

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO

Control del proceso de generación de Ozono Industrial mediante Controlador
Lógico Programable para uso Agrícola

Línea de investigación: Robótica y automatización avanzada

Autor:

Castro Alvarado, Felipe Edwar

Jurado evaluador:

Presidente: Alvarado Rodríguez, Luis Enrique

Secretario: Linares Vertiz, Saul Noe

Vocal: Vargas Diaz, Luis Alberto

Asesor:

De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9207-8558>

Trujillo - Perú

2023

Fecha de sustentación: 2023/ 12/ 18

Control del proceso de generación de Ozono Industrial mediante Controlador Lógico Programable para uso Agrícola

por Felipe Edwar CASTRO ALVARADO

Fecha de entrega: 12-dic-2023 04:06p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2190741170

Nombre del archivo: Tesis_-_Felipe_Castro_Alvarado.docx (15.88M)

Total de palabras: 7404

Total de caracteres: 39987



Miguel De La Cruz Rodriguez
Ingeniero Electrónico
CIP 85598

Control del proceso de generación de Ozono Industrial mediante Controlador Lógico Programable para uso Agrícola

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	ambientecivil.blogspot.com Fuente de Internet	2%
2	renati.sunedu.gob.pe Fuente de Internet	2%
3	soyquiensoy.blogia.com Fuente de Internet	1%
4	revistas.unj.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	Submitted to Universidad Continental Trabajo del estudiante	1%
6	repositoriodspace.unipamplona.edu.co Fuente de Internet	1%
7	www.slideshare.net Fuente de Internet	1%
8	es.boquinstruments.com Fuente de Internet	1%
9	doku.pub Fuente de Internet	

		1 %
10	repository.eia.edu.co Fuente de Internet	1 %
11	todosloshechos.es Fuente de Internet	1 %
12	Submitted to Universidad Politecnica Salesiana del Ecuador Trabajo del estudiante	1 %
13	isa.uniovi.es Fuente de Internet	1 %
14	tecnicoteleco.blogspot.com Fuente de Internet	1 %
15	vdocuments.mx Fuente de Internet	1 %
16	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1 %
17	www.monografias.com Fuente de Internet	1 %

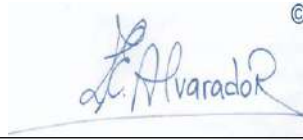
Excluir citas Activo

Excluir bibliografía Activo

Excluir coincidencias < 1%


 M^c. R^c. Miguel De La Cruz Rodríguez
 Ingeniero Electrónico
 CIP 85598

Jurado de sustentación Oral



Ms. Ing. ALVARADO RODRÍGUEZ, LUIS ENRIQUE
N° CIP 149200
Presidente



Ms. Ing. LINARES VERTIZ SAUL NOE
N° CIP 142213
Secretario



Ms. Ing. VARGAS DIAZ LUIS ALBERTO
N° CIP 104175
Vocal

Entregado el:

Aprobado por:



CASTRO ALVARADO FELIPE EDUARDO
DNI 17971006



Ms. Ing. DE LA CRUZ RODRÍGUEZ OSCAR MIGUEL
N° CIP 85598
Asesor

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
ELECTRÓNICO

Control del proceso de generación de Ozono Industrial mediante Controlador
Lógico Programable para uso Agrícola

Línea de investigación: Robótica y automatización avanzada

Autor:

Castro Alvarado, Felipe Edwar

Jurado evaluador:

Presidente: Alvarado Rodríguez, Luis Enrique

Secretario: Linares Vertiz, Saul Noe

Vocal: Vargas Diaz, Luis Alberto

Asesor:

De La Cruz Rodríguez, Oscar Miguel

Código ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9207-8558>

Trujillo - Perú

2023

Fecha de sustentación: 2023/ 12/ 18

DECLARACIÓN DE ORIGINALIDAD

Yo, Oscar Miguel De La Cruz Rodríguez, docente del Programa de Estudio de Pregrado de la Universidad Privada Antenor Orrego, asesor de la tesis titulada **“CONTROL DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE OZONO INDUSTRIAL MEDIANTE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PARA USO AGRÍCOLA”**, del autor Felipe Edwar Castro Alvarado.

- El mencionado documento tiene un índice de puntuación de similitud del 15 %. Así lo consigna el reporte de similitud emitido por el software Turnitin el día 12 de diciembre del 2023.
- He revisado con detalle dicho reporte de la tesis **“DISEÑO CONTROL DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE OZONO INDUSTRIAL MEDIANTE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PARA USO AGRÍCOLA”**, y no se advierte indicios de plagio.
- Las citas a otros autores y sus respectivas referencias cumplen con las normas establecidas por la Universidad.

Trujillo, 12 de diciembre del 2023



DE LA CRUZ RODRÍGUEZ OSCAR MIGUEL:
DNI: 40545044
ORCID: 0000-0001-9207-8558



Castro Alvarado, Felipe Edwar
DNI: 17971006

DEDICATORIA

A Helmi Lundin mi compañera de vida, ya que con su apoyo incondicional he alcanzado la meta propuesta de concluir mi carrera, especialmente por su comprensión, empatía y ayuda en los momentos adversos vividos.

A los Ingenieros André Castro Lundin y Mike Castro Lundin, quienes me motivaron y apoyaron en todo momento en el transcurso de las diversas etapas de mi formación profesional.

A mis padres Teobaldo y María, por su buena formación con valores, respeto, disciplina y perseverancia, que me hicieron siempre estar dispuesto a asumir retos, trabajando esforzadamente para alcanzarlos.

A los docentes universitarios que contribuyeron académicamente a formarme y equiparme de las competencias profesionales requeridas para un exigente ejercicio laboral.

AGRADECIMIENTO

A Dios en quien siempre permanece mi confianza puesta, mediante Jesucristo como modelo de vida a seguir, fortalecido anímicamente por su Espíritu Santo.

A mi familia, que estuvo dispuesta de prescindir de mi apoyo durante el trascurso de mi formación académica universitaria.

A los Ingenieros docentes por su confianza al otorgarme la posibilidad de asumir retos, así mismo por su disponibilidad de asesoría para así alcanzarlos.

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo es realizar mantener estable el potencial de reducción de oxidación haciendo uso del controlador lógico programable.

En principio en el trabajo se describen los aspectos del diseño de investigación y justificación del estudio, para luego presentar las bases teóricas que permita comprender el control del proceso de fabricación de ozono para uso agrícola. Luego de presentar los materiales y procedimientos de la investigación se procede a detallar la problemática del proceso de fabricación de ozono para uso agrícola. A partir del análisis de la información obtenida se evalúan aspectos técnicos para realizar el control proceso de fabricación de ozono para uso agrícola, a través de un sensor de ORP, sensor de ppm, sensor de nivel capacitivo, el controlador S7_1200 y panel HMI.

Por último, a través del controlador PID y seteo con un panel HMI, se realizó la estrategia de control del proceso de fabricación de ozono para uso agrícola, mediante un sistema realimentando negativamente.

Palabras Claves: controlador, ozono, control PID

ABSTRACT

The objective of this work is to keep the oxidation reduction potential stable using the programmable logic controller.

Initially, the work describes the aspects of the research design and justification of the study, and then presents the theoretical bases that allow understanding the control of the ozone manufacturing process for agricultural use. After presenting the research materials and procedures, we proceed to detail the problems of the ozone manufacturing process for agricultural use. Based on the analysis of the information obtained, technical aspects are evaluated to control the manufacturing process of ozone for agricultural use, through an ORP sensor, ppm sensor, capacitive level sensor, the S7_1200 controller and HMI panel.

Finally, through the PID controller and setting with an HMI panel, the control strategy of the ozone manufacturing process for agricultural use was carried out, using a negative feedback system.

Keywords: controller, ozone, PID control

PRESENTACIÓN

Señores miembros del Jurado:

De conformidad con lo estipulado en el Reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Privada Antenor Orrego, ponemos a su disposición el informe de tesis titulado **“DISEÑO CONTROL DEL PROCESO DE GENERACIÓN DE OZONO INDUSTRIAL MEDIANTE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE PARA USO AGRÍCOLA”** para que sea revisado y evaluado y de ser aprobado pueda ser defendido oralmente para optar el título profesional de Ingeniero Electrónico.

De antemano, nos excusamos de los errores involuntarios en que se hubiera incurrido en el desarrollo y redacción del misma, esperando del honorable jurado un justo dictamen.

Castro Alvarado, Felipe Edwar

ÍNDICE DE CONTENIDO

CARÁTULA	i
DEDICATORIA.....	viii
AGRADECIMIENTO.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
PRESENTACIÓN	xii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xv
ÍNDICE DE FIGURAS	xvi
I. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Problema de investigación	1
1.2. Objetivos	2
1.3. Justificación del estudio.....	3
II. MARCO DE REFERENCIA	3
2.1. Antecedentes del estudio	3
2.2. Marco teórico.....	6
2.3. Marco conceptual	16
2.4. Sistema de hipótesis	18
III. METODOLOGÍA EMPLEADA	19
3.1. Tipo y nivel de investigación.....	19
3.2. Población y muestra del estudio.....	19
3.3. Diseño de investigación.....	19
3.4. Técnicas e instrumentos de la investigación	20
3.5. Procesamiento y análisis de la investigación	21

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	22
4.1. Análisis e interpretación de resultados	22
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	45
CONCLUSIONES.....	48
RECOMENDACIONES	48
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
ANEXOS	52

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Comparación de las propiedades del ozono y el oxígeno molecular....	6
Tabla 2: Temperatura vs solubilidad	7
Tabla 3: Tiempo de vida media del ozono a efectos de la temperatura	8
Tabla 4: Operacionalización de la variable independiente	18
Tabla 5: Operacionalización de la variable independiente	23
Tabla 6: Características del sensor ORP	26
Tabla 7: Características del sensor de Nivel Capacitivo	27
Tabla 8: Selección de la instrumentación	46

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: El ozono en agricultura en el mundo	1
Figura 2: Formación de la molécula de ozono.....	6
Figura 3: Distribución de ozono en la atmósfera	9
Figura 4: Diagrama de bloques de un control en lazo abierto	11
Figura 5: Diagrama de bloques de un control en lazo cerrado	12
Figura 6: Controlador SIEMENS S7-1200.....	13
Figura 7: Sensor ORP	14
Figura 8: Sensor de gas CO2.....	15
Figura 9: Sensor de PH.....	16
Figura 10: Componentes del sistema actual para la producción de ozono	22
Figura 11: Control actual del sistema para la producción de ozono	23
Figura 12: Controlador SIEMENS S7-1200.....	24
Figura 13: Panel HMI Siemens KTP 700.....	24
Figura 14: Sensor ORP	25
Figura 15: Sensor de Ppm	25
Figura 16: Sensor de Nivel Capacitivo	27
Figura 17: Modelo del sistema actual en simulink de Matlab	28
Figura 18: Respuesta del sistema ante un escalón sin controlador PID	28
Figura 19: Comparación del modelo del sistema actual sin controlador y con controlador PID	29
Figura 20: Respuesta del sistema ante un escalón del sistema actual sin controlador y con controlador PID	29
Figura 21: Las respuestas del sistema ante la variación del set point del proceso con los siguientes valores: 1, 1.5 y 0.9.....	30

Figura 22: Parámetros del controlador PID	31
Figura 23: Selección del controlador SIEMENS S7-1200	31
Figura 24: Selección del módulo analógico signal board	32
Figura 25: Selección del módulo de entrada analógica.....	32
Figura 26: Selección del módulo de salida analógica.....	33
Figura 27: Asignación de variables del PLC.....	33
Figura 28: Programación del arranque local y remoto.....	34
Figura 29: Programación del bloque de normalización y escalamiento para el sensor ORP.....	34
Figura 30: Programación del bloque de normalización y escalamiento para el sensor PPM.....	35
Figura 31: Programación del bloque de normalización y escalamiento para el sensor de nivel	35
Figura 32: Configuración del bloque de controlador PID	36
Figura 33: Selección del bloque PID	37
Figura 34: Selección del bloque PID para el control de nivel	37
Figura 35 Configuración del tipo de regulación (General %).....	38
Figura 36: <i>Escalamiento de la variable ORP con un valor real del 120%</i>	38
Figura 37: Escalamiento de la variable ORP con un valor real escalado de 100%	39
Figura 38: Medición del PID ORP con un tiempo de muestreo de 0.3s.	39
Figura 39 Configuración interna del PID.	40
Figura 40 Selección del panel HMI.....	40
Figura 41: Configuración de la conexión del HMI y el controlador	41
Figura 42: Configuración de los gráficos ORP, NIVEL y PPM	42

Figura 43: Configuración de la variable ORP	42
Figura 44: Configuración de la variable PPM	43
Figura 45: Configuración de la variable NIVEL.....	43
Figura 46: Parámetros ORP, NIVEL y PPM.	44
Figura 47: Control de encendido y ejecución del sistema de ozono.....	45
Figura 48: Control del sistema para la producción de ozono	46
Figura 49: Modelo del sistema actual sin controlador y con controlador PID ...	47

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Problema de investigación

Según el ministerio de desarrollo agrario y riego (2021), la aplicación de ozono ha redundado en metodologías económicamente factibles pues ha permitido acortar los tiempos empleados en los procesos, aumentar la calidad de los productos tratados y reducir los costos de almacenamiento. Además, ha resultado amigable con el medio ambiente al sustituir el empleo de químicos causantes de una mayor carga contaminante. En la figura 1 se muestra la aplicación del ozono en agricultura en el mundo.

Figura 1

El ozono en agricultura en el mundo



Nota. (Inkaozono, 2022)

Si bien el uso de sistemas de ozono industrial en la agricultura tiene el potencial de ser beneficioso para la desinfección y mejora de la calidad del agua y otros aspectos agrícolas, también conlleva desafíos y preocupaciones que deben ser abordados de manera cuidadosa y responsable. La investigación continua y la colaboración entre científicos, reguladores y agricultores son

esenciales para garantizar un uso seguro y efectivo de esta tecnología en el sector agrícola.

Los sistemas de ozono industrial tienen 3 componentes, control de sistema, producción de ozono y mezcla bifase.

En el control del sistema se tiene el tablero de medidores y control

En la producción de ozono se tiene la refrigeración líquida, concentrador de oxígeno, generador de ozono reactor cerámicos.

En la mezcla bifase se tiene la bomba, la mezcla y el tanque de contacto.

El problema consiste en controlar el potencial de reducción de oxidación (ORP), a través de reactor cerámico generador de ozono el cual trabaja con alta frecuencia y tensión elevada.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo General

Mantener estable el potencial de reducción de oxidación haciendo uso del controlador lógico programable

1.2.2. Objetivos específicos

- Describir el proceso de fabricación de ozono para uso agrícola
- Seleccionar la instrumentación para el control del potencial de reducción de oxidación
- Diseñar la estrategia de control del proceso de fabricación de ozono para uso agrícola

1.3. Justificación del estudio

En lo tecnológico, permitirá desarrollar una estrategia de control que permita controlar el potencial de reducción de oxidación para la generación de ozono para uso agrícola

II. MARCO DE REFERENCIA

2.1. Antecedentes del estudio

(Granados, 2023) en su tesis “Desarrollo de un prototipo generador de ozono (O₃) alimentado por fotocelda para su uso en la agricultura”, el propósito del trabajo fue Desarrollar un dispositivo de generación de ozono alimentado por fotoceldas para su empleo en la agricultura. El desarrollo del sistema de generación de ozono para su uso en la agricultura fue satisfactorio, ya que se lograron obtener beneficios importantes para los productores. Existe una mejora notable en la salud de la planta, se acelera el tiempo en que la planta comienza a dar frutos y por otra parte, se previenen enfermedades en el cultivo como en el caso del mildiu, fusarium y que se controlan plagas como los nemátodos. En relación a la duración del dispositivo contra la de un pesticida o fertilizante, el generador puede ser usado durante cada uno de los ciclos de cultivo que el productor lo requiera con una sola inversión y con costos de mantenimiento reducidos. El principal aporte es el desarrollo de un sistema de generación de ozono diseñado para ser utilizado en sistemas de riego agrícolas.

