

UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y GESTIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA Y
ELÉCTRICA**



**“AUTOMATIZACIÓN MEDIANTE CONTROLADOR LÓGICO
PROGRAMABLE LOGO 230RC DEL PROCESO DE OXIDACIÓN
AVANZADA COMO ALTERNATIVA PARA EL TRATAMIENTO DE
AGUA RESIDUAL”**

TRABAJO DE SUFICIENCIA PROFESIONAL

Para optar el Título Profesional de

INGENIERO MECÁNICO ELECTRICISTA

PRESENTADO POR EL BACHILLER

LERMA CHAIÑA, MIGUEL ANGEL

Villa El Salvador

2017

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mis padres Juan y Sonia y a mi tía Alejandra Ynes, que con sus consejos y orientaciones han hecho posible que pueda desarrollarme y culminar con éxito mis estudios profesionales.

AGRADECIMIENTO

A mis padres y mis maestros de la UNTELS por sus sabios consejos y aliento incondicional para obtener mi título profesional.

ÍNDICE

DEDICATORIA	II
AGRADECIMIENTO	III
ÍNDICE	IV
LISTADO DE FIGURAS	VI
LISTADO DE TABLAS	VIII
INTRODUCCIÓN	IX
CAPÍTULO I	11
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA.....	11
1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO.....	12
1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO.....	13
1.3.1 ESPACIAL.....	13
1.3.2 TEMPORAL.....	13
1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	13
1.5 OBJETIVOS.....	14
1.5.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
CAPÍTULO II	15
MARCO TEÓRICO	15
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	15
2.2 BASES TEÓRICAS.....	19

2.2.1 PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA APLICADOS AL TRATAMIENTO DE AGUAS	19
2.2.2 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL	54
2.2.3 PLC SIEMENS LOGO 230 RC	67
2.3 MARCO CONCEPTUAL	76
CAPÍTULO III	81
DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROYECTO	81
3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO AUTOMATIZADO.....	81
3.2 DESARROLLO DEL AUTOMATISMO DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA	84
3.3 REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS	95
CONCLUSIONES.....	98
RECOMENDACIONES.....	99
BIBLIOGRAFÍA.....	100
BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA	104

LISTADO DE FIGURAS

FIGURA N° 1: TRATAMIENTO DE AGUAS CON OZONO	26
FIGURA N° 2: PROCESO FENTON A NIVEL INDUSTRIAL.....	33
FIGURA N° 3: ESQUEMA DE AGUAS INYECTADAS.....	36
FIGURA N° 4: ESQUEMA OXIDACIÓN CON AIRE HUMEDO	41
FIGURA N° 5: LAMPARA UV	46
FIGURA N° 6: PROCESO DE FOTOCATÁLISIS.....	47
FIGURA N° 7: ESTRUCTURA DE LA FTALOCIANINA	48
FIGURA N° 8: CATÁLISIS DE LA RECCIÓN ENTRE EL OXIDANTE B Y EL REDUCTOR A.....	51
FIGURA N° 9: SISTEMA DE CONTROL MANUAL DE NIVEL.....	55
FIGURA N° 10: SÍMBOLOS BASICOS DE LADDER.....	62
FIGURA N° 11: EJEMPLO DE UN PROGRAMA EN LADDER	63
FIGURA N° 12: CAMBIOS DE ESTADO.....	64
FIGURA N° 13: REPRESENTACIÓN DE UNA SALIDA EN LADDER	65
FIGURA N° 14: CONTADOR ASCENDENTE Y DESCENDENTE	66
FIGURA N° 15: OPERACIONES MATEMÁTICAS BÁSICAS.....	67
FIGURA N° 16: ESTRUCTURA DEL LOGO 230 RC	69
FIGURA N° 17: ESQUEMA DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA A AUTOMATIZAR	83
FIGURA N° 18: BOMBA_MUESTRA	84
FIGURA N° 19: BOMBA_DOSIFICADORA DE PERÓXIDO DE HIDROGENO	85
FIGURA N° 20: LÁMPARA ULTRA VIOLETA.....	86

