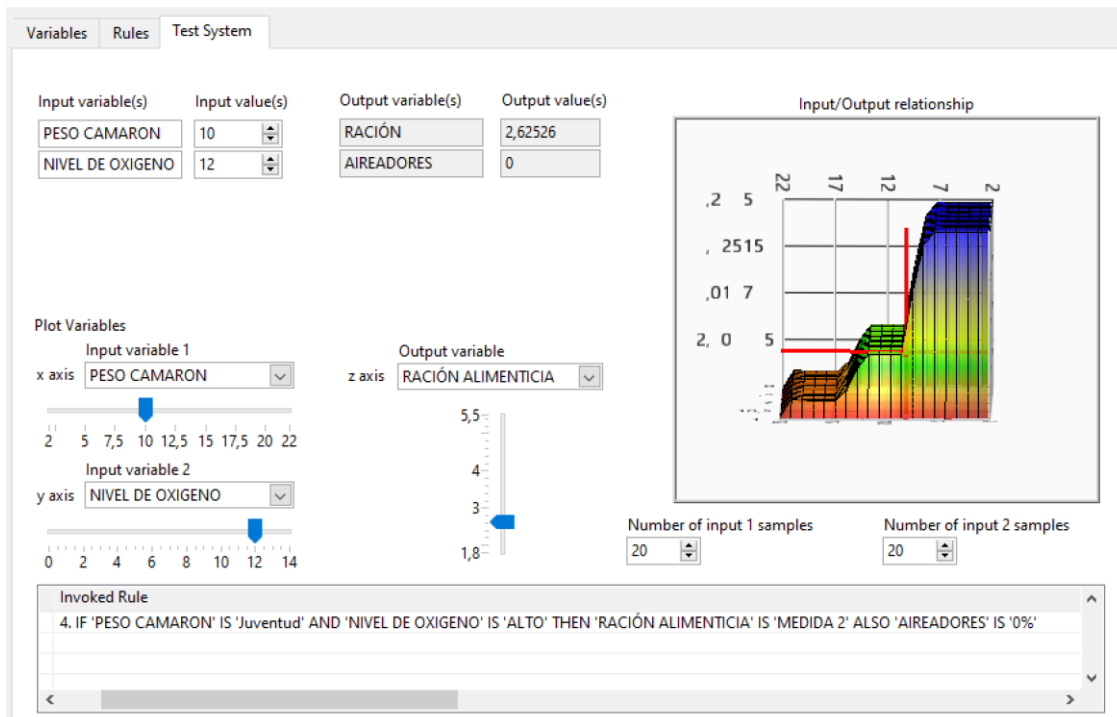


Ilustración 20: Simulación 2 en Fuzzy System Designer

Escenario 3, el peso aproximado de cada camarón en la piscina de crianza es de 18 g y el nivel de oxígeno censado es de 2 mg/l tal que el camarón se encuentra en la etapa de adultez y el porcentaje de biomasa del camarón que debe ser considerada para la ración alimenticia por camarón es 2,01% (Medida 2). Por otro lado, el nivel de oxígeno es bajo entonces los aireadores trabajarán a un 80% de su potencia. Ver *ilustración 21*.

Es importante considerar que la ración a distribuir a los camarones es **peso del camarón*2,01%*N**, donde N representa el número de camarones dentro de la piscina de crianza.

Además, puede surgir la incógnita del porqué los aireadores no alcanzan el 100% de su potencia a pesar de que el nivel de oxígeno es muy bajo. Esto ocurre por el método de defuzzyficación que se está implementando, el cual consiste en la suma de los centros de gravedad de todos los conjuntos que poseen un grado de pertenencia para el valor recibido a la entrada. Es decir, las salidas obtenidas representan un valor promedio.