(Rivas, Almelda, Noa, & Regueiro, 2023) en la investigación “Sistema para la caracterización de concentración de ozono”, el propósito del trabajo fue diseñar un sistema para la caracterización y medición de la concentración de

ozono durante el proceso de potabilización del agua mediante el método de fotometría ultravioleta. Para ello se utilizan varios programas de aplicación que facilitan el trabajo de simulación y programación de cada bloque necesario en la investigación. A través de un método experimental se verifica el diseño propuesto basado en el uso de un microprocesador y se verifican estadísticamente los resultados obtenidos durante el desarrollo de un prototipo de laboratorio. El principal aporte es proponer ser implementada en un sistema portátil de uso clínico para condiciones de uso en campaña.

(González, Bataller, Veliz, & Valdés, 2022) en la investigación “Aplicaciones del ozono en la agricultura cubana”, el propósito del trabajo fue emplear del ozono podría constituir en una alternativa ambientalmente amigable y económicamente factible en el tratamiento de productos para el consumo humano y la recuperación de aguas residuales. La investigación llegó a los siguientes resultados Se establecieron metodologías para el tratamiento de semillas de especies vegetales, así como explantes de ñame y malanga para la desinfección, el saneamiento y la potenciación de su capacidad de germinación. También para la desinfección de frascos y locales biotecnológicos. Se estandarizó un procedimiento para la recuperación de aguas residuales domésticas. Se establecieron metodologías para el beneficio poscosecha de tomate y frutabomba. El principal aporte al trabajo de investigación es lograr obtener agua de calidad para riego agrícola que; además, demostrar aportes nutricionales a posturas de frutabomba y a los sustratos empleados.

(Mezén & Henríquez, 2021) en su tesis “Diseño de un robot generador de ozono con inteligencia artificial a control remoto”, el propósito del trabajo fue

diseñar un robot desinfectante generador de ozono capaz de identificar personas y obstáculos. La investigación llegó a los siguientes resultados: Este proyecto fue diseñado para combatir agentes patógenos en ambiente altamente peligrosos de manera remota para proteger a las personas de posibles contagios. Este prototipo está diseñado para poder generar ozono en el área a ser utilizado y poder controlar tanto su producción como su movimiento desde un ordenador mediante una red LAN a través de una computadora usando un escritorio remoto. El uso de un robot tele operado disminuye el factor de riesgo de contaminación en seres humanos al aislarse de la zona infectada. El principal aporte al trabajo de investigación es tomar en cuenta las diferentes variables que podrían influir el funcionamiento del robot como ser operar en una habitación completamente aislada.

(Espinoza, 2021) en su tesis “Diseño y construcción de un prototipo automatizado para desinfectar agua superficial usando ozono y radiación ultravioleta en el aeropuerto de Jaén”, el propósito del trabajo fue diseñar y construir un prototipo automatizado para desinfectar agua superficial usando ozono y radiación ultravioleta. La investigación llegó a los siguientes resultados:

Para la automatización del prototipo se utilizó sensores de nivel, de flujo, pantalla LCD y un Arduino uno; el diseño de la estructura metálica y de un mezclador estático se hizo con ayuda del software SolidWorks. Al finalizar la construcción del prototipo se hicieron diferentes pruebas para garantizar el buen funcionamiento del mismo. Las pruebas microbiológicas fueron realizadas por la DISA – JAÉN, quienes usaron su metodología para hacer sus respectivos análisis logrando desinfectar el 100% del agua que se trató. La potencia del prototipo es de 550 w. El principal aporte al trabajo de investigación es el diseño

y construcción de un prototipo que garantice la desinfección de agua usando la tecnología del ozono y radiación ultravioleta.

2.2. Marco teórico

Ozono

El ozono es una sustancia cuya molécula está compuesta por tres átomos de oxígeno, formada al disociarse los dos átomos de este compuesto. Cada átomo de oxígeno liberado se une a otra molécula de oxígeno (O_2), formando moléculas de Ozono (O_3).

Figura 2

Formación de la molécula de ozono



Nota. (Gottschalk,2010)

Es un gas con un poder de oxidación mayor que el del oxígeno (O_2), de hecho, es la sustancia con mayor poder oxidante de la naturaleza, a excepción del flúor. En la Tabla 1 se muestra una comparación de las propiedades del ozono y de oxígeno.

Tabla 1

Comparación de las propiedades del ozono y el oxígeno molecular

PROPIEDAD	OXÍGENO (O_2)	OZONO (O_3)
COLOR	Sin color	Azul claro a altas concentraciones
OLOR	Sin olor	Picante y penetrante
PESO ESPECÍFICO	1.429	2.144
PESO MOLECULAR	32	48
POTENCIAL DE OXIDACIÓN	1.23	2.07 V
PUNTO DE EBULLICIÓN A 100 kPa	-183 °C	-112 °C

Nota. (Langlais, 2011)

Propiedades Físico – químicas

El ozono está compuesto por tres átomos de oxígeno, cuyas fuerzas de atracción son débiles, lo que la convierte en una molécula inestable a ciertas condiciones físicas y químicas, por esta razón es necesario determinar los factores y condiciones que afectan su comportamiento, sobre todo en aplicaciones de purificación de agua.

Solubilidad

EL (O₃) es más soluble en agua que el oxígeno. Esta propiedad es importante porque a mayor solubilidad aumenta la eficiencia de purificación. La solubilidad del ozono en agua aumenta al disminuir la temperatura como se observa en la tabla 5.

Tabla 2

Temperatura vs solubilidad

Temperatura (°C)	Solubilidad (gr/lt)
0	1,09
10	0,78
20	0,57
30	0,4
40	0,15
50	0,105
60	0,08

Nota. (Langlais, 2011)

Temperatura

La inestabilidad de la molécula de ozono aumenta al incrementarse la temperatura como se indica en la tabla 6.

Tabla 3

Tiempo de vida media del ozono a efectos de la temperatura

Ozono en fase gas		Ozono residual en el agua (pH 7)	
Temperatura (°C)	Tiempo de vida media	Temperatura (°C)	Tiempo de vida media
-50	3 meses	15	30 minutos
-35	18 días	20	20 minutos
-25	8 días	25	15 minutos
-20	3 días	30	12 minutos
-120	1.5 horas	35	8 minutos

Nota. (Gomella, 2011)

Humedad

Es importante que en el proceso de generación de ozono se utilice aire seco ya que, si existe una gran cantidad de vapor de agua presente, se formará óxido de nitrógeno. El mismo que al combinarse con el aire puede formar ácido nítrico causando corrosión.

Ozono en estado natural

El ozono se encuentra de forma natural en la tropósfera y en la estratósfera, desarrollando en cada zona papeles muy distintos.

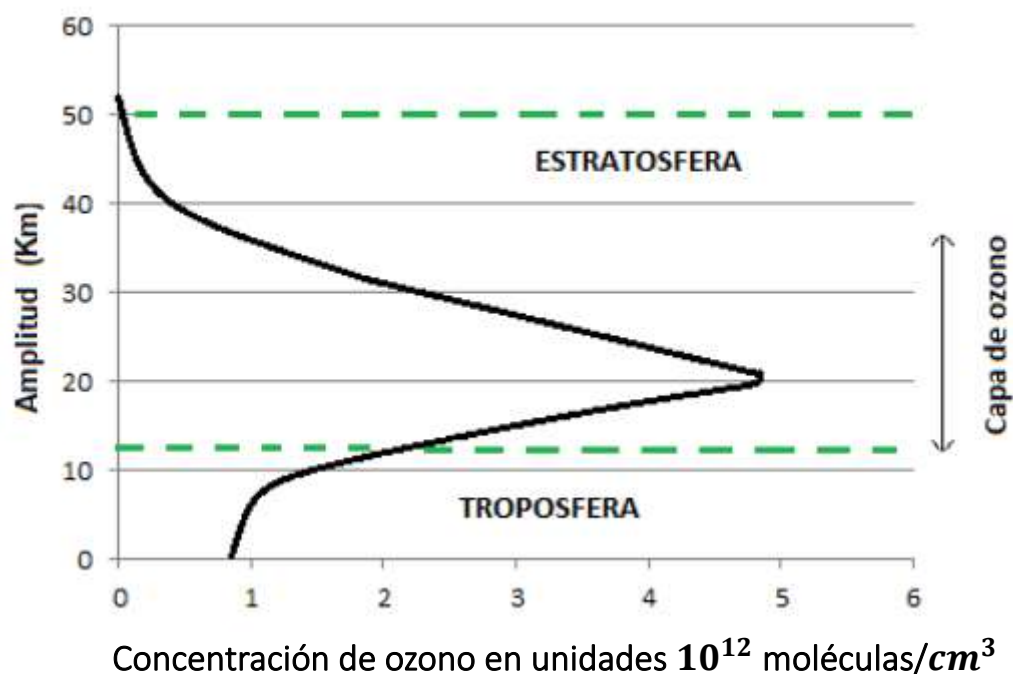
El ozono se forma en la estratósfera por la acción sobre el oxígeno de la luz ultravioleta de corta longitud de onda. En el caso de la estratósfera, región de la atmósfera situada por encima de la tropósfera, el ozono se comporta como un filtro protector frente a la radiación ultravioleta de longitud de onda inferior a 300nanómetros. Actualmente este escudo protector se encuentra seriamente dañado por los efectos de la contaminación procedente principalmente del cloro y bromo contenido en muchos productos de consume diario.

En el otro caso, en la tropósfera, región inferior de la atmósfera Terrestre, donde se localiza el aire que respiramos, el ozono está presente de forma natural procedente de las capas altas de la atmósfera o de procesos naturales que tienen lugar en la biosfera y que dan lugar a su formación, pero siempre en pequeñas cantidades y concentraciones.

El ozono troposférico, a diferencia del que se encuentra en la estratósfera, daña la salud humana y la vegetación. Los seres humanos contribuyen a la formación de ozono troposférico sobre todo mediante la quema de combustibles fósiles en el transporte, la industria y las centrales eléctricas. La evaporación de combustibles líquidos y solventes se incorpora a la formación de ozono.

Figura 3

Distribución de ozono en la atmósfera



Nota. (Ramírez, 2013)

Generación de ozono

Para la producción de ozono es necesario proporcionar energía a la molécula de oxígeno, la cual debe ser capaz de romper los enlaces que mantienen a los átomos de dicha molécula unidos, estos átomos a su vez reaccionan con otras moléculas de oxígeno formando así la molécula de ozono: Esta fuente de energía puede ser de varios tipos:

- ✓ Descargas eléctricas
- ✓ Radiación ultravioleta
- ✓ Electrólisis
- ✓ Radioquímica

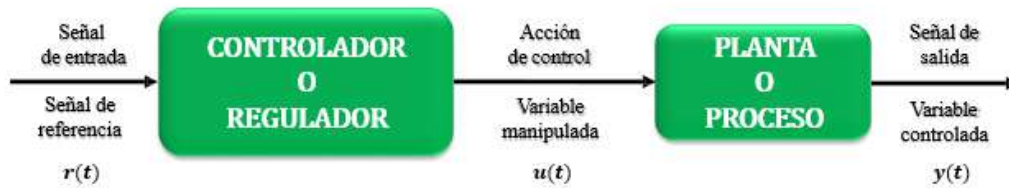
Control en lazo abierto

Son aquellos que actúan sobre la planta o el proceso sin considerar el valor de la salida de la señal, esto es, la salida no se compara con la entrada. En estos casos, la salida no se utiliza como señal de retroalimentación; por tanto, para cada entrada de referencia corresponde una condición de operación prefijada. Es el sistema de control más sencillo y económico, poco precisos y de escasa fiabilidad. La precisión del sistema depende de una adecuada calibración (experiencia) y se basa en temporizaciones y en un conocimiento exacto entre la entrada y la salida, sin apenas consideraciones sobre las posibles perturbaciones internas o externas. En presencia de perturbaciones que se salgan del rango admitido (salen de una zona de tolerancia), estos equipos de control no realizan la tarea asignada.

En la siguiente figura se muestra un sistema de este tipo, representado en forma de diagrama de bloques.

Figura 4

Diagrama de bloques de un control en lazo abierto



Nota. (C Kuo, 1996)

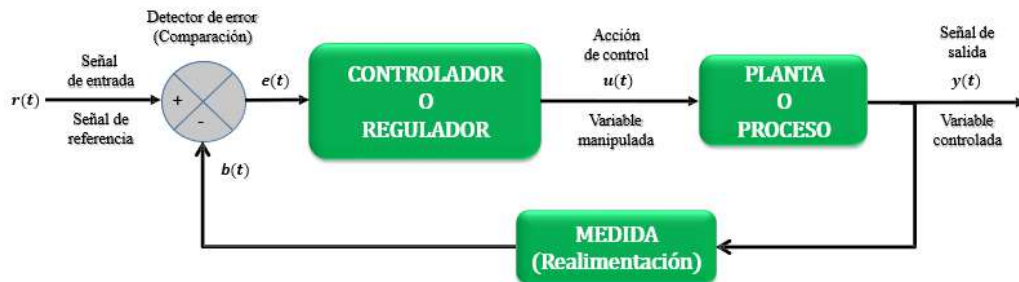
Control en lazo cerrado

En estos tipos de sistemas, la señal de salida se compara con la señal de referencia (a través de un detector de error) para obtener una señal de error. La señal de error obtenida entra al controlador para que este actúe sobre la planta y producir el error, llevando la salida del sistema al valor deseado. El controlador realizará su acción correctora hasta que el error sea “nulo”, obligando de este modo a que la salida siga a la entrada de referencia. Con este procedimiento, se obtiene un sistema de control con un comportamiento totalmente automático, ya que no hace falta la intervención del hombre para adaptar la salida a la entrada (Sistema realimentado: Sistema de control automático). Son más insensibles a las perturbaciones. Proporciona un control más preciso que a lazo abierto.

En la siguiente figura se muestra un sistema de este tipo, representado en forma de diagrama de bloques.

Figura 5

Diagrama de bloques de un control en lazo cerrado



Nota. (C Kuo, 1996)

Controlador lógico programable

Es un dispositivo electrónico capaz de gestionar los circuitos de automatismos industriales de formada programada. En la actualidad el uso de los autómatas programables esta generalizado en la industria, aunque en otros sectores, como en la domótica, también tiene gran presencia. Los PLC permiten procesar de forma inteligente las señales procedentes de multitud de variables físicas que existen en los procesos industriales y actuar en consecuencia.

Figura 6

Controlador SIEMENS S7-1200



Nota. (Siemens, 2021)

Sensor ORP

Un sensor ORP (Potencial de Reducción-Oxidación, por sus siglas en inglés Oxidation-Reduction Potential) es un dispositivo utilizado para medir el potencial de reducción-oxidación de una solución acuosa. El ORP es una medida que indica la capacidad de una solución para llevar a cabo reacciones de reducción u oxidación, lo que a su vez refleja la actividad química en esa solución. En la agricultura los sensores ORP se emplean para monitorear y controlar los niveles de nutrientes y la calidad del agua en sistemas de riego y cultivos hidropónicos.