FIGURA N° 21: OZONIZADOR.....	87
FIGURA N° 22 ESQUEMA DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA ESPECIFICANDO TIEMPOS.....	89
FIGURA N° 23: CIRCUITO DE MANDO DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA	91
FIGURA N° 24: PROGRAMACIÓN DEL PLC - SEGMENTO DE DOSIFICACIÓN CON PERÓXIDO DE HIDROGENO	91
FIGURA N° 25: PROGRAMACIÓN DEL PLC - SEGMENTO DE LÁMPARA DE LUZ ULTRAVIOLETA T2 = 20MIN (REAL)	92
FIGURA N° 26: PROGRAMACIÓN DEL PLC - SEGMENTO DE OZONIZADOR T3 = 30MIN (REAL)	93
FIGURA N° 27: CONEXIÓN DE I/O CON PLC	94
FIGURA N° 28: EJECUCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DEL PLC LOGO - ETAPA 1.....	95
FIGURA N° 29: EJECUCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DEL PLC LOGO - ETAPA 2.....	96
FIGURA N° 30: EJECUCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DEL PLC LOGO - ETAPA 3.....	97

LISTADO DE TABLAS

TABLA N° 1: POTENCIAL DE OXIDACIÓN.....	22
TABLA N° 2: PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA MÁS UTILIZADOS .	23
TABLA N° 3: VALORES DE CT	28
TABLA N° 4: VARIANTES DISPONIBLES	70
TABLA N° 5: MODULOS DE AMPLIACIÓN	70
TABLA N° 6: CONFIGURACIÓN MÁXIMA DE UN LOGO SIN ENTRADAS ANALÓGICAS	70
TABLA N° 7: PROPIEDADES DE LOS SENSORES	71
TABLA N° 8: RECURSOS DISPONIBLES EN LOGO!.....	72
TABLA N° 9: OCUPACIÓN DE LA MEMORIA PARTE A.....	72
TABLA N° 10: OCUPACIÓN DE LA MEMORIA PARTE B.....	73
TABLA N° 11: FUNCIONES ESPECIALES PARTE A.....	73
TABLA N° 12: FUNCIONES ESPECIALES PARTE B.....	74
TABLA N° 13: FUNCIONES ESPECIALES PARTE C	74
TABLA N° 14: FUNCIONES ESPECIALES PARTE D	75
TABLA N° 15: RETARDO A LA CONEXIÓN.....	75
TABLA N° 16: CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA_MUESTRA	85
TABLA N° 17: CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA_DOSIFICADORA DE PERÓXIDO DE HIDROGENO	86
TABLA N° 18: CARACTERÍSTICAS DE LA LÁMPARA UV	87
TABLA N° 19: CARACTERÍSTICAS DEL OZONIZADOR	88

INTRODUCCIÓN

A pesar de la indiscutible importancia económica, las industrias presentan problemas significativos de contaminación al ambiente. Algunas tipologías industriales, tales como: textil, papel, químico, farmacéutico, minera entre otras, generan grandes volúmenes de efluentes de naturaleza principalmente refractaria. Además de que estos efluentes se reconocen por la capacidad de aumentar la cantidad de sustancias tóxicas lanzadas en los cuerpos de agua, afectando los ecosistemas acuáticos.

De esta forma, la presencia de órgano clorados en los efluentes es preocupante debido a los grandes riesgos en términos de mutagénicos, cancerígenos y tóxicos provocados al ecosistema acuático. En función de este panorama, el vertimiento de efluentes industriales que contienen compuestos biorefractarios y órgano clorados se ha convertido en un asunto de relevancia actual, debido principalmente a recalcitrancia para la degradación biológica, toxicidad para las especies acuáticas, genotoxicidad y potencialidad de acumularse en los organismos.

La Unidad Minera Cerro Lindo es uno de los principales productores de Zinc, Plomo y Cobre en el Perú, los mismos que hacen uso de agua para su procesamiento, motivo por el cual es necesario e imperante el uso de procedimientos para el tratamiento de agua y su reutilización.

En esa búsqueda de garantizar el óptimo proceso de tratamiento de agua es que se desarrolla tecnologías de oxidación avanzada que contribuyen en el tratamiento y mejora de la calidad de las aguas contaminadas, en especial de los efluentes de las industrias mineras.

Con la finalidad de aportar para el desarrollo de alternativas automatizadas para el tratamiento de agua es que he dividido mi proyecto de Ingeniería en 3 capítulos.