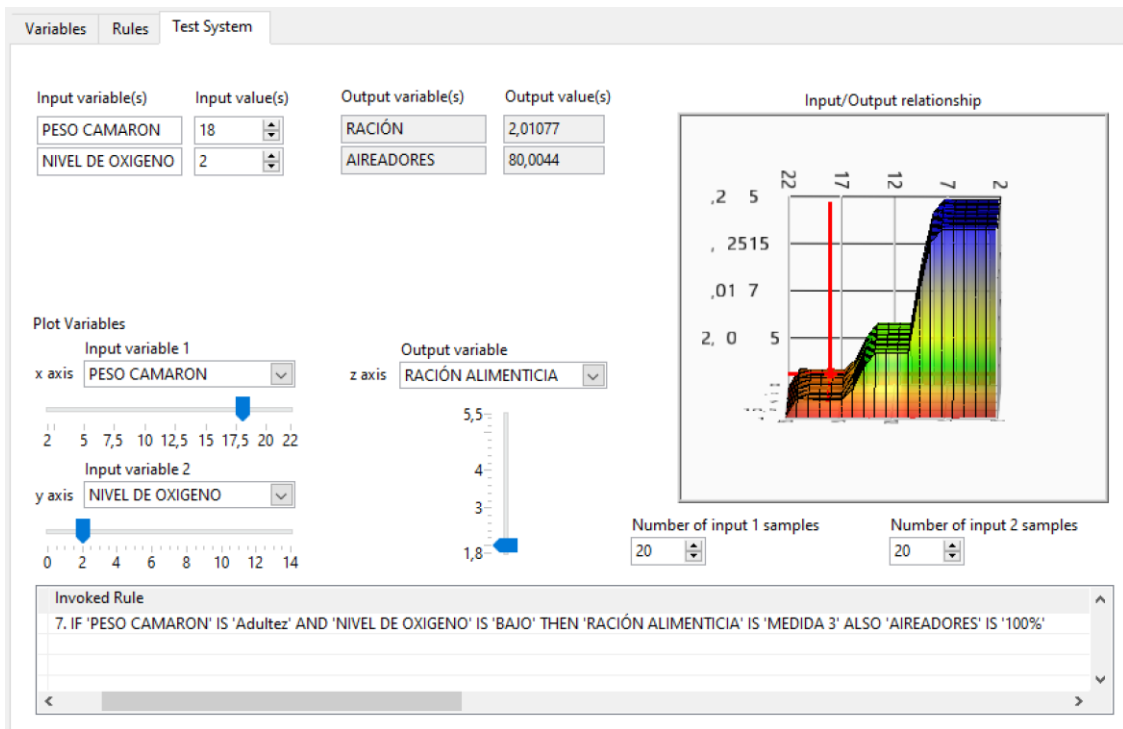


Ilustración 21: Simulación 3 en Fuzzy System Designer

3.2 INTERFAZ AMIGABLE CON EL USUARIO

Se presenta la interfaz amigable que será utilizada por el operario, donde se lleva el control en tiempo real del nivel de oxigenación y se tiene un valor final del gramaje alimenticio a distribuir en las piscinas de crianza. Ver ilustración 22.

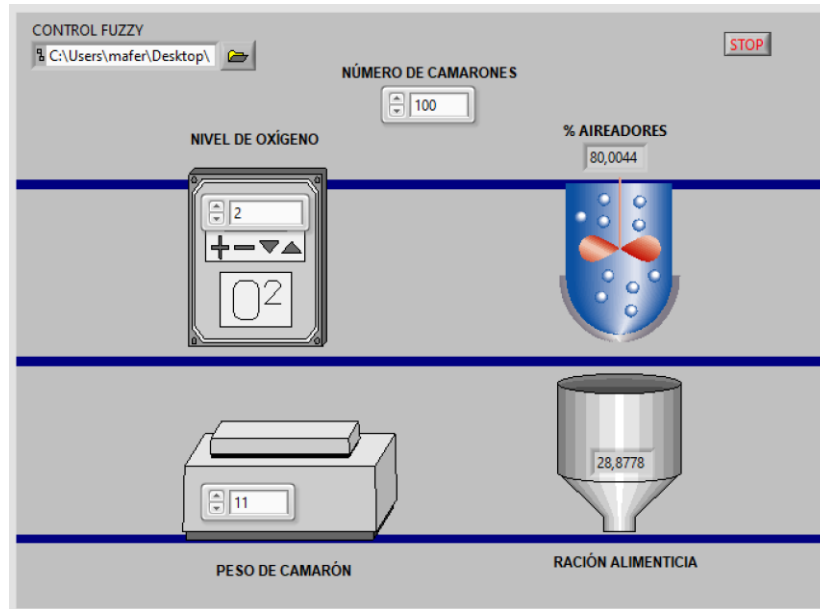


Ilustración 22: Interfaz amigable en software LabVIEW

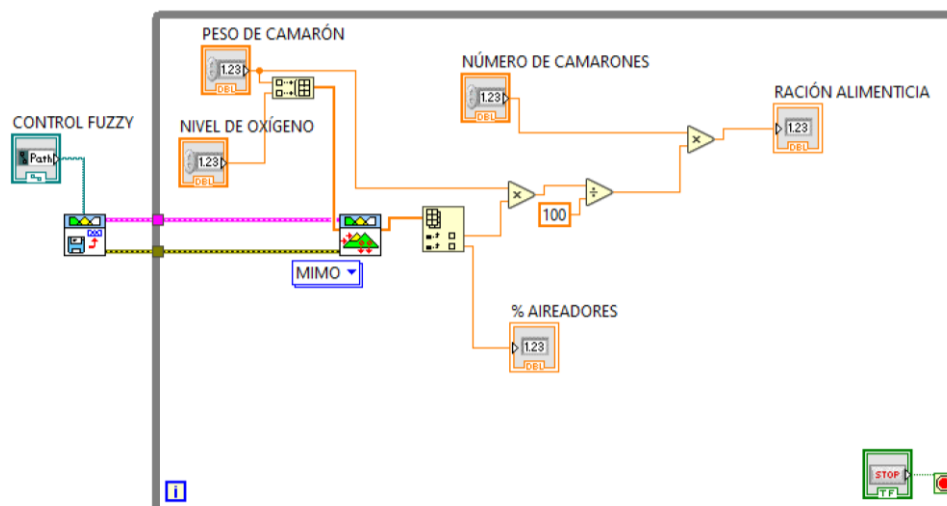


Ilustración 23: Diagrama de conexiones en LabVIEW

El sistema posee una estructura While con dos entradas: peso de camarón y nivel de oxígeno. Estas ingresan al sistema de lógica borrosa que es de tipo MIMO (multiple inputs and multiple outputs). El resultado es colocado en un arreglo donde la salida que está relacionada con la ración alimenticia es multiplicada por el número de camarones y el peso aproximado de los camarones presentes en la piscina de crianza. Ver ilustración 23.

3.3 SISTEMA DE LÓGICA BORROSA SOMETIDO A PERTURBACIONES

En la industria, las condiciones ideales no existen ya que siempre se presentan perturbaciones de diferente tipo que pondrá a prueba la robustez del modelo planteado. Dado esto, resulta importante someter a perturbaciones al diseño de lógica borrosa planteado en este trabajo y analizar el comportamiento del sistema. Se presentan 3 escenarios:

Escenario 1, se modeló la planta camaronera donde se inserta una perturbación de tipo de escalón como se muestra en la *ilustración 24*; dentro del lazo de control se encuentra la función de transferencia que permitirá darle estabilidad al sistema de lógica borrosa ante la perturbación presentada. Una entrada escalón puede representar muerte de los camarones en la piscina debido a una enfermedad fúngica o bacteriana.