Figura 7
Sensor ORP



Nota. (Mettler, 2022)

Sensor PPM

Sensor diseñado para medir la concentración de una sustancia o componente específico en partes por millón (ppm) en una muestra o entorno determinado. Las partes por millón (ppm) son una unidad de medida que indica la cantidad de una sustancia en relación con un millón de partes de la muestra total. Es una medida comúnmente utilizada para expresar concentraciones muy bajas de sustancias en una solución o en el aire. En general, los sensores PPM son instrumentos esenciales para monitorear y controlar la concentración de sustancias específicas en diversas aplicaciones, contribuyendo a la seguridad, la calidad y la eficiencia en una amplia gama de sectores industriales y ambientales. Estos sensores suelen utilizar diferentes tecnologías, como sensores químicos, sensores electroquímicos o sensores ópticos, dependiendo de la sustancia que se está midiendo y las condiciones del entorno.

Figura 8
Sensor de gas CO₂



Nota. (Pranaair, 2022)

Sensor de PH

Es un dispositivo utilizado para medir el nivel de acidez o alcalinidad de una solución líquida. El pH es una medida que indica cuán ácida o alcalina es una solución y se expresa en una escala numérica que va desde 0 (muy ácido) hasta 14 (muy alcalino), con 7 considerado neutral. Los sensores de pH son herramientas esenciales en una amplia variedad de aplicaciones en la industria, la ciencia y la investigación, así como en el monitoreo y control de procesos. En la agricultura sirve para monitorear y controlar el pH en sistemas de riego, cultivos hidropónicos, piscifactorías y estanques de acuicultura.

Figura 9
Sensor de PH



Nota. (Mettler, 2022)

2.3. Marco conceptual

Descargas Eléctricas

Para conseguir una descarga eléctrica es necesario aplicar un alto voltaje a dos electrodos, de esta manera los electrones se aceleran, incrementando su energía cinética y a causa de su movimiento se producen choques con una fuerza suficiente para dividir la molécula de oxígeno en dos átomos, permitiendo la formación de la molécula de ozono.

Radiación Ultravioleta

El ozono también se produce por la acción de los rayos ultravioleta. Por el efecto de la luz ultravioleta que incide sobre las moléculas de oxígeno, se rompe el enlace de la molécula, dejando libres átomos para formar una molécula de ozono. Con esta forma de energía el ozono llega a un estado estacionario es decir la formación de ozono llega a un límite determinado que depende directamente de la intensidad de luz.

Electrólisis

La electrólisis es un proceso por medio del cual los elementos de un compuesto son separados con la ayuda de la electricidad, gracias a la energía que se produce en determinadas reacciones se puede obtener ozono. La formación de ozono con este método puede darse a partir del fósforo húmedo, peróxido de bario, permanganato de potasio, por la acción del flúor sobre el agua, etc. Este proceso es de gran importancia histórica ya que, a partir de la electrólisis de ácido sulfúrico, se abrió camino para que Schönbein en 1840 descubriera el ozono.

Radioquímica

Con este método se obtiene ozono mediante radiación procedente de isótopos radioactivos. No se utiliza ya que los parámetros necesarios para el proceso son complejos.

Controlador

Es el encargado de generar la señal de corrección para que el sistema se mantenga en el valor predeterminado.

Actuador

Es el elemento de control final, es el que ejerce la acción de control, en contacto directo con el proceso.

Sensor

Encargado de medir la variable física del proceso y generar una señal eléctrica equivalente (proporcional).

Transmisor

Se encarga de adecuar la señal generada por el sensor para llevarla hacia el panel o equipo de control.

2.4. Sistema de hipótesis

Mediante el control del reactor cerámico de generación de ozono permite mantener estable el potencial de reducción de oxidación

Variables. Operacionalización de variables

Tabla 4
Operacionalización de la variable independiente

Variable Independiente	Definición Conceptual	Indicadores	Instrumento	Unidad de medida
Control del proceso	Garantizar que el proceso o sistema cumpla con los objetivos deseados, manteniendo la calidad, la consistencia y la eficiencia en la producción o ejecución.	Nro de lazos de control	Reporte de simulación	-----
		Tiempo de establecimiento		-----

III. METODOLOGÍA EMPLEADA

3.1. Tipo y nivel de investigación

Tipo de investigación

Aplicada: A partir de conocimientos establecidos se dará solución a un problema planteado

Nivel de investigación

Explicativo

3.2. Población y muestra del estudio

3.2.1. Población

Es definida por Hernández y Mendoza (2018) como el conjunto de individuos, acciones, procesos u otras características que permiten representarlo en un conjunto que las cuales las asocian a una unidad de estudio. La población de estudio será todos los generadores de ozono industrial.

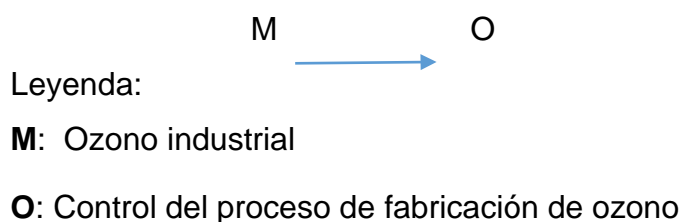
3.2.2. Muestra

La muestra de estudio será los generadores de ozono industrial por reactor cerámico

3.3. Diseño de investigación

La medición es de enfoque cuantitativo, por lo que Azuero (2019), indica que la medición numérica obtenida se procesa en un análisis estadístico e inferencial para validar las hipótesis de estudio.

El diseño de contrastación es no experimental, transversal



3.4. Técnicas e instrumentos de la investigación

Descripción de las técnicas e instrumentos

Para el estudio se requerirá de técnicas que permitan la recolección de la información, las técnicas que se utilizarán se definen de la siguiente manera:

Observación: Se utiliza para recopilar información y datos de manera confiable ya que interactúa con los sentidos para un registro sistemático, permitiendo validar las respuestas (Azüero, 2019). Como resultado, el enfoque se utilizará para recopilar información sobre los parámetros eléctricos del sistema de energía alternativa de baldosas piezoeléctricas.

Análisis documental: Según Azüero (2019), indica que es una investigación en medios digitales, artículos o libros sobre la actividad investigadora planificada; en este sentido, la presente investigación recogerá información sobre los piezoeléctricos y los distintos dispositivos eléctricos a emplear.

Asimismo, para la recolección de la información necesaria para la presente investigación, a continuación, se detallan los instrumentos de recolección de datos:

Guía de observación: Según Hernández y Mendoza (2018) indican que las guías de observación se emplean para recopilar información sobre la investigación en cuestión

Guía de análisis documental: Según Hernández y Mendoza (2018) mencionan que las guías de análisis documental son factibles en la captación de las especificaciones necesarias para el trabajo de investigación utilizando el enfoque de análisis documental, por lo que, la presente investigación utilizará registros de información.

3.5. Procesamiento y análisis de la investigación

A continuación, se precisa los procedimientos a realizar en la investigación a fin de cumplir con los objetivos trazados.

- Se describe el proceso de fabricación de ozono para uso agrícola
- Se determina los requerimientos necesarios para seleccionar el controlador lógico programable
- Se selecciona la instrumentación para el control del potencial de reducción de oxidación
- Se diseña la estrategia de control del proceso de fabricación de ozono para uso agrícola.

IV. PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

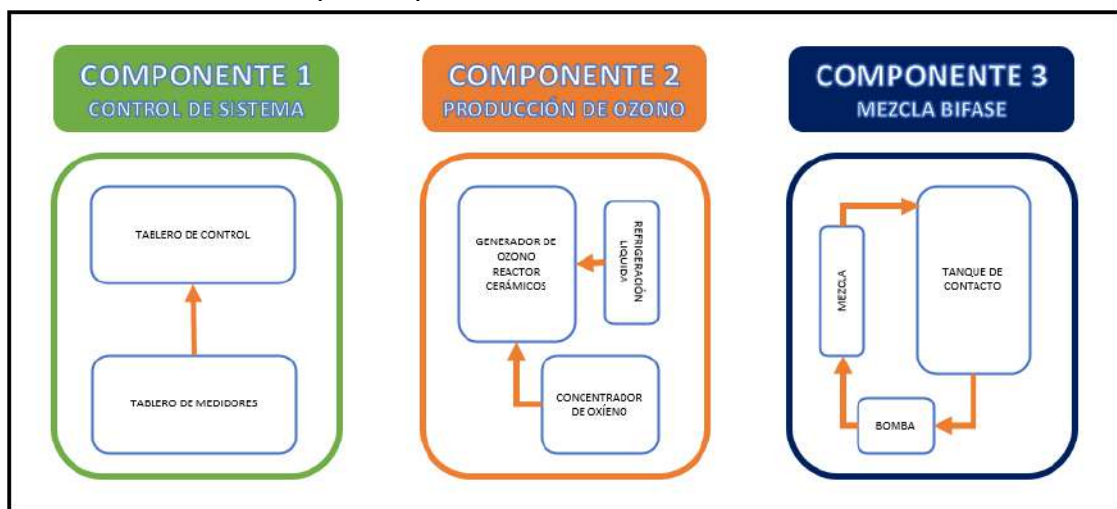
4.1. Análisis e interpretación de resultados

Descripción del proceso de fabricación de ozono para uso agrícola

A continuación, en la figura 10, se muestra los 3 componentes del sistema actual para la producción de ozono: Control de sistema, producción de ozono y mezcla bifase.

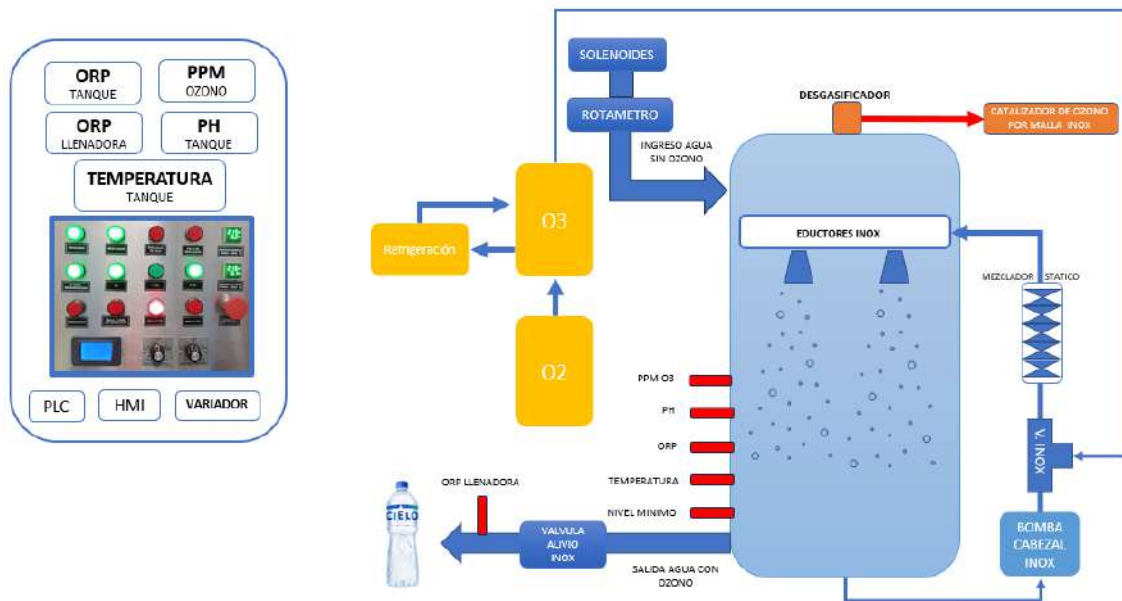
Figura 10

Componentes del sistema actual para la producción de ozono



En la figura 11 se muestra como es control actual del sistema para la producción de ozono. En la figura se muestra que el control es netamente manual y el tablero es utilizado solamente para la visualización de variables y señalizaciones de alerta. El PLC que está en la figura solamente se utilizó para supervisar las variables del proceso.

Figura 11
Control actual del sistema para la producción de ozono



Selección de la instrumentación para el control del potencial de reducción de oxidación

En la tabla 5 se muestra las variables que serán utilizadas en el controlador lógico programable.

Tabla 5:
Variables utilizadas en el PLC

Nombre	Tabla de variables e.	Tipo de datos
START	Tabla de variables e.	Bool
STOP	Tabla de variables e.	Bool
SENSOR ORP	Tabla de variables e.	Int
SENSOR DE PPM	Tabla de variables e.	Int
SENSOR DE NIVEL	Tabla de variables e.	Int
ARRANQUE	Tabla de variables e.	Bool
SALIADA DE CONTROL	Tabla de variables e.	Int
START REMOTO	Tabla de variables e.	Bool
STOP REMOTO	Tabla de variables e.	Bool
ORP	Tabla de variables e.	Real
NIVEL	Tabla de variables e.	Real
PPM	Tabla de variables e.	Real
AUX1	Tabla de variabl...	Real
AUX2	Tabla de variables e.	Real
AUX3	Tabla de variables e.	Real
SP ORP	Tabla de variables e.	Real
SENSOR ORP MIN	Tabla de variables e.	Int
SESOR ORP MAX	Tabla de variables e.	Int
SENSOR PPM MIN	Tabla de variables e.	Int
SENSOR PPM MAX	Tabla de variables e.	Int
SENSOR NIVEL MIN	Tabla de variables e.	Int
SENSOR NIVEL MAX	Tabla de variables e.	Int
ORP MIN	Tabla de variables e.	Real
ORP MAX	Tabla de variables e.	Real
PPM MIN	Tabla de variables e.	Real
PPM MAX	Tabla de variables e.	Real
NIVEL MIN	Tabla de variables e.	Real
NIVEL MAX	Tabla de variables e.	Real

En la figura 12 se muestra el controlador lógico programable marca SIEMENS modelo 1214C AC/DC/RLY

Figura 12
Controlador SIEMENS S7-1200



En la figura 13, se muestra el panel HMI marca SIEMENS modelo KTP 700 Basic con display de 7", 65536 colores, interfaz PROFINET.

Figura 13
Panel HMI Siemens KTP 700



En la figura 14, se muestra el sensor ORP, que mide la capacidad de un sistema para reducir o oxidar sustancias químicas. Es comúnmente utilizado en aplicaciones relacionadas con el control de la calidad del agua.

Figura 14
Sensor ORP



En la figura 15, se muestra Electrodo DOG-208FA, que está especialmente diseñado para ser resistente a la esterilización por vapor de 130 grados, el electrodo de oxígeno disuelto de alta temperatura con autoequilibrio de presión, para la medición de oxígeno disuelto en líquidos o gases, el electrodo es más adecuado para los niveles de oxígeno disuelto del reactor de cultivo microbiano pequeño en línea. También se puede usar para aplicaciones médicas, en tiempo real, en línea, para aguas residuales, para altas temperaturas.

Figura 15
Sensor de Ppm



Tabla 6*Características del sensor ORP*

Tecnología	polarográfico
Salida	Nivel de ppm, analógico
Rango de medición (min)	0 %
Rango de medición (máx)	200 %

En la figura 16, se muestra un interruptor capacitivo compacto de dos hilos con tecnología Inverse Frequency Shift para la detección del nivel de relleno en instalaciones con poco espacio, en interfaces, granulados, líquidos, lodos y espuma. El Pointek CLS100 se caracteriza por una profundidad de penetración de solo 100 mm (4") y versatilidad para diferentes aplicaciones, recipientes o tuberías. Por tanto, es adecuado como sustitutivo de los sensores capacitivos tradicionales. Gracias a su avanzada tecnología (medición mediante punta de sonda) ofrece puntos de conmutación precisos y reproducibles. La sonda resistente a productos químicos de PPS (sulfuro de polifenileno) [opcionalmente de PVDF (fluoruro de polivinilideno funciona en un rango de temperaturas de -30 a +100 °C (de -22 a +212 °F) (7ML5501) y de -10 a +100 °C (de +14 a +212 °F) (7ML5610). Su construcción totalmente sellada garantiza un funcionamiento seguro en entornos con vibraciones (hasta 4 g), como por ejemplo en depósitos y mecanismos agitadores. Si se utiliza un manguito protector SensGuard, este protege al CLS100 del desgaste, impactos y abrasión en procesos principales difíciles.