En el Capítulo I, describo el planteamiento del problema, que está basado en la falta del uso de la tecnología para garantizar el tratamiento y reutilización del agua como parte de la política de reciclado de la Unidad Minera Cerro Lindo – Milpo.

En el Capítulo II, describo el marco teórico en la cual se sustenta mi propuesta de solución, referente a la automatización de procesos industriales mediante el controlador lógico Programable Siemens LOGO 230RC, especificando las características de la función temporizador y su aplicación sobre el proceso de oxidación avanzada.

Finalmente en el Capítulo III, describo el desarrollo de mi propuesta, que consiste en realizar un análisis respecto a los sub procesos que forman parte del proceso de oxidación avanzada, como sistema de reutilización de agua, para luego proponer el diseño de un automatismo basado en el controlador LOGO 230 RC, finalmente realizar la consolidación de resultados.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD PROBLEMÁTICA

Actualmente la Unidad Minera Cerro Lindo – Milpo utiliza el agua para sus procesos de extracción de metales, generando así un alto nivel de volumen de efluente, y que muchas veces se va al río, contaminado en gran nivel el medio ambiente y el eco sistema. En ese sentido es casi imperante la necesidad utilizar políticas para el tratamiento de agua y su reutilización en actividades tales como regadío de plantaciones relacionadas a la higiene y limpieza.

En este contexto global, las aguas contaminadas por ausencia o inadecuado tratamiento son una de las peores amenazas para la salud y el desarrollo humano, además de suponer una creciente presión sobre los ecosistemas.

La industria consume entre un 5 y un 20% del agua disponible, y a su vez genera una significativa parte de la contaminación de las aguas. En comparación con el bajo volumen de agua utilizado, los efluentes industriales generan una significativa presión en el medio debido su alta potencialidad contaminante. Este hecho es especialmente preocupante si se tiene en cuenta que cerca del 70% de las aguas de consumo han tenido un anterior uso productivo, según la Organización Mundial de la Salud.

En ese sentido el problema principal es que actualmente la Unidad Minera Cerro Lindo – Milpo, no realiza ningún proceso de tratamiento de agua ni hace uso de la tecnología para reutilizar este recurso, como parte de una política de reciclado.

1.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto se justifica que a partir de la automatización mediante el controlador Lógico Programable Logo 230RC del proceso de oxidación avanzada se genera una alternativa para el tratamiento de agua residual, la misma que podrá ser reutilizada.

Y es que esta alternativa tendrá el propósito de ser utilizada en diversos procesos en los cuales se utilice el agua y es que cada vez es más común la presencia de compuestos persistentes en las aguas de consumo, aguas superficiales o en los efluentes de las depuradoras, siendo esta una prueba fehaciente de la necesidad de procesos más intensivos en la destrucción de sustancias contaminantes.

La tecnología de oxidación avanzada se ha consolidado como una alternativa eficiente en la destrucción de sustancias tóxicas, incluyendo las orgánicas, inorgánicas, metales o patógenos, y apoyándose en la automatización de procesos industriales se garantizará la calidad en el tratamiento del agua.

1.3 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO

1.3.1 ESPACIAL

El proyecto se desarrollará en la Minera Cerro Lindo - Milpo, se ubica en el distrito de Chavín, provincia de Chincha, departamento de Ica, a 60 Km. de la Costa, en la carretera de la panamericana sur, a una altitud de 1820 msnm.

1.3.2 TEMPORAL

El proyecto de ingeniería comprende el periodo Septiembre de 2016 a Noviembre de 2016.

1.4 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

¿Cómo garantizar el tratamiento de agua y su reutilización en la Unidad Minera Cerro Lindo – Milpo a través del proceso de Oxidación Avanzada automatizado mediante controlador Lógico Programable LOGO 230RC?

1.5 OBJETIVOS

1.5.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar el automatismo del proceso de oxidación avanzado mediante controlador Lógico programable LOGO 230RC, para el tratamiento de agua, en la Unidad Minera Cerro Lindo - Milpo.