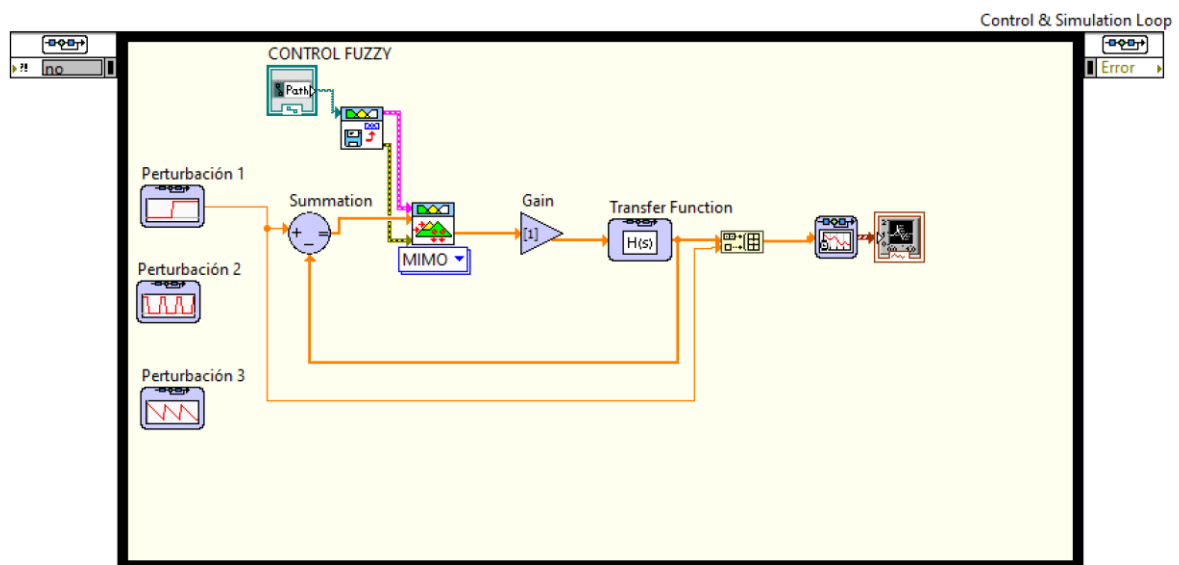


Ilustración 24: Diagrama de conexiones en LabVIEW con entrada escalón

Se observa que el sistema pasado un determinado tiempo logra estabilizarse en un mismo valor ante la presencia de una entrada de tipo escalón. Ver ilustración 25

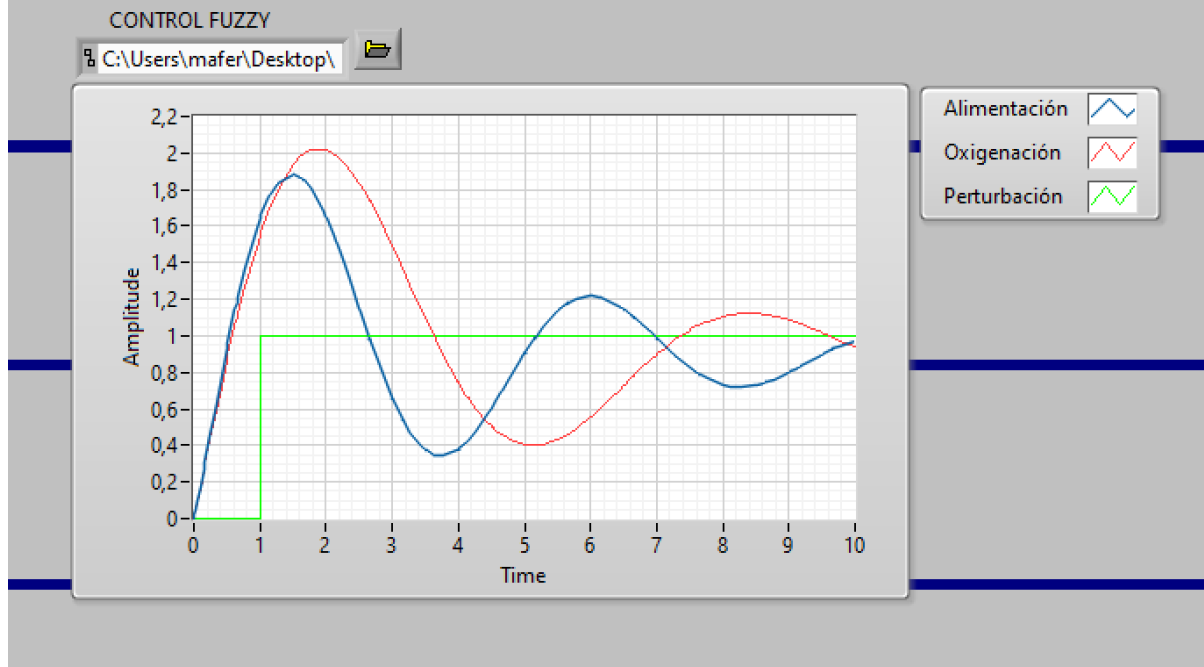


Ilustración 25: Graficas de salida ante una entrada escalón

Escenario 2, se modeló la planta camaronera donde se inserta una perturbación de tren de pulsos a baja frecuencia y un duty cycle de 50% como se muestra en la *ilustración 26*; dentro del lazo de control se encuentra la función de transferencia que permitirá darle estabilidad al sistema de lógica borrosa ante la perturbación presentada. Una entrada de tren de pulsos puede representar presencia de canibalismo en las piscinas o predadores externos.