Figura 16
Sensor de Nivel Capacitivo



Tabla 7
Características del sensor de Nivel Capacitivo

Tecnología	Capacitivo
Medio	Para sólidos, líquidos
Montaje	Roscado
Temperatura de proceso	Mín: -30°C (-22°F) Máx: 100°C (212°F)
Presión de proceso	Mín: 0 bar (0 psi) Máx: 10 bar (145,04 psi)
Otras características	compacto

Diseño de la estrategia de control del proceso de fabricación de ozono para uso agrícola

Se ha utilizado un control clásico con realimentación negativa, y controlador PID lineal. A continuación, se presenta la propuesta del sistema sin controlador.

En la figura 17, se muestra el modelo del sistema actual, con datos obtenidos mediante la entrevista al personal y simulado en Simulink de Matlab.

Figura 17

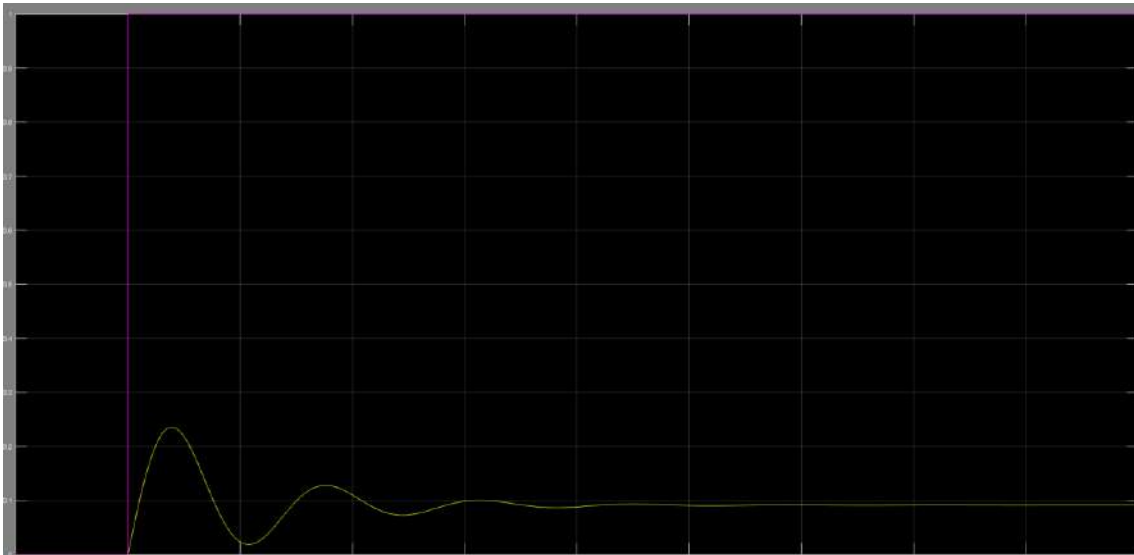
Modelo del sistema actual en simulink de Matlab



En la figura 18, se observa la respuesta del sistema ante un escalón, con tiempo de establecimiento de 4s, y un error estacionario de 90 %.

Figura 18

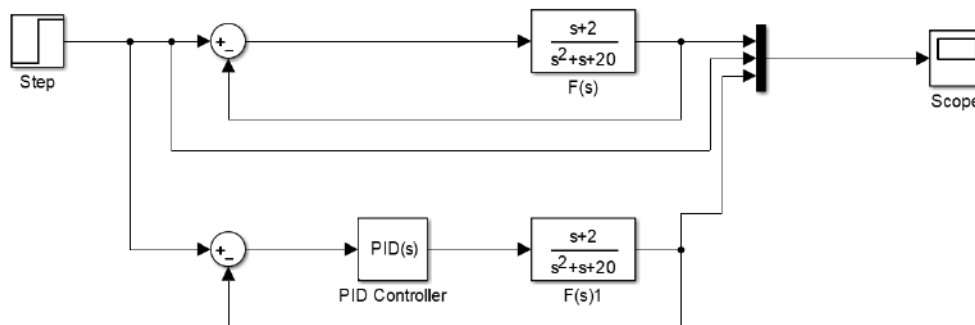
Respuesta del sistema ante un escalón sin controlador PID



En la figura 19, se muestra la comparación del modelo del sistema actual sin controlador y con controlador PID, simulado en Simulink de Matlab.

Figura 19

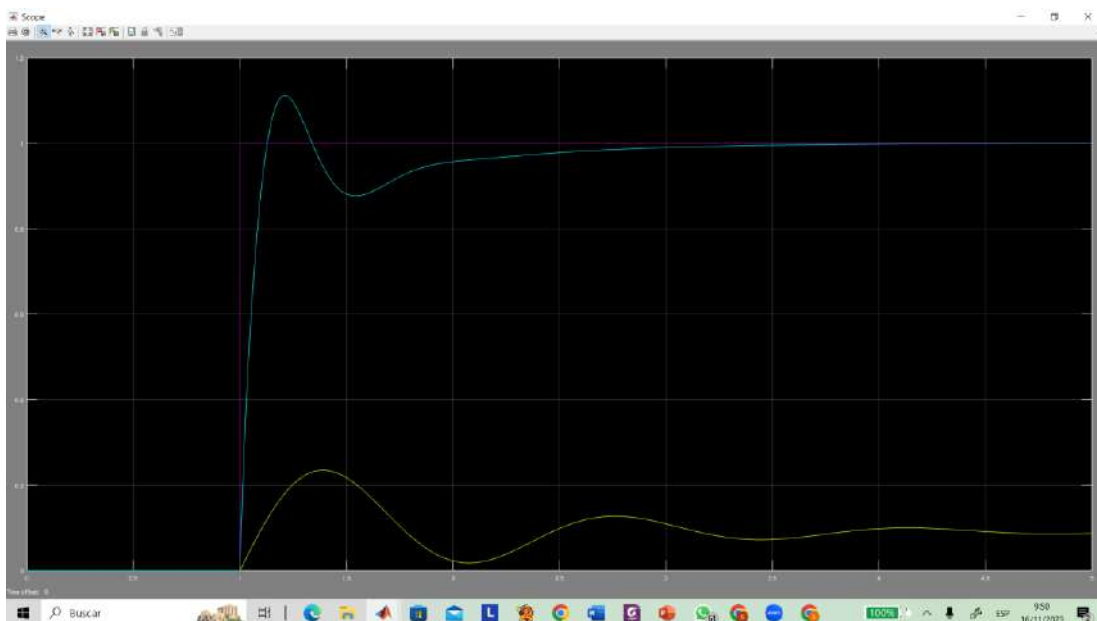
Comparación del modelo del sistema actual sin controlador y con controlador PID



En la figura 20, se observa las respuestas del sistema ante un escalón, y se observa que el tiempo de establecimiento del sistema con controlador es de aproximadamente 3s y no presenta error estacionario. Lo cual indica una mejora de 25% en lo que respecta al tiempo de establecimiento y 100% de mejora con respecto al error estacionario.

Figura 20

Respuesta del sistema ante un escalón del sistema actual sin controlador y con controlador PID



En la figura 21, se observa las respuestas del sistema ante la variación del set point del proceso con los siguientes valores: 1, 1.5 y 0.9.

Se observa que el set point de amplitud 1 tiene una duración de 4s, el set point de amplitud 1.5 tiene una duración de 5s, el set point de amplitud 0.9 tiene una duración de 5s, logrando en cada uno de ellos estabilizarse en un tiempo de 3s. La gráfica de color amarillo es la respuesta del sistema sin controlador PID, se nota que el sistema se estabiliza, pero mantiene un error estacionario alto.

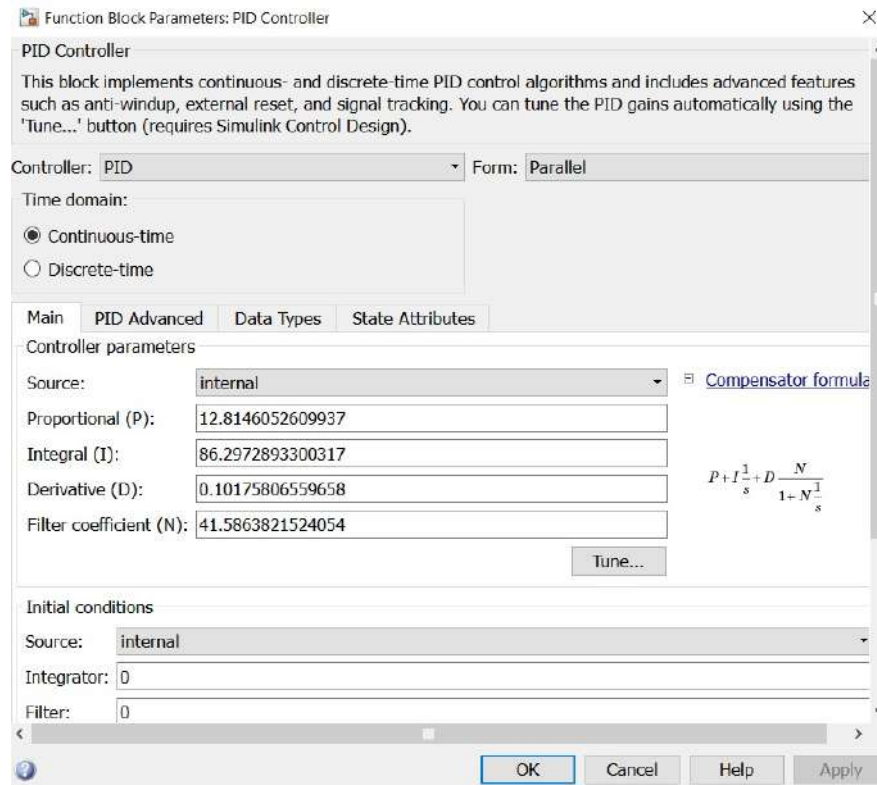
Figura 21

Las respuestas del sistema ante la variación del set point del proceso con los siguientes valores: 1, 1.5 y 0.9.



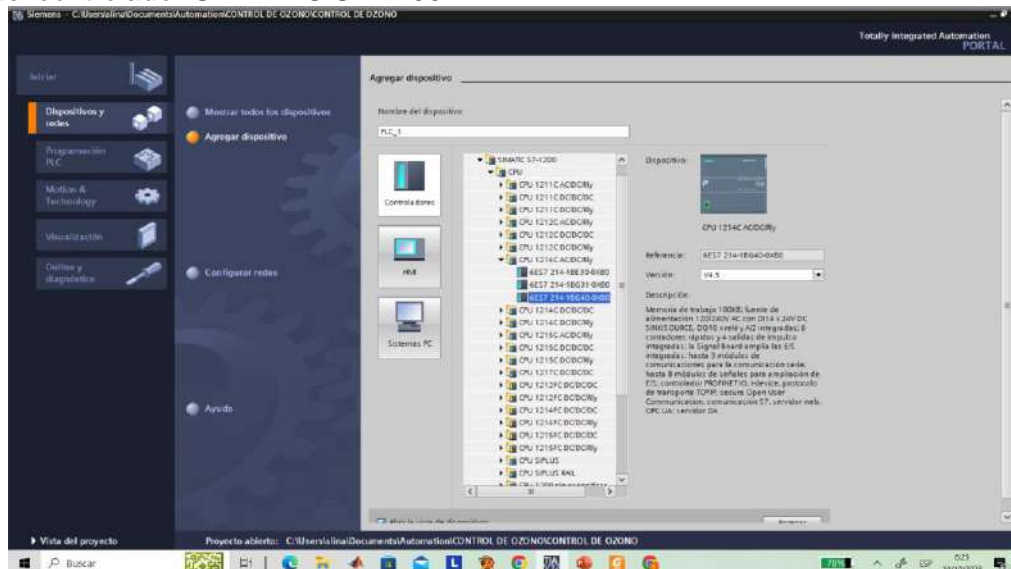
En la figura 22, se observa que los datos obtenidos están basados en la siguiente configuración del controlador PID.

Figura 22
Parámetros del controlador PID



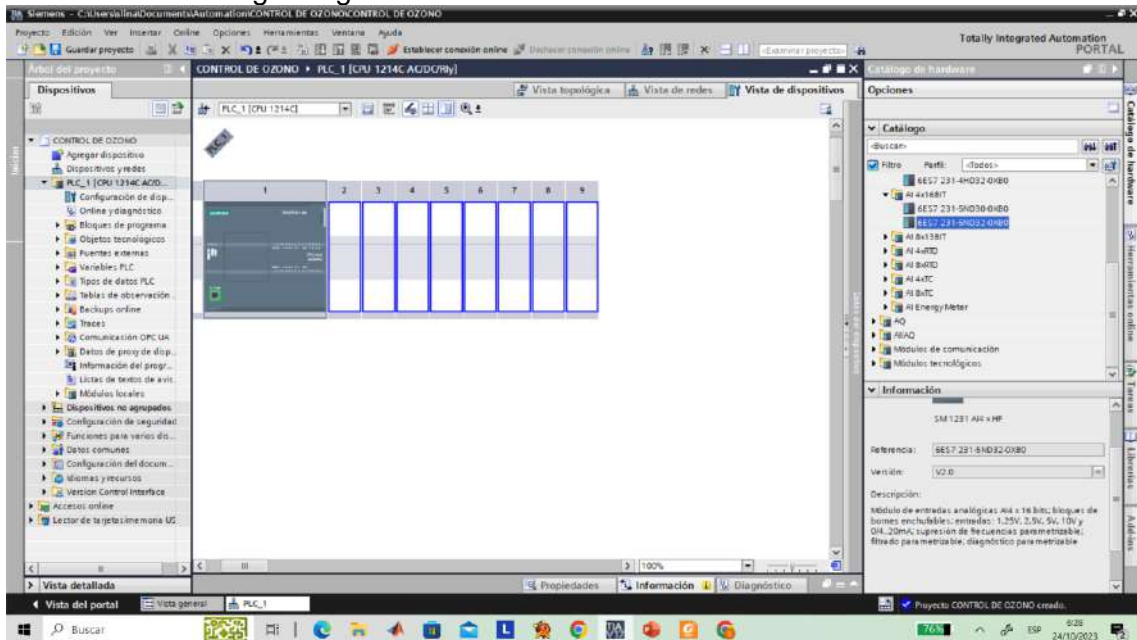
En la figura 23, se muestra la selección del controlador SIEMENS S7-1200 modelo CPU 1214C AC/DC/RLY

Figura 23
Selección del controlador SIEMENS S7-1200



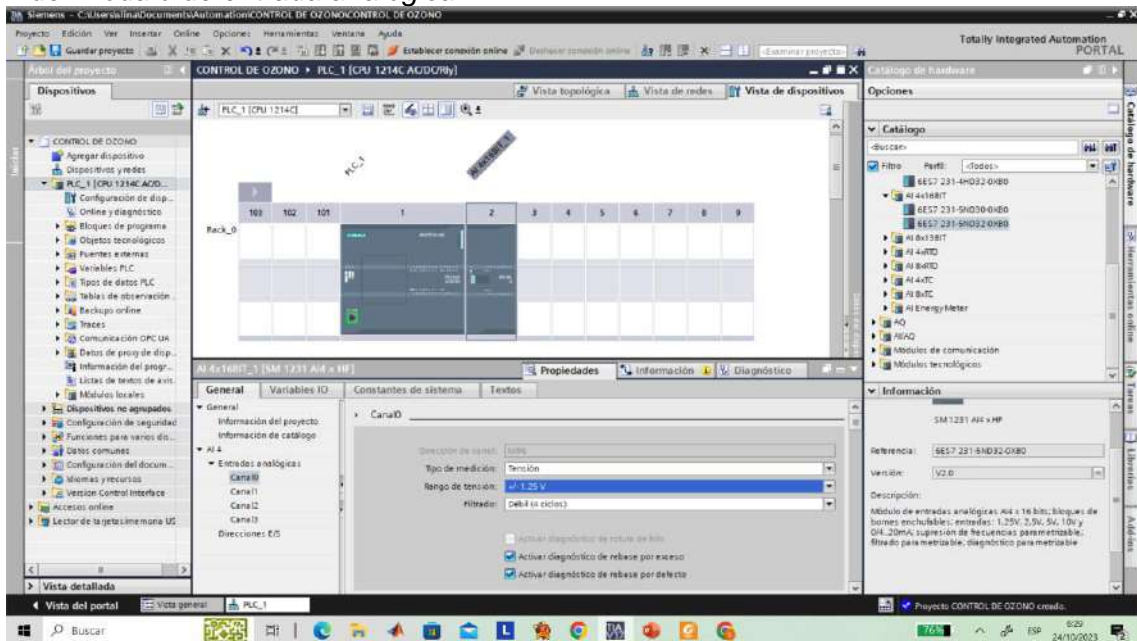
En la figura 24, se ha seleccionado el módulo signal board para el control de la variable analógica.

Figura 24
Selección del módulo analógico signal board



En la figura 25, se ha seleccionado el módulo de entrada analógica AI4 x 16 bits.

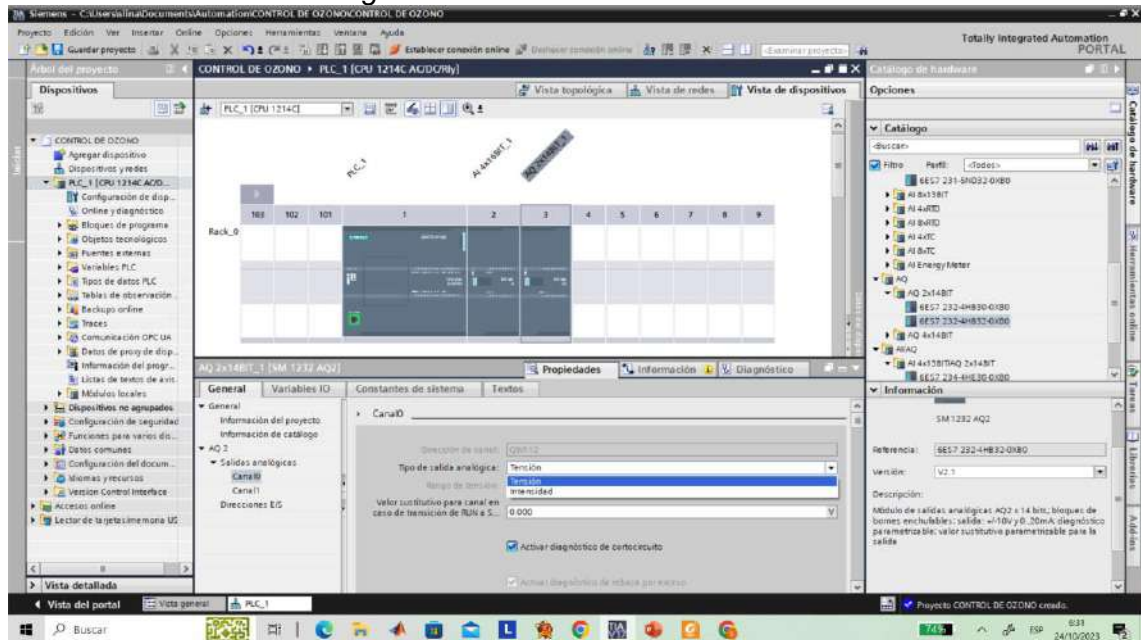
Figura 25
Selección del módulo de entrada analógica



En la figura 26, se ha seleccionado el módulo de salida analógica AQ2 x 14 bits.

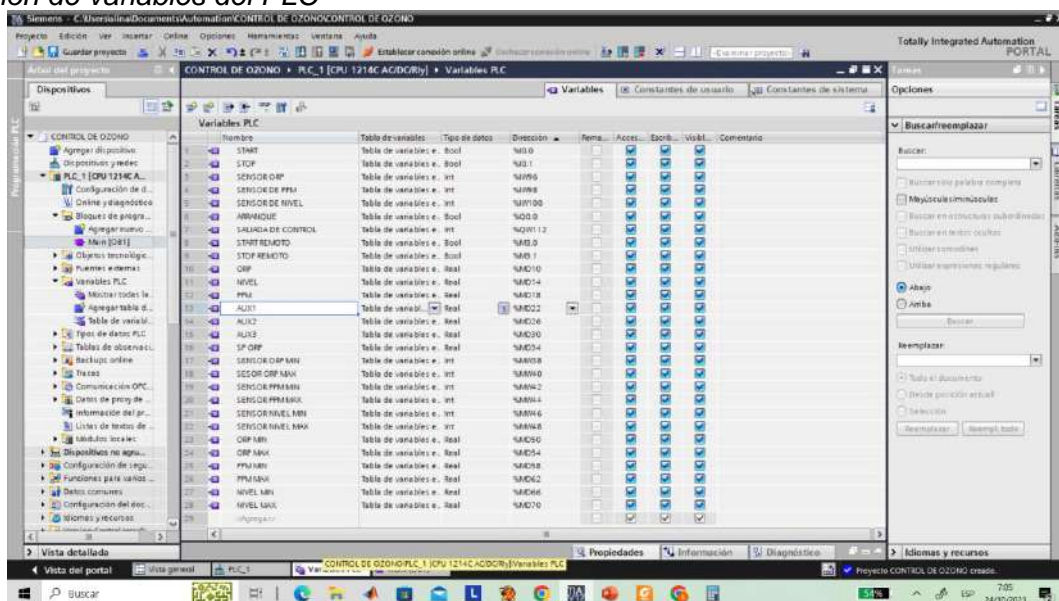
bits.

Figura 26
Selección del módulo de salida analógica



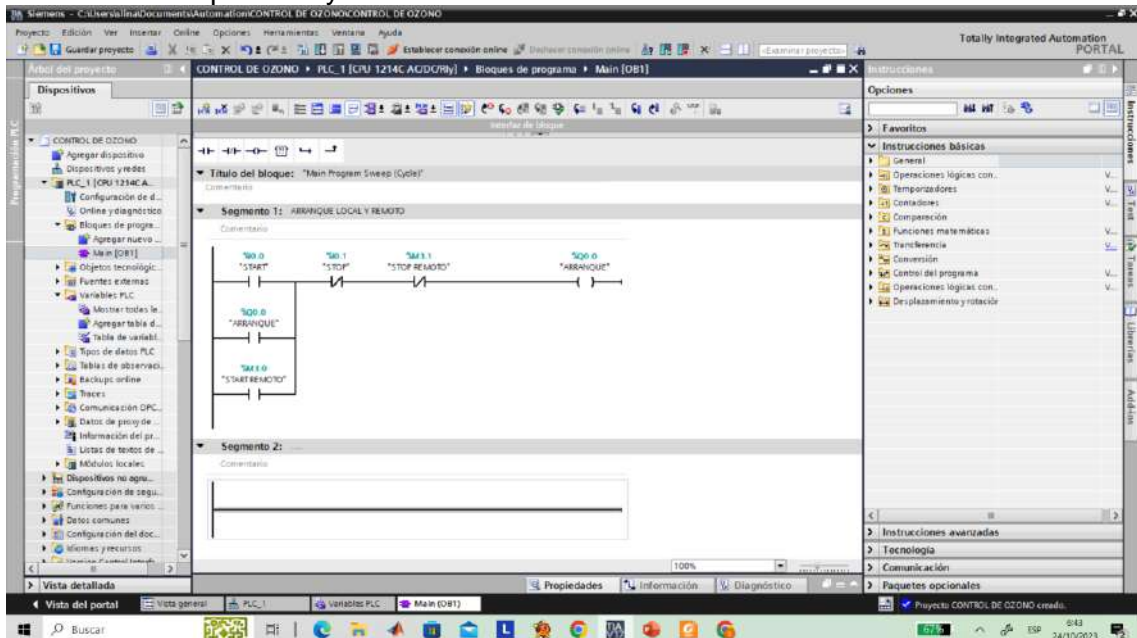
En la figura 27, se muestra la asignación de variables, detalladas a continuación.

Figura 27
Asignación de variables del PLC



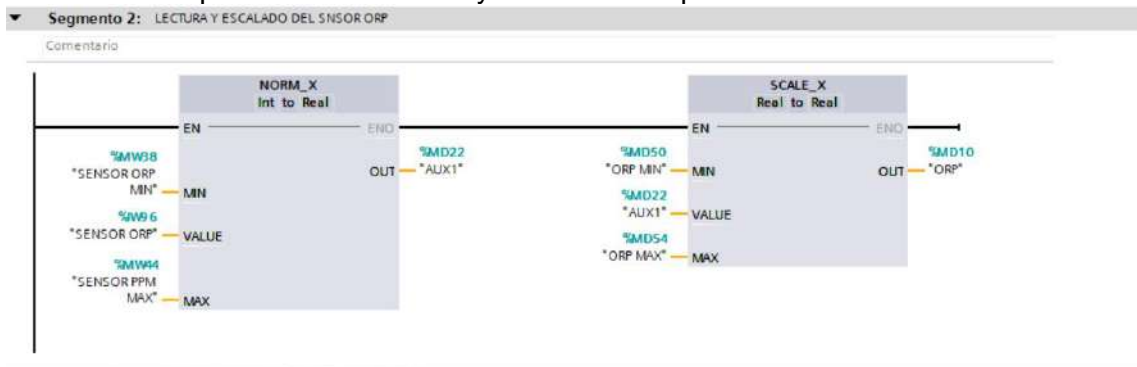
En la figura 28, se muestra el segmento 1 de programación correspondiente al arranque local y remoto.

Figura 28
Programación del arranque local y remoto.



En la figura 29, se muestra el segmento 2 de programación correspondiente a la lectura y escalado del sensor ORP.

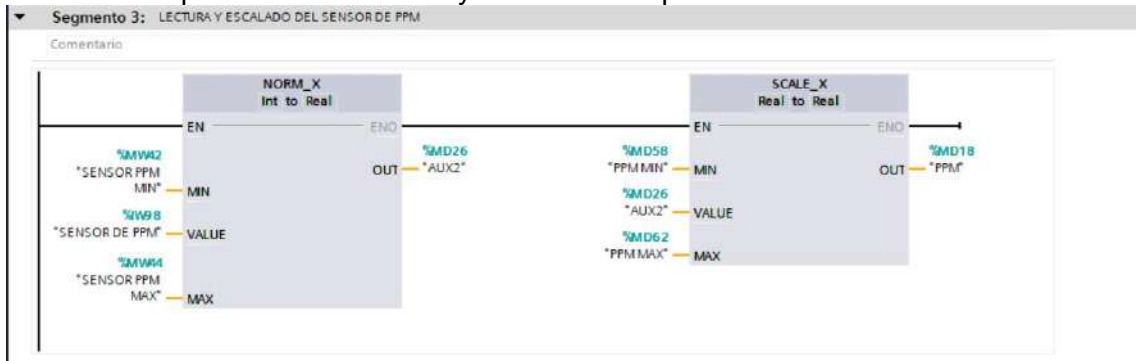
Figura 29
Programación del bloque de normalización y escalamiento para el sensor ORP



En la figura 30, se muestra el segmento 3 de programación correspondiente a la lectura y escalado del sensor PPM.

Figura 30

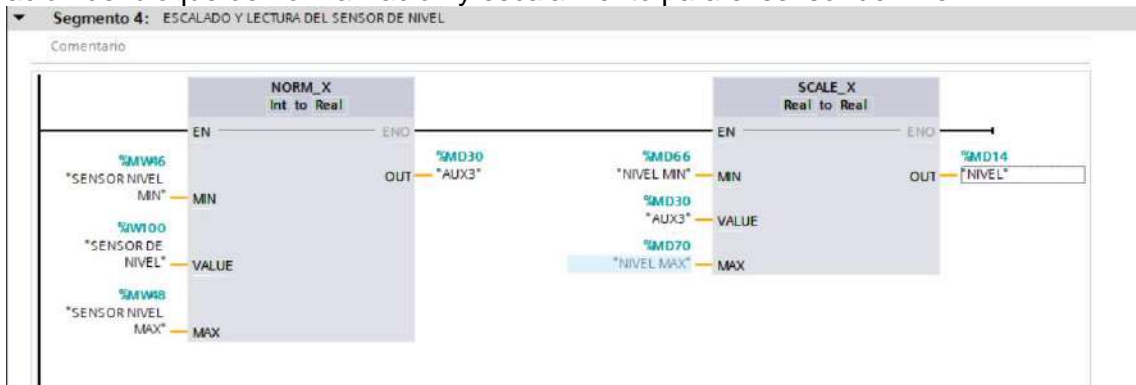
Programación del bloque de normalización y escalamiento para el sensor PPM



En la figura 31, se muestra el segmento 4 de programación correspondiente a la lectura y escalado del sensor de nivel.