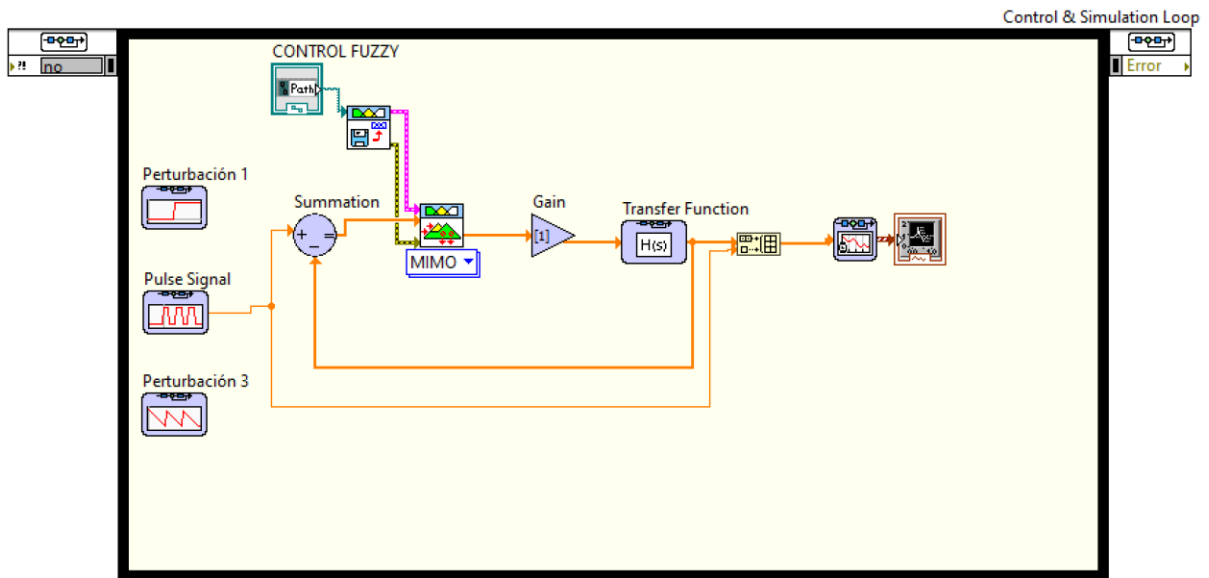


Ilustración 26: Diagrama de conexiones en LabVIEW con entrada de tren de pulsos

Se observa que el sistema pasado un determinado tiempo logra estabilizarse en un mismo valor ante la presencia de una entrada de tren de pulsos. Ver ilustración 27

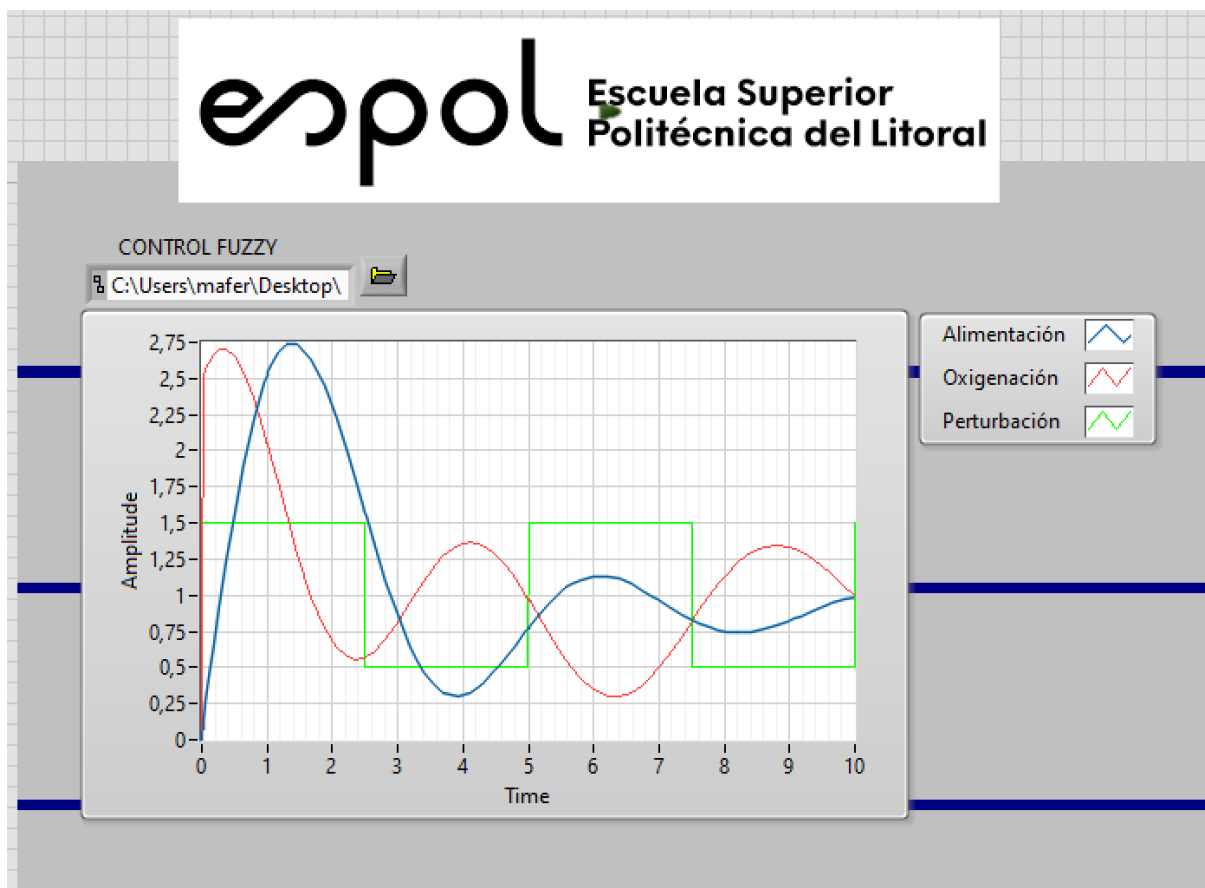


Ilustración 27: Graficas de salida ante una entrada de tren de pulsos

Escenario 3, se modeló la planta camaronera donde se inserta una perturbación de tipo rampa como se muestra en la *ilustración 28*; dentro del lazo de control se encuentra la función de transferencia que permitirá darle estabilidad al sistema de lógica borrosa ante la perturbación presentada. Una entrada rampa puede representar variación de temperatura o incremento de amoníaco en las piscinas.