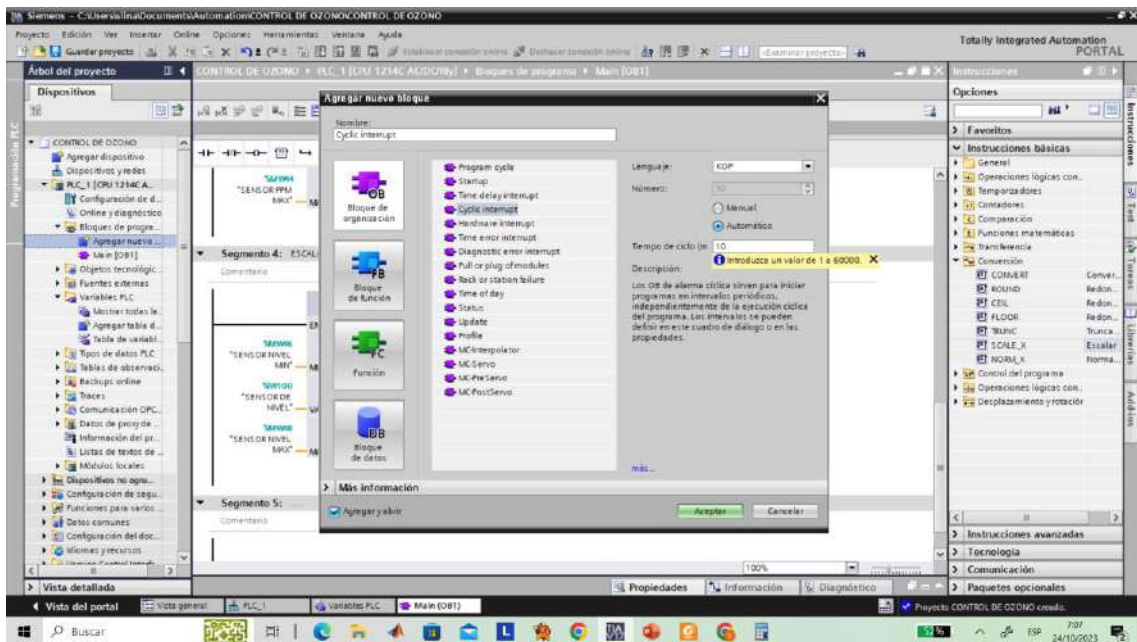
Figura 31

Programación del bloque de normalización y escalamiento para el sensor de nivel



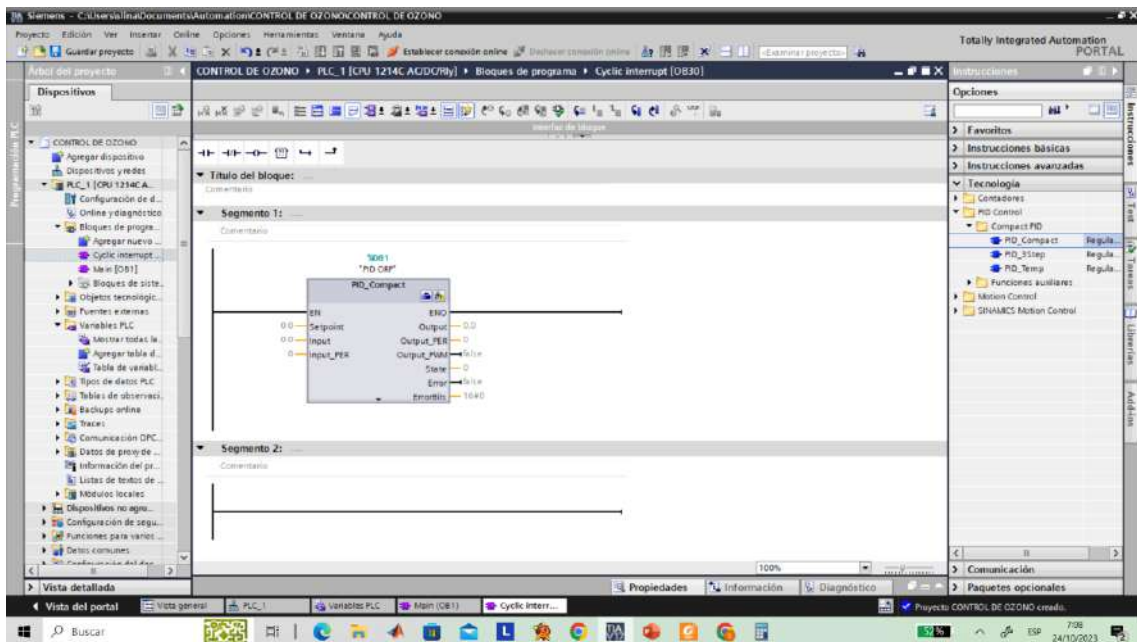
En la figura 32, se muestra la configuración del bloque de controlador PID con un tiempo de muestreo de 100ms, y lenguaje de programación LADDER.

Figura 32
Configuración del bloque de controlador PID



En la figura 33, se muestra la selección del bloque PID para el control de nivel. En el que se muestra el set point, la variable de proceso y la salida del controlador.

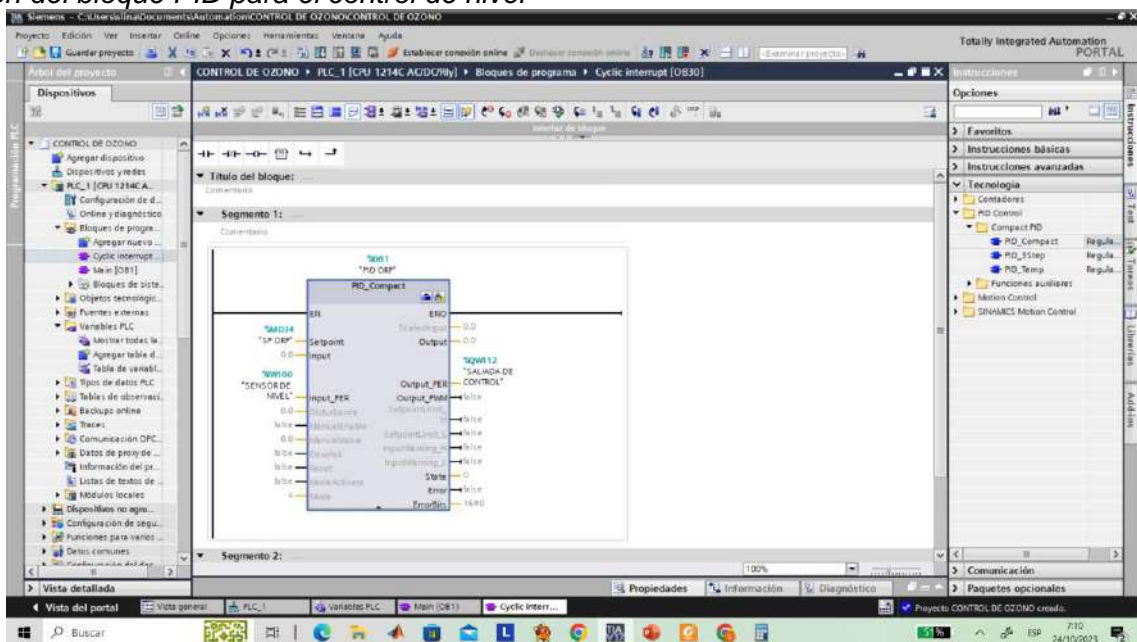
Figura 33
Selección del bloque PID



En la figura 34, se muestra la selección del bloque PID para el control de nivel.

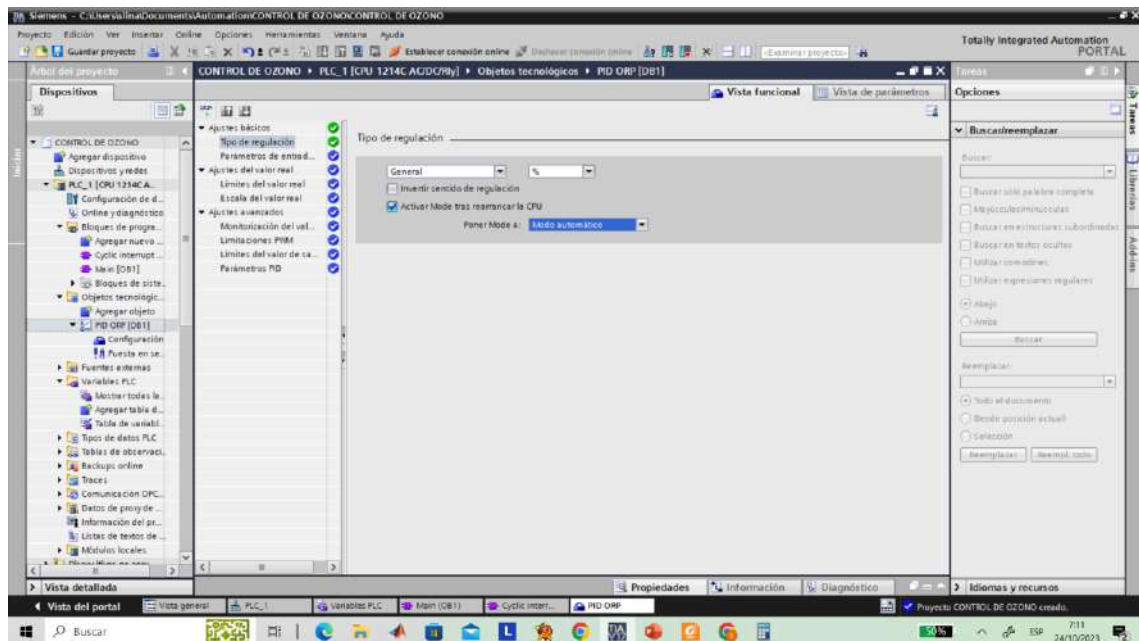
En el que se muestra el set point, la variable de proceso y la salida del controlador.

Figura 34
Selección del bloque PID para el control de nivel



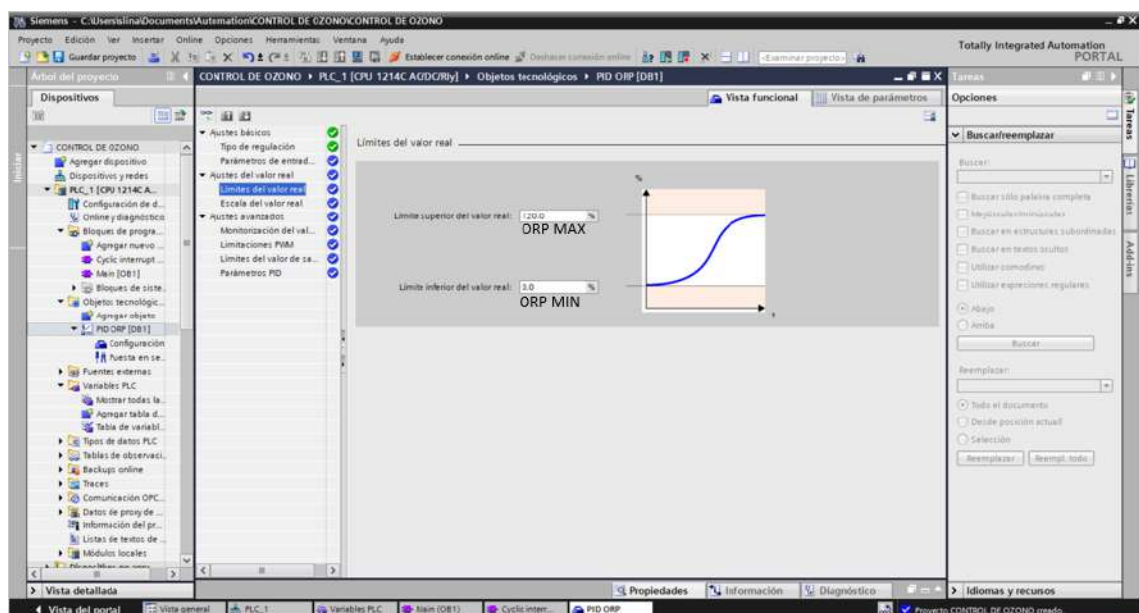
En la figura 35, se muestra la configuración del tipo de regulación, en este caso general en %.

Figura 35
Configuración del tipo de regulación (General %)



En la figura 36, se muestra el escalamiento de la variable analógica en función del tiempo, con un ORP máximo de 120% y un ORP mínimo de 0%.

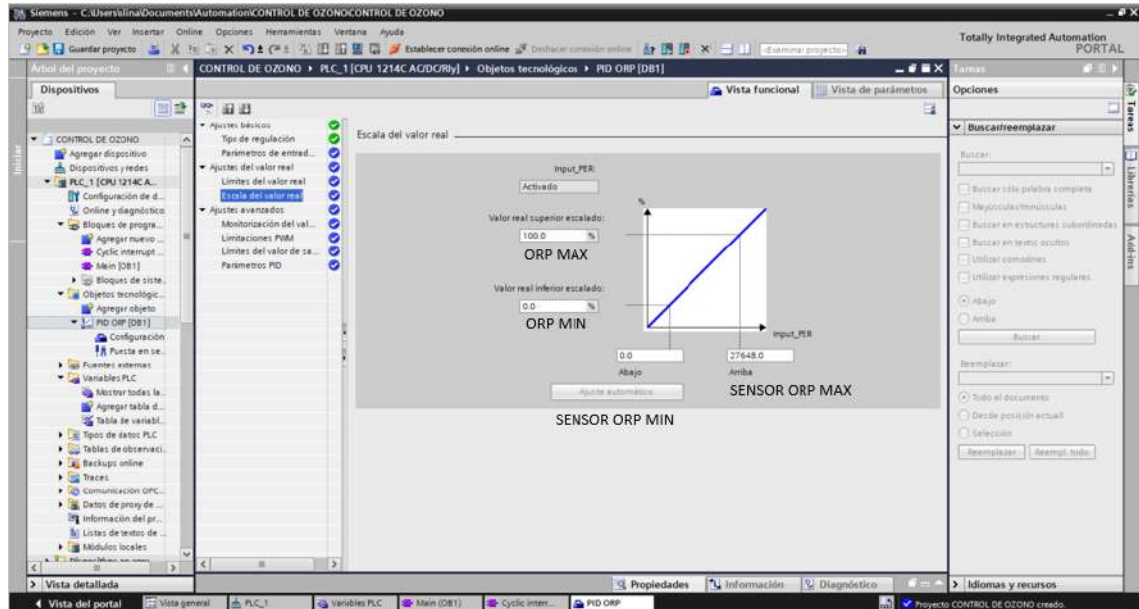
Figura 36
Escalamiento de la variable ORP con un valor real del 120%



En la figura 37, se muestra el escalamiento de la variable ORP.

Figura 37

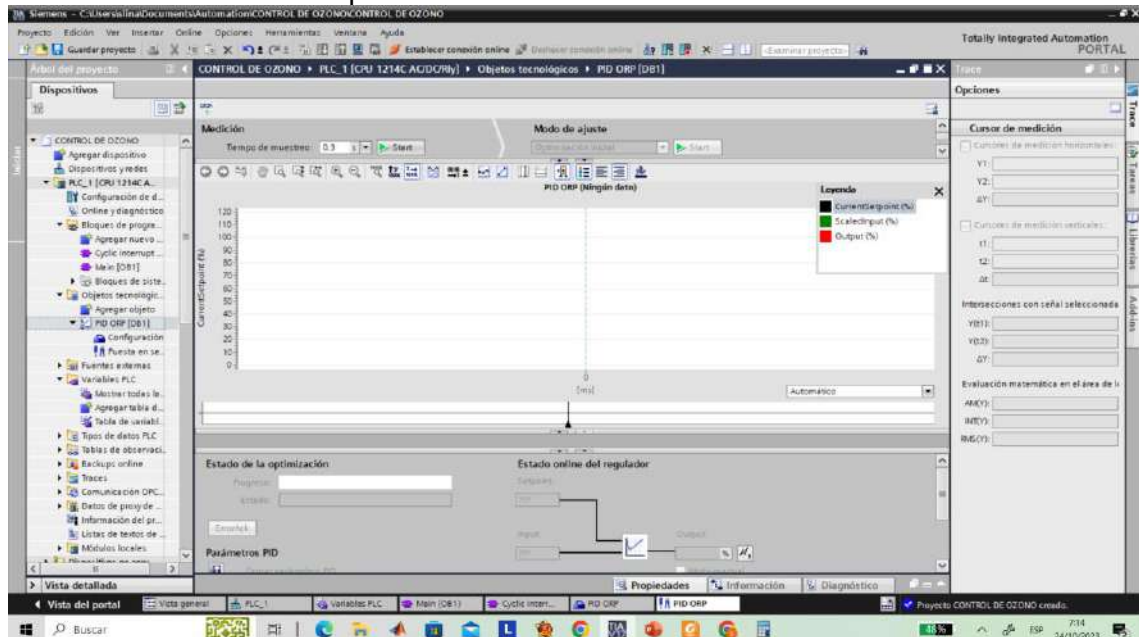
Escalamiento de la variable ORP con un valor real escalado de 100%



En la figura 38, se muestra medición del PID ORP con un tiempo de muestreo de 0.3s.

Figura 38

Medición del PID ORP con un tiempo de muestreo de 0.3s.



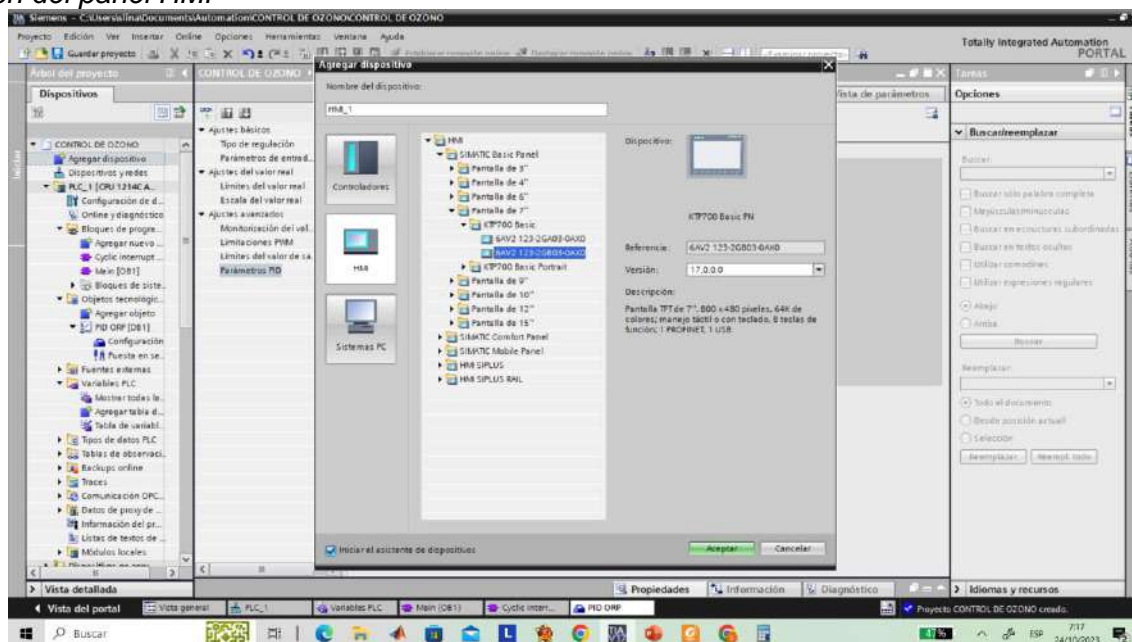
La figura 39, muestra la configuración interna del PID.

Figura 39
Configuración interna del PID.

Nombre en la vista de funciones	Nombre en DB	...	Valor de arranque e...	Valor mínimo	Valor máxi...	Comentario
Magnitud física	PhysicalQuantity	<input checked="" type="checkbox"/>	General			Selección de la magnitud física.
	PhysicalQuantity	<input checked="" type="checkbox"/>	0			Selección de la magnitud física.
Unidad física	PhysicalUnit	<input checked="" type="checkbox"/>	%			Selección de la unidad física.
	PhysicalUnit	<input checked="" type="checkbox"/>	0			Selección de la unidad física.
Invertir sentido de regulación	..InvertControl	<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE			Activa la inversión del sentido de regula...
Activar Mode tras rearmar la CPU	RunModeByStartup	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE			Activa el modo de operación guardado...
Poner Mode a	Mode	<input checked="" type="checkbox"/>	Modo automático	0	4	Selección del modo de operación.
	Mode	<input checked="" type="checkbox"/>	3			Selección del modo de operación.
Selección Input	..InputPerOn	<input checked="" type="checkbox"/>	Input_PER (análogi...			Selección del valor real.
	..InputPerOn	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE			Selección del valor real.
Selección Output	..OutputPerOn	<input checked="" type="checkbox"/>	Output_PER (análog...			Selección del valor de salida.
Límite superior del valor real	..InputUpperLimit	<input checked="" type="checkbox"/>	120.0	% > 0.0	%	Entrada del límite superior del valor real.
Límite inferior del valor real	..InputLowerLimit	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0	%	< 120.0 %	Entrada del límite inferior del valor real.
Valor real superior escalado	..UpperPointOut	<input checked="" type="checkbox"/>	100.0	% > 0.0	%	Entrada del valor real superior escalado.
Valor real inferior escalado	..LowerPointOut	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0	%	< 100.0 %	Entrada del valor real inferior escalado.
Input_PER abajo	..LowerPointIn	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0		< 27648.0	Entrada del valor inferior de Input_PER.
Input_PER arriba	..UpperPointIn	<input checked="" type="checkbox"/>	27648.0	> 0.0		Entrada del valor superior de input_PER.
Lím. sup. advertencia	..InputUpperWarni...	<input checked="" type="checkbox"/>	3.402822E+38	% > -3.402...	%	Entrada del límite superior de advertenc.
Lím. inf. advertencia	..InputLowerWarni...	<input checked="" type="checkbox"/>	-3.402822E+38	%	< 3.402...	Entrada del límite inferior de advertencia
Tiempo conexión mín	..MinimumOnTime	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0	s 0.0	s 100000.0 s	Entrada del tiempo de conexión mínimo.
Tiempo desconex. mín	..MinimumOffTime	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0	s 0.0	s 100000.0 s	Entrada del tiempo de desconexión mín.
Lím. sup. valor de salida	..OutputUpperLimit	<input checked="" type="checkbox"/>	100.0	% > 0.0	% 100.0 %	Entrada del límite superior del valor de s
Lím. inf. valor de salida	..OutputLowerLimit	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0	% -100.0	% < 100.0 %	Entrada del límite inferior del valor de sa
Poner Output a		<input checked="" type="checkbox"/>	Valor de salida susti.			Selección de Output en caso de error.
	ActivateRecoverMo...	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE			La variable ActivateRecoverMode V2 det.
	SetSubstituteOutput	<input checked="" type="checkbox"/>	TRUE			Activa el valor de salida sustitutivo confi.
Valor de salida sustitutivo	SubstituteOutput	<input checked="" type="checkbox"/>	0.0	% 0.0	% 100.0 %	Entrada del valor de salida sustitutivo.
Activar entrada manual		<input checked="" type="checkbox"/>	FALSE			Activa la entrada MANUAL de parámetros.
Ganancia proporcional	..Gain	<input checked="" type="checkbox"/>	1.0	0.0		Entrada de la ganancia proporcional.
Tiempo de integración	..Ti	<input checked="" type="checkbox"/>	20.0	s 0.0	s 100000.0 s	Entrada del tiempo de integración.

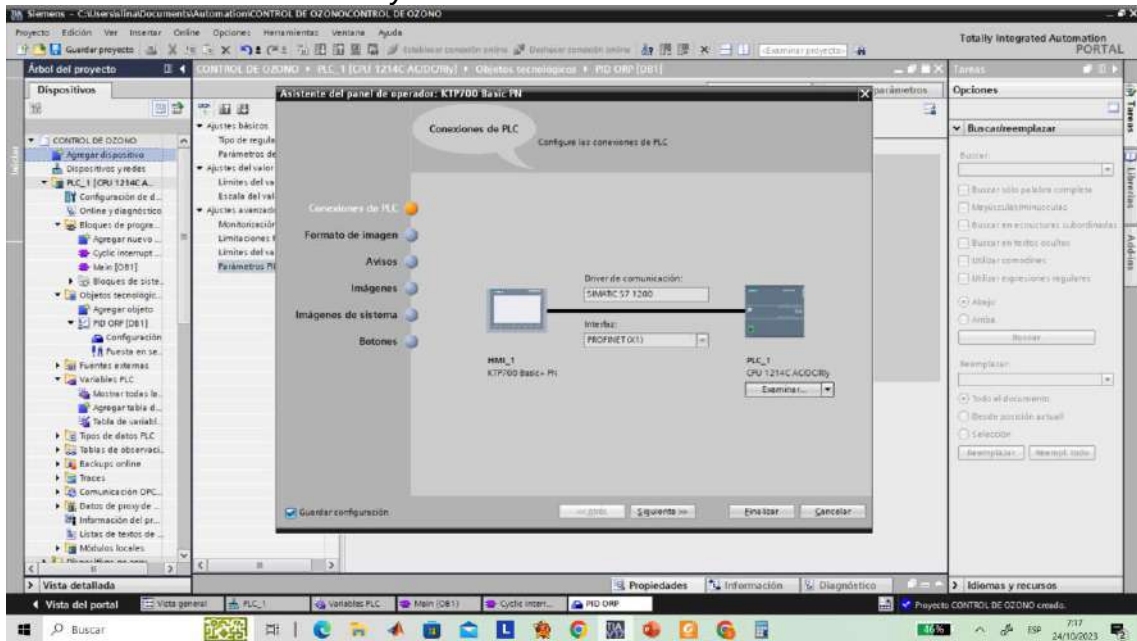
En la figura 40, se muestra la selección del HMI a través del software TIA Portal, con la finalidad de visualizar el estado de las variables Nivel, PPM, ORP

Figura 40
Selección del panel HMI



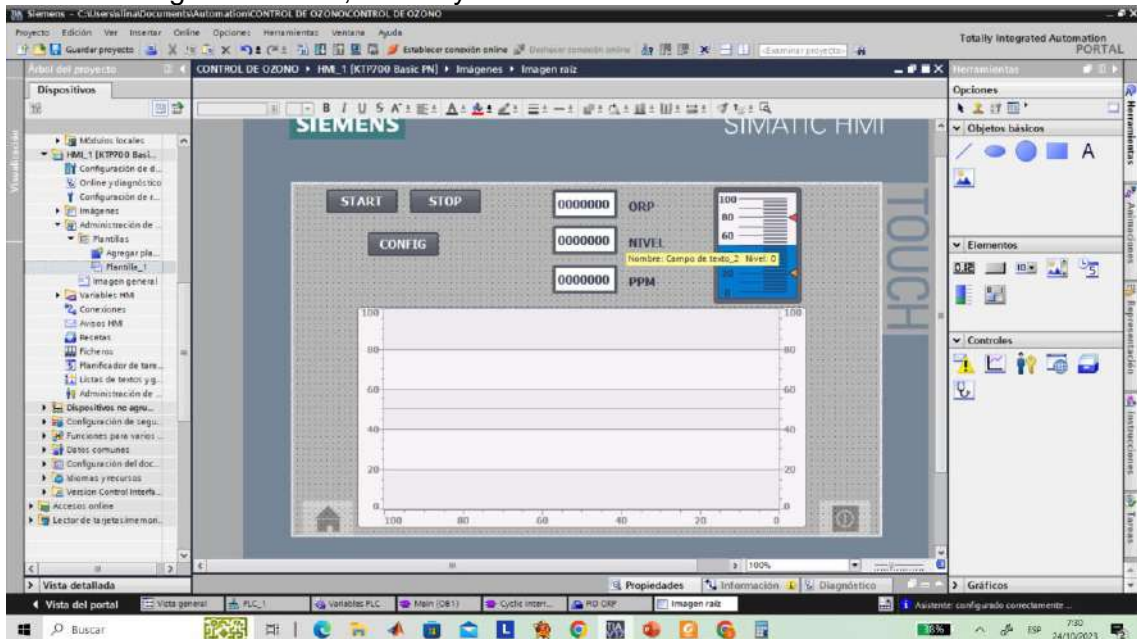
En la figura 41, se muestra la conexión del HMI y el controlador a través del software TIA Portal, con la finalidad de visualizar el estado de las variables Nivel, PPM, ORP

Figura 41
Configuración de la *conexión del HMI y el controlador*



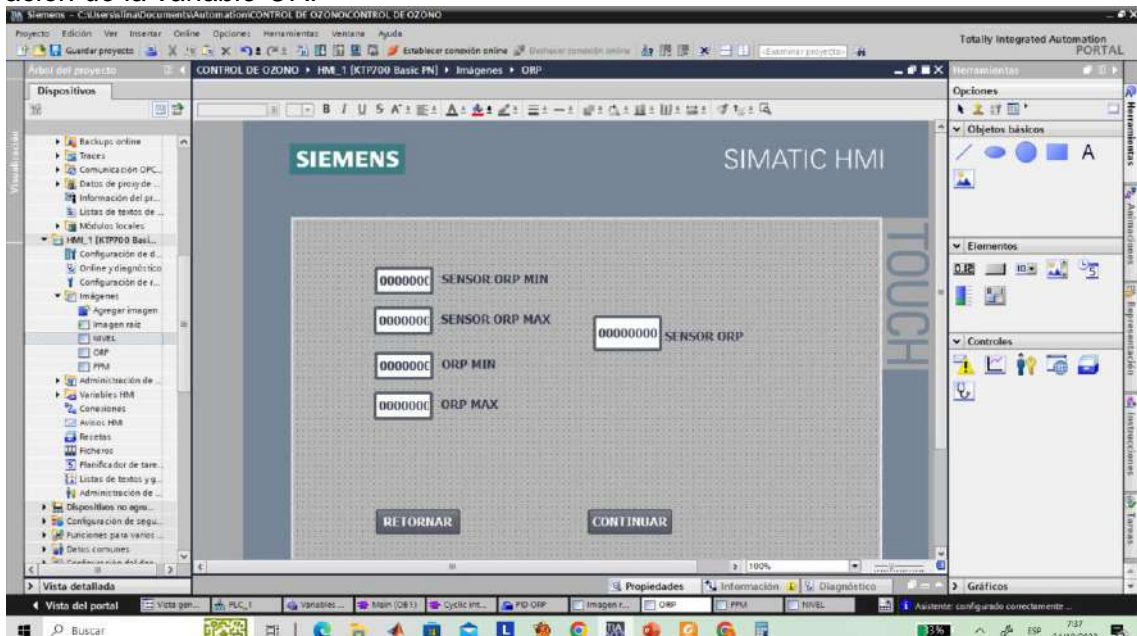
En la figura 42, se muestra la configuración de los gráficos de ORP, NIVEL y PPM.

Figura 42
Configuración de los gráficos ORP, NIVEL y PPM



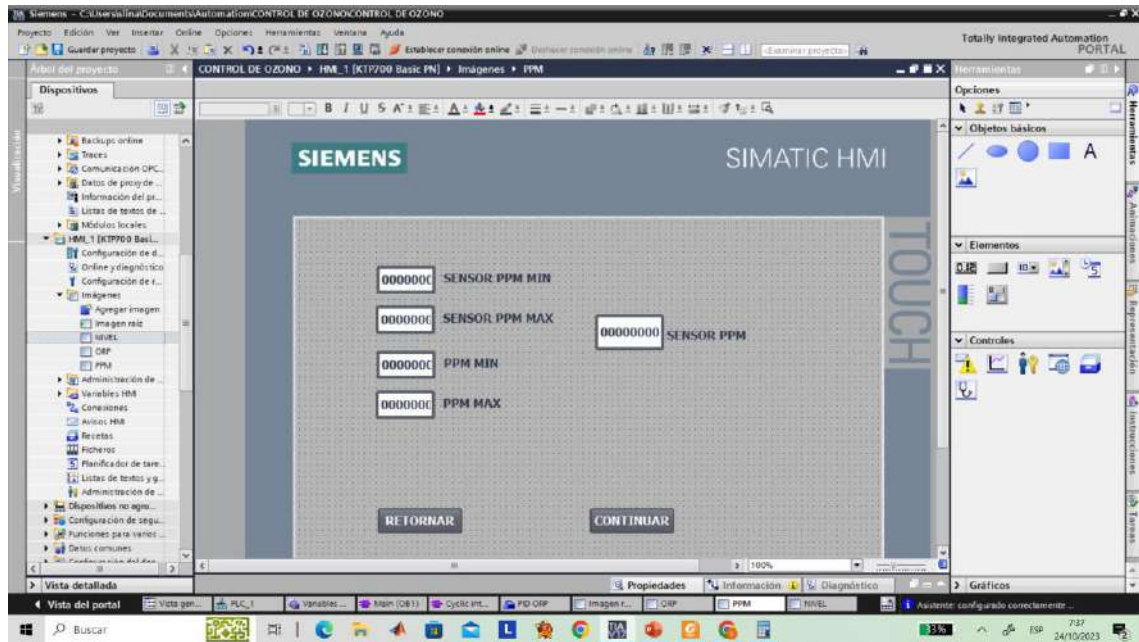
En la figura 43, se muestra la configuración de la variable ORP, a través del software TIA PORTAL v17.