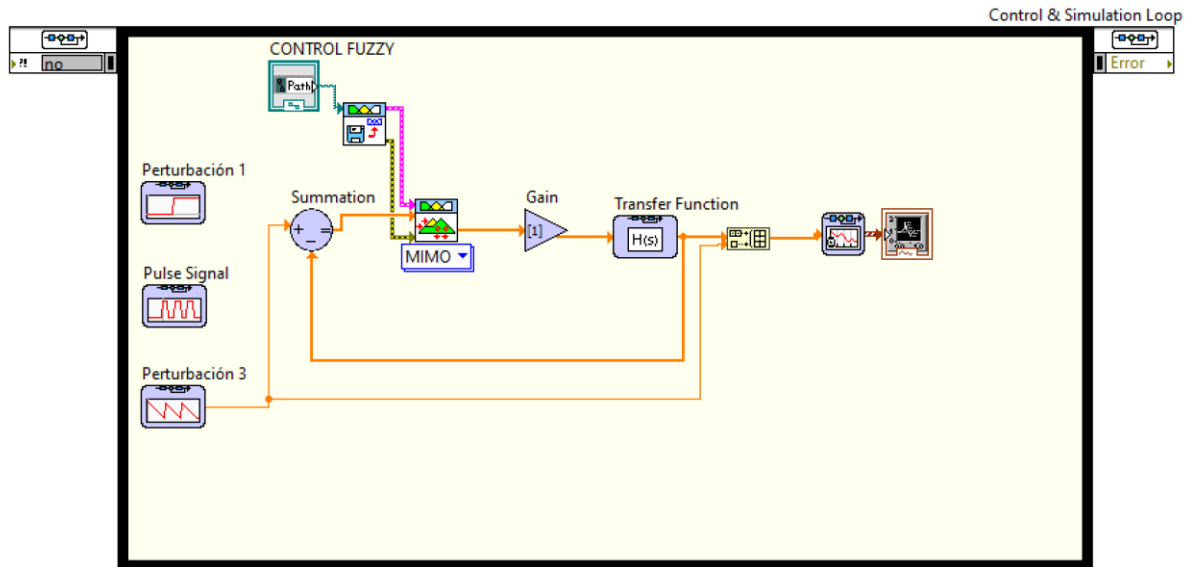


Ilustración 28: Diagrama de conexiones en LabVIEW con entrada rampa

Se observa que el sistema pasado un determinado tiempo logra estabilizarse en un mismo valor ante la presencia de una entrada rampa. Ver ilustración 29

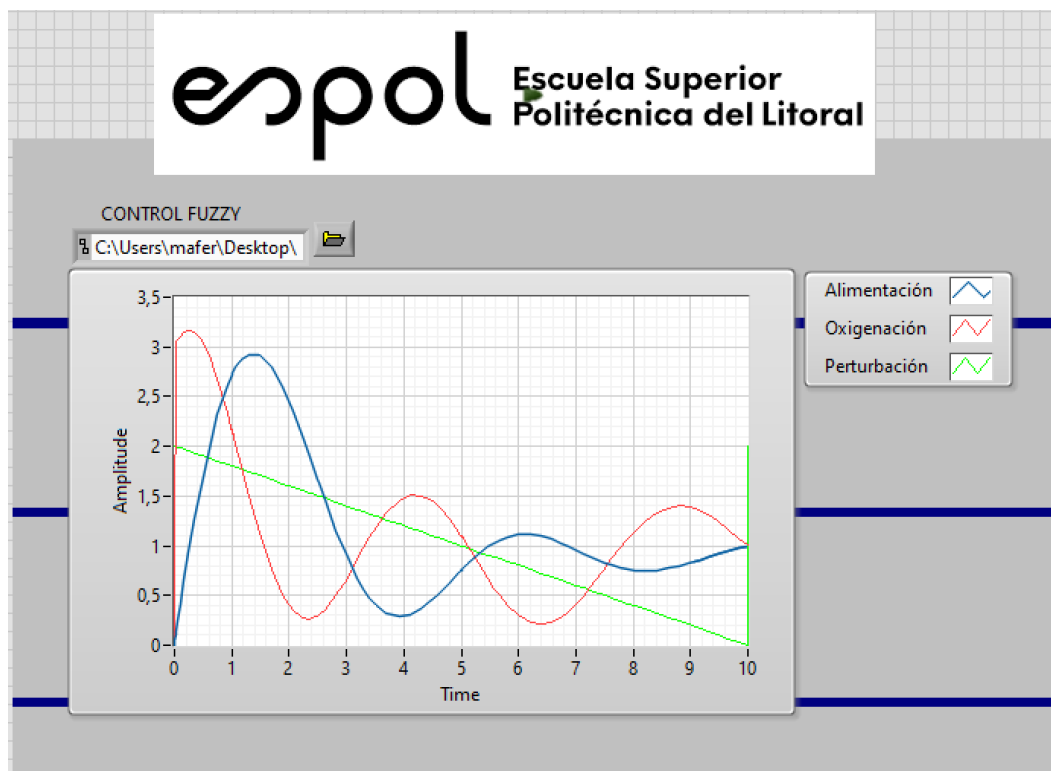


Ilustración 29: Graficas de salidas ante una entrada rampa

3.4 ANÁLISIS DE COSTOS

La *Tabla 7* presenta un presupuesto referencial para la instalación en una piscina de crianza para camarones. Es importante notar que se ha consultado el precio unitario de cada elemento ya que, dependiendo de la dimensión de la piscina, podría requerir de más medidores de oxígeno y aireadores. Respecto al dispensador automático de comida, se ha cotizado uno que es móvil tal que la comida será distribuida uniformemente a lo largo de la piscina.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD
CPU para PLC Allen Bradley Micro850 Relé, Ethernet, USB, 24 Puertos E/S	1	\$355
Aireadores PRO ZUMA MASTER- 4 paletas - ProQualia	1	\$840
Aireadores PRO ZUMA MASTER- 6 paletas - ProQualia	1	\$1064
Aireadores PRO ZUMA MASTER- 8 paletas - ProQualia	1	\$1120
Medidor de oxígeno disuelto en agua- BOQU Instrument	1	\$350
Dispensador automático móvil de comida para camarones	1	\$1500
Licencia del software LabVIEW	1	\$3,925

Tabla 7: Presupuesto para equipar una piscina de crianza para camarones

Se plantea el ejemplo de una camaronera que posee 10 piscinas con las siguientes dimensiones:

- 2 piscinas de 1.5 Ha
- 2 piscinas de 3 Ha
- 6 piscinas de 7 Ha

Se desea conocer la inversión inicial y el tiempo de recuperación de la inversión una vez implementado el sistema de supervisión inteligente basado en lógica borrosa.

La *Tabla 8* muestra la inversión inicial del proyecto a implementar, en el que se consideran aireadores de 8 paletas en cada piscina y el uso de sensores de oxígeno disuelto. Cada piscina esta monitoreada por un PLC diferente y posee dispensadores de comida móvil. Se ocupará una única licencia del software LabVIEW para el control remoto de la planta.

DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDAD	PRECIO TOTAL
CPU para PLC Allen Bradley Micro850 Relé, Ethernet, USB, 24 Puertos E/S	10	\$355	\$3,550
Aireadores PRO ZUMA MASTER- 8 paletas - ProQualia	36	\$1120	\$40,320
Medidor de oxígeno disuelto en agua- HACH	36	\$350	\$12,600
Dispensador automático móvil de comida para camarones	26	\$1500	\$39,000
Licencia del software LabVIEW	1	\$3,925	\$3,925
		TOTAL	\$99,395

Tabla 8: Inversión inicial para equipar 10 piscinas de crianza para camarones

Al implementar el sistema se busca incrementar la producción del camarón por metro cuadrado, usualmente una camaronera en sus primeros años es considerada de tipo 'Semi-extensiva' o 'extensiva' donde se siembran entre 17-25 camarones por metro cuadrado. Se desea escalar a una producción de tipo 'intensiva' tal que se siembre entre 40-50 camarones por metro cuadrado.

Considerando el caso de una siembra de 30 camarones por metro cuadrado y sabiendo que el precio promedio de una libra de camarón (37-40 camarones) es vendida en \$2,50; se presentan los siguientes datos:

Si las 10 piscinas cubren un área de 51 Ha (510 000 m^2) entonces se obtiene de ganancia un valor aproximado de \$956 250. El camarón tiene una etapa de crecimiento de 20 semanas (5 meses); es decir, al año se recoge un valor aproximado de \$ 1 912 500 por las 10 piscinas.

De acuerdo con los datos recopilados por el portal Ekos (Dueñas Novoa & Morillo Wellenius, s.f.), las camaroneras anualmente tienen una ganancia bruta del 10% de sus ingresos totales al año; tal que para el primer año se espera una ganancia bruta de \$191 250.

Se observa que la ganancia bruta supera la inversión inicial en el primer año, esto vuelve al proyecto en viable y atractivo para una inversión donde a partir del año número 1, se obtendrán únicamente ganancias.

CAPITULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

Se realizó un análisis de los tipos de supervisión inteligente más utilizados en la industria donde se destacan: Lógica Difusa, Redes de Petri, Sistemas Multiagentes y Redes neuronales; tal que se eligió a la lógica difusa como método de supervisión inteligente. Se escogió este modelo de supervisión basado en etiquetas lingüísticas debido al control alimenticio que se realizará, este depende del peso del camarón y esta es una variable que no puede ser medida sino estimada.

En este trabajo, se modeló un sistema de tipo MIMO basado en lógica difusa en el que se manipuló varias variables de entrada y salida con sistemas no lineales. Un controlador no lineal basado en lógica difusa posee la ventaja de brindar eficiencia y efectividad en un proceso experimental sin requerir de matemáticas y cálculos avanzados donde se obtuvo como resultado una buena aproximación a la respuesta esperada.

La etapa de desfuzzyficación del supervisor experto se ve evidenciado cuando el nivel de oxígeno presente en las piscinas es muy bajo y la potencia a la que se mueven los aireadores no es la máxima, sino que trabajan los aireadores a un 80%.

Se diseñó una interfaz amigable con el usuario tal que se lleva un control alimenticio de acuerdo con el peso y edad del camarón; y un control del nivel de oxígeno en las piscinas de crianza de camarones en tiempo real. Llevar el control en tiempo real de las variables permite generar eficiencia y precisión en el proceso de crianza de camarones tal que se alcance el tamaño y peso estimado para la cosecha.