Figura 43
Configuración de la variable ORP



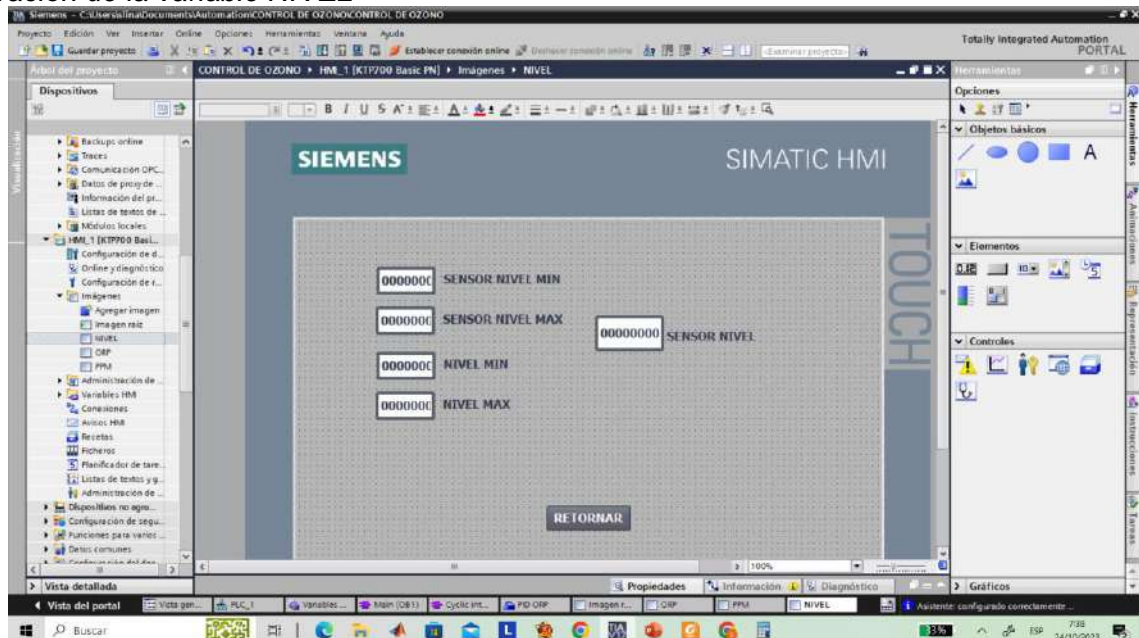
En la figura 44, se muestra la configuración de la variable PPM, a través del software TIA PORTAL v17.

Figura 44
Configuración de la variable PPM



En la figura 45, se muestra la configuración de la variable Nivel, a través del software TIA PORTAL v17.

Figura 45
Configuración de la variable NIVEL



En la figura 46, se muestra los parámetros de ORP, NIVEL y PPM.

Figura 46
Parámetros ORP, NIVEL y PPM.

The screenshot shows the Siemens SIMATIC Manager interface for configuring curves. The main window displays a graphical area with a 'CONFIG' button and three numerical input fields: '+000,00 NIVEL', '+000,00 PPM', and '+00000,0'. Below the main window, a 'Propiedades' (Properties) table lists the configuration for each curve.

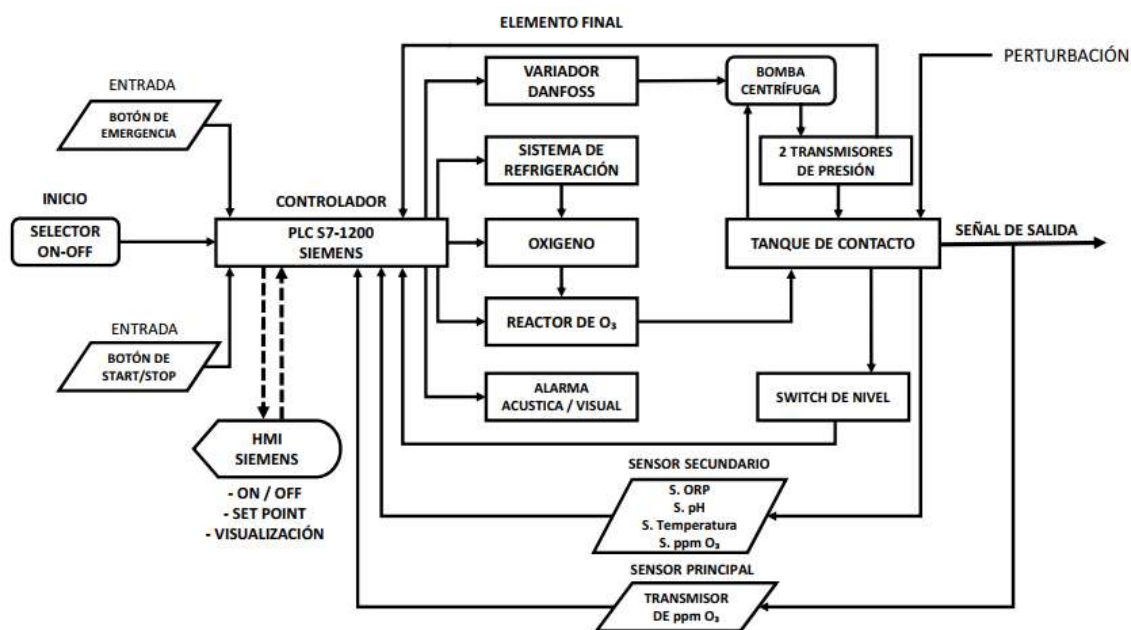
Nombre	Estilo	Valores	Tipo Curva	Configurac...	Página	Límites
DPR		999	Tempo real...	[ORP]	Izquierda	
PPM		999	Tempo real...	[PPM]	Izquierda	
NIVEL		999	Tempo re...	[NIVEL]	Izqui...	
<Agregar>						

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

La propuesta de control está basada en un sistema realimentado con controlador PLC S71200, y un controlador PID que se encargara de mantener el nivel de ORP constante, controlando el reactor de oxígeno. Las variables a supervisar la ppm de oxígeno, el ORP. El sensor de nivel que se ha considerado es de tipo ON/OFF porque solamente va a indicar el estado del tanque.

Figura 47

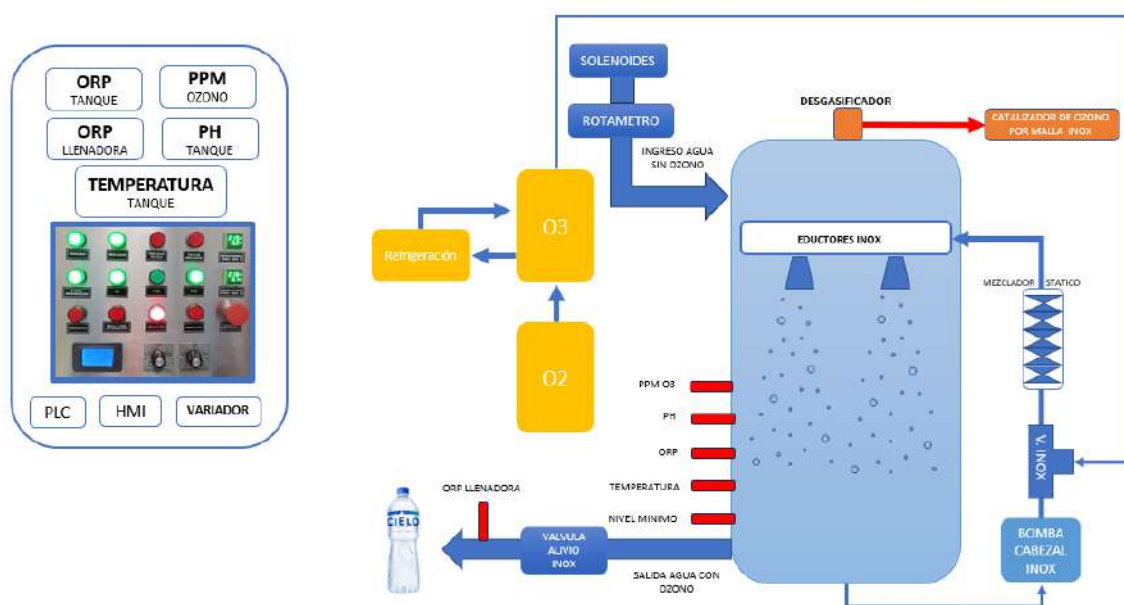
Control de encendido y ejecución del sistema de ozono



Para el proceso de fabricación de ozono de uso agrícola, se muestra en la figura 48 que el control es netamente manual y el tablero es utilizado solamente para la visualización de variables y señalizaciones de alerta.

Figura 48

Control del sistema para la producción de ozono



En la selección de la instrumentación para el control del potencial de reducción de oxidación, se han considerado los siguientes instrumentos:

Tabla 8

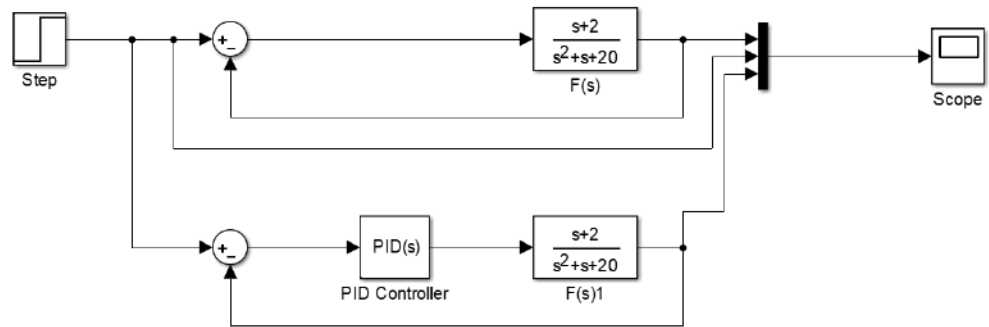
Selección de la instrumentación

INSTRUMENTO	CARACTERÍSTICAS
Controlador	SIEMENS CPU 1214C AC/DC/RLY
Panel HMI	Siemens KTP 700
Sensor ORP	METTLER TOLEDO
Sensor PPM	DOG-208FA
Sensor de Nivel	Pointek CLS100

Para el diseño de la estrategia de control del proceso de fabricación de ozono para uso agrícola, se muestra el modelo del sistema actual sin controlar y con controlador PID, realizando en simulink de Matlab.

Figura 49

Modelo del sistema actual sin controlador y con controlador PID



CONCLUSIONES

- Se logró mantener estable el potencial de reducción de oxidación haciendo uso del controlador lógico programable.
- Se Describió el proceso de fabricación de ozono para uso agrícola, el cual consiste en los 3 pasos que se mencionan en la figura 10, que son: Control de sistema, producción de ozono y mezcla bifase.
- Se seleccionó la instrumentación para el control del potencial de reducción de oxidación, haciendo uso del sensor de ORP, sensor de ppm, sensor de nivel capacitivo, el controlador S7_1200 y panel HMI.
- Se diseñó la estrategia de control del proceso de fabricación de ozono para uso agrícola, consiste en un sistema realimentando negativamente a través del controlador PID y seteo con un panel HMI.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar el estudio del control, a través de otras variables del proceso como, por ejemplo: ppm.
- Se recomienda hacer el estudio de la influencia del control de caudal de agua en la generación de ozono.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Azuero, A. Á. (diciembre de 2019). *Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación*. KOINONIA, IV, 110-127.
Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=7062667>
- C Kuo, Benjamin. (1996). *Sistemas de control automático*. Prentice Hall
- Espinoza, E. (2021). *Diseño y construcción de un prototipo automatizado para desinfectar agua superficial usando ozono y radiación ultravioleta en el aeropuerto de Jaén*. Jaén.
- González, J., Bataller, M., Veliz, E., & Valdés, R. (30 de diciembre de 2022). Aplicaciones del ozono en la agricultura cubana. *Academia de Ciencias de Cuba*, págs. 1-8.
- Granados, J. (2023). *Desarrollo de un prototipo generador de ozono (O3) alimentado por fotocelda para su uso en la agricultura*. México.
- Hernández, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación: Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta*. Santa Fe: McGRAW-HILL Interamericana Editores S.A. Obtenido de <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1292/1/Hern%C3%A1ndez-%20Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n.pdf>
- Hernández-Samíeri, R., & Mendoza, C. P. (2018). *Metodología de la investigación*. Mc Graw Hill. Obtenido de <http://repositorio.uasb.edu.bo:8080/bitstream/54000/1292/1/Hern%C3%A1ndez-%20Metodolog%C3%ADa%20de%20la%20investigaci%C3%B3n.pdf>

- José Ramírez Villapudua and Abel Sáinz Rodríguez. (2010, Abril) Producción de ozono. [Online]. <http://www.monografias.com/trabajos81/ozono-agriculturay-bienestar/ozono-agricultura-y-bienestar2.shtml>
- López, R., Avello, R., Palmero, E., Sánchez, S., & Quintana, M. (2019). Validación de instrumentos como garantía de la credibilidad en las investigaciones científicas. *Revista Cubana de Medicina Militar*, 48(2).
- Mercado et al. (2018). Efecto de la ventilación natural en el consumo energético de un edificio bioclimático. Análisis y estudio mediante energy plus. *Revista hábitat sustentable*, 8(1), 54-67. doi:<http://dx.doi.org/10.22320/07190700.2018.08.01.05>
- Mezén, C., & Henriquez, J. (2021). *Diseño de un robot generador de ozono con inteligencia artificial a control remoto*. Honduras.
- Ministerio de Energía y Minas. (2019). *Anuario estadístico de electricidad 2018*. Obtenido de http://www.minem.gob.pe/_estadistica.php?idSector=6&idEstadistica=13285
- Ñaupas, H., Valdivia, M., Palacios, J. J., & Romero, H. E. (2018). *Metodología de la investigación* (Vol. 5). Bogota: Ediciones U. Obtenido de https://books.google.com.pe/books?id=KzSjDwAAQBAJ&pg=PA162&dq=investigaci%C3%B3n+cuantitativa+hernandez&hl=es-419&sa=X&ved=2ahUKEwik4rn-IO_uAhWKTjABHarqDh0Q6AEwAnoECAYQAg#v=onepage&q&f=false
- Pilicita, A., & Cevallos, D. (2019). Innovación tecnológica de un sistema integral para monitorear el consumo eléctrico. *Ingenius. Revista de Ciencia y Tecnología*(22), 9-16. doi:<https://doi.org/10.17163/ings.n22.2019.01>

- Poveda, D., & Cifuentes, J. (2020). Incorporación de las tecnologías de información y comunicación (TIC) durante el proceso de aprendizaje en la educación superior. *Formación universitaria*, 13(6).
doi:<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-50062020000600095>
- Rivas, A., Almelda, Y., Noa, L., & Regueiro, A. (23 de 07 de 2023). Sistema para la caracterización de concentración de ozono. *Revista Estudiantil Nacional de Ingeniería y Arquitectura*, págs. 1-9.