Se sometió el controlador basado en lógica difusa a perturbaciones de diferentes tipos como: función escalón, tren de pulso y función rampa para corroborar la robustez del sistema. Se observó que el sistema oscila en un inicio ante las perturbaciones, pero eventualmente tiende a un único valor buscando su estabilización. Esto comprueba que el sistema de lógica difusa está bien estructurado.

4.2 RECOMENDACIONES

Usualmente para llevar el control en tiempo real de varias variables, se implementa un control PID; el cual cuenta con técnicas más difundidas que el control con lógica difusa. Es por esto que se recomienda realizar un control PID tal que se pueda contrastar ambos métodos y su eficiencia para la aplicación que se está implementando.

Para una futura mejora, se sugiere incrementar el número de variables a controlar como: temperatura, pH del agua, salinidad o turbidez tal que se consiga una mejor retroalimentación del entorno donde habita la especie. Para lo cual, se debe de incrementar el número de conjuntos borrosos de entrada con sus respectivas curvas.

BIBLIOGRAFÍA

- CERVANTES CANALES, J. (2005). *REPRESENTACIÓN Y APRENDIZAJE DE CONOCIMIENTO CON REDES DE PETRI DIFUSAS*. MEXICO.
- Corp, N. I. (2020). *NI*. Obtenido de <https://www.ni.com/es-cr/shop/labview.html>
- Dueñas Novoa, R., & Morillo Wellenius, M. (s.f.). *Ekos*. Obtenido de <https://www.ekosnegocios.com/>
- GONZALEZ, F., TORTAJADA, E., & MATA, M. (2007). *SISTEMA DE RIEGO INTELIGENTE BORROSO*. MADRID.
- HAO, Y. (2000). *FUZZY CONTROL AND MODELING: ANALYTICAL FOUNDATIONS AND APPLICATIONS*. IEEE PRESS SERIES ON BIOLOGICAL ENGINEERING.
- JANTZEN, J., & VERBRUGGEN, H. (s.f.). *FUZZY CONTROL IN THE PROCESS INDUSTRY: COMMON PRACTICE AND CHALLENGING PERSPECTIVES*.
- LEON, L., RIOS , A., HIDROBO, F., & AGUILAR, J. (s.f.). *PLATAFORMA PARA IMPLANTAR SISTEMAS DE SUPERVISION Y CONTROL BASADOS EN AGENTES INTELIGENTES*. MÉRIDA, VENEZUELA.
- MANRIQUE GAMO, D., & SUAREZ DE FIGUEROA BAONZA, M. (s.f.). *RAZONAMIENTO CON IMPRECISIÓN: LÓGICA BORROSA*. MADRID.
- MARÍN, J. M. (2012). *INTRODUCCIÓN A LAS REDES NEURONALES APLICADAS*. MADRID.
- MURCIA, G., & STRACK, J. L. (2016). *INTRODUCCION A LAS COMUNICACIONES INDUSTRIALES SCADA CON LABVIEW*.
- ROCKWELL AUTOMATION. (2015). *ETHERNET/IP DESCRIPCION GENERAL DEL SISTEMA*.
- ROMERO TERNERO, M. D. (2010). *SISTEMAS MULTIAGENTES (MAS)*. SEVILLA.
- Tamairon Perez, A. (2016). *SISTEMA OPC PARA AUTOMATIZACION MEDIANTE REDES DE ESTADO*. SEVILLA.

ANEXOS

FICHA TÉCNICA DEL OXIGENÓMETRO

COD 200 Controller - Sistema de Monitoreo y Control de Oxígeno Disuelto



- ✓ Ox Disuelto
- ✓ Ox Saturado
- ✓ Temperatura
- ✓ Alarmas
- ✓ Control

DESCRIPCIÓN

El COD200 Controller es un equipo de monitoreo y control de oxígeno disuelto, oxígeno saturado y temperatura, trabaja con la tecnología óptica de HACH esto permite reducir costos por mantenimiento, entrega confianza en la medición de las variables al no requerir calibración de usuario puesto que vienen calibradas desde laboratorios de fabrica HACH. Posee una pantalla industrial touch de 7 pulgadas para la visualización rápida de todos los parámetros en una sola vista. Incorpora de forma nativa 2 salidas analógicas 4-20 mA y 1 puerto de comunicacion RS485 Modbus, el cual permite enviar la informacion a un servidor de almacenamiento o "HISTORIAN" tambien provisto por IdealControl. Compatible con plataforma en la nube de registros IDEALCLOUD.



APLICACIONES

Sistema de monitoreo y control de oxigeno para pisciculturas.
Monitoreo y control de oxigeno Wellboat.
Compatible con: Modulo Historiador de IdealControl.
Plataforma IDEALCLOUD de IdealControl.

CARACTERÍSTICAS

- ✓ Mediciones confiables.
- ✓ Rango de medición 0 – 20 mgL / 0 – 200% Sat.
- ✓ Soporta 2 sensores.
- ✓ 2 Salida 4-20mA una por cada sensor.
- ✓ 1 Puerto de comunicacion RS485 Modbus.
- ✓ Activación o desactivación de sonda.
- ✓ Posee 2 salidas digitales normalmente abierta para activación de valvulas.
- ✓ Permite ingresar Histeresis y Set Point por sonda.
- ✓ Tablero de policarbonato 190*290*140mm IP65 con doble bisagra.
- ✓ Incluye soportes de fijación a muro.
- ✓ Alimentacion de 220 VAC.



www.aguasin.com

www.idealcontrol.cl

COTIZACIÓN DE AIREADORES



IMPORTACION Y DISTRIBUCION DE AIREADORES Y ALIMENTADORES PARA ACUACULTURA

Km 4.5 Vía Durán Tambo, C.C. Plaza Sai Baba Local 38, Durán, Ecuador

Tel: 5934-3123019 5939-94070618 e-mail: info@tecnoacua.com.ec www.tecnoacua.com.ec

AIREADORES ELECTRICOS DE 6 PALETAS DIVA YC-6P						
DESCRIPCION	CANTIDAD		PRECIO UNIT.		TOTAL:	
Especificaciones: 1 motor eléctrico de 3 hp trifásico de 440v 60hz 1 reductor de engranajes 1 cubierta plástica para motor 1 chasis de acero inoxidable grado 304 2 ejes de acero inoxidable macizos grado 304 4 bases porta eje de nylon con bocín y rodamiento 6 paletas de 67 cm una sola pieza con doble perno de ajuste 4 flotadores de plástico 2 juntas móviles cuadradas de caucho y acero inoxidable 1 funda de pernos de acero inoxidable grado 304	1	SET	USD	950,00	USD	950,00

SUBTOTAL: 950,00

IVA 12%: 114,00

TOTAL: 1.064,00

Forma de pago:

Cheque, depósito o transferencia bancaria Cta. Cte. No. 35043306 del Banco Bolivariano a nombre de KARASTE S.A.

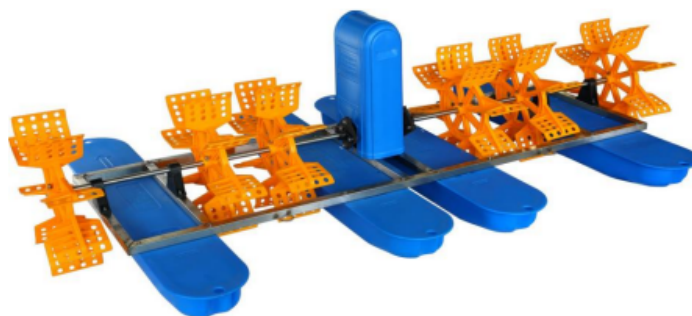
Garantía de Fábrica:

Aireadores eléctricos: 6 meses de garantía para el reductor y motor, 1 año de garantía para las paletas, flotadores, eje, chasis. La garantía no es aplicable para piezas desgastables como juntas de caucho móviles, bocines de caucho.

Nota:

Transporte de equipos y ensamble es aparte.

Muy atentamente,
Alexander Colka
Gerente





IMPORTACION Y DISTRIBUCION DE AIREADORES Y ALIMENTADORES PARA ACUACULTURA

Km 4.5 Vía Durán Tambo, C.C. Plaza Sai Baba Local 38, Durán, Ecuador

Tel: 5934-3123019 5939-94070618 e-mail: info@tecnoacua.com.ec www.tecnoacua.com.ec

AIREADORES ELECTRICOS DE 8 PALETAS DIVA YC-8P						
DESCRIPCION	CANTIDAD		PRECIO UNIT.		TOTAL:	
Especificaciones: 1 motor eléctrico de 3 hp trifásico de 440v 60hz 1 reductor de engranajes 1 cubierta plástica para motor 1 chasis de acero inoxidable grado 304 2 ejes de acero inoxidable macizos grado 304 4 bases porta eje de nylon con bocín y rodamiento 8 paletas de 67 cm una sola pieza con doble perno de ajuste 4 flotadores de plástico 2 juntas móviles cuadradas de caucho y acero inoxidable 1 funda de pernos de acero inoxidable grado 304	1	SET	USD	1.000,00	USD	1.000,00

SUBTOTAL: 1.000,00
IVA 12%: 120,00
TOTAL: 1.120,00

Forma de pago:

Cheque, depósito o transferencia bancaria Cta. Cte. No. 35043306 del Banco Bolivariano a nombre de KARASTE S.A.

Garantía de Fábrica:

Aireadores eléctricos: 6 meses de garantía para el reductor y motor, 1 año de garantía para las paletas, flotadores, eje, chasis. La garantía no es aplicable para piezas desgastables como juntas de caucho móviles, bocines de caucho.

Nota:

Transporte de equipos y ensamble es aparte.

Muy atentamente,
 Alexander Colka
 Gerente





IMPORTACION Y DISTRIBUCION DE AIREADORES Y ALIMENTADORES PARA ACUACULTURA
 Km 4.5 Vía Durán Tambo, C.C. Plaza Sai Baba Local 38, Durán, Ecuador
 Tel: 5934-3123019 5939-94070618 e-mail: info@tecnoacua.com.ec www.tecnoacua.com.ec

AIREADORES ELECTRICOS DE 4 PALETAS DIVA YC-1.5P						
DESCRIPCION	CANTIDAD		PRECIO UNIT.		TOTAL:	
Especificaciones: 1 motor eléctrico de 2 hp trifásico de 440v 60hz 1 reductor de engranajes 1 cubierta plástica para motor 1 chasis de acero inoxidable grado 304 2 ejes de acero inoxidable macizos grado 304 2 bases porta eje de nylon con bocín y rodamiento 4 paletas de 67 cm una sola pieza con doble perno de ajuste 3 flotadores de plástico 2 juntas móviles cuadradas de caucho y acero inoxidable 1 funda de pernos de acero inoxidable grado 304	1	SET	USD	750,00	USD	750,00

SUBTOTAL: 750,00
IVA 12%: 90,00
TOTAL: 840,00

Forma de pago:

Cheque, depósito o transferencia bancaria Cta. Cte. No. 35043306 del Banco Bolivariano a nombre de KARASTE S.A.

Garantía de Fábrica:

Aireadores eléctricos: 6 meses de garantía para el reductor y motor, 1 año de garantía para las paletas, flotadores, eje, chasis. La garantía no es aplicable para piezas desgastables como juntas de caucho móviles, bocines de caucho.

Nota:

Transporte de equipos y ensamble es aparte.

Muy atentamente,
 Alexander Colka
 Gerente