1.5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar si es posible y de qué manera se puede establecer una relación entre los elementos de entrada y salida del proceso de oxidación avanzada con la finalidad de automatizarlo.
- Determinar si es posible y de qué manera los subsistemas del proceso de Oxidación Avanzada se pueden integrar a través de un sistema automatizado con PLC.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Zambrano (2013), en su tesis titulada “Automatización del Proyecto de Aguas Residuales en TECNOVA S.A”, para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Mecánica y Eléctrica en la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil, concluye que: “Al tener procesos automatizados nos aseguramos en disminuir en gran cantidad el tiempo de parada en producción de ciertas áreas que podría ser consecuencia de la escasez de agua para etapas importantes como es el proceso de carga eléctrica de las baterías. Una vez concluidos los objetivos trazados en el proyecto se puede decir que esta planta de tratamiento de aguas residuales es mucho más eficiente que la que se tenía antes de la automatización. El ahorro económico es significativo en relación a varios aspectos, entre ellos; disminución del consumo de agua potable, disminución de tiempo de

parada en la producción, disminución de riesgos eléctricos y así aumentando la vida útil de ciertos elementos del proyecto”.¹

Barrera (2013), en su tesis titulada “Propuesta de Automatización en la dosificación de químicos para la planta de tratamiento de agua potable en Vélez Santander”, para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Electrónica en la Universidad Industrial de Santander de Bucaramanga, concluye que: “Se captó la necesidad de implementar mecanismos de automatización para el control más seguro de las sustancias que se le suministren al agua y que puedan ser perjudiciales para la comunidad. Se analizó el modus operandi de la planta, y se concluyó que el personal debe realizar capacitaciones relacionadas con procesos de automatización, además, deben documentarse con temas relacionados con químicos, procesos industriales y automáticos”.²

Marín (2012), en su tesis titulada “Diseño y simulación del sistema de automatización y control del proceso de floculación para una planta de tratamiento de agua potable utilizando protocolo de comunicación CANOPEN” para optar el Título de Ingeniero en Ingeniería Eléctrica en la Universidad Tecnológica de Pereira de Risaralda, concluye que: “La

¹ZAMBRANO, W. (2013). Automatización del Proyecto de Aguas Residuales en TECNOVA S.A. (Tesis de Pre Grado). Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador.

² BARRERA, E. (2013). Propuesta de Automatización en la dosificación de químicos para la planta de tratamiento de agua potable en Vélez Santander. (Tesis de Pre Grado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

automatización industrial representa una solución a un sin número de problemas que se presentan en este sector de la economía ya que gracias a sus aplicaciones las operaciones en la empresas se vuelven más eficientes y rentables. El hecho de implementar automatización garantiza que las operaciones que se harán serán las más adecuadas para el sistema teniendo en cuenta las condiciones reales y las requeridas para la correcta ejecución de las diversas operaciones. El establecer una red de comunicación permite contar con información del sistema en tiempo real de modo que se puedan tener criterios de decisión y se puedan realizar cambios en el proceso todo desde una consola de operación. Esto evita ciertos riesgos para operarios y para el sistema en sí”.³

Restrepo (2007), en su libro titulado “Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento”, señala que: “Actualmente uno de los mayores problemas que más preocupa a la humanidad son los gran contaminantes que se desechan en el agua; el tratamiento de aguas residuales se convierte entonces en la alternativa más efectiva para evitar el deterioro del recurso hídrico. En este sentido, el tratamiento mediante Procesos de Oxidación Avanzada (POA) de aguas contaminadas con productos orgánicos tóxicos y/o difícilmente biodegradables se perfila como un método adecuado y con grandes posibilidades de desarrollo a corto plazo”.⁴

³MARIN, A. (2012). Diseño y simulación del sistema de automatización y control del proceso de floculación para una planta de tratamiento de agua potable utilizando protocolo de comunicación CANOPEN. (Tesis de Pre Grado). Universidad Tecnológica de Pereira, Risaralda, Colombia.

⁴RESTREPO, I. (2007). Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento. Cali, Colombia: UNIVERSIDAD DEL VALLE

Mandado (2009), en su libro titulado “Autómatas programables y sistemas de automatización”, señala que: “El aumento de la capacidad de integración ha permitido a algunos fabricantes introducir en un único circuito integrado, que contiene un microcontrolador diseñado a medida, todos los elementos de un autómata programable, incluido un controlador de pantalla visualizadora (display). Si dicho circuito integrado se coloca en un bastidor con un módulo de entrada/salida de una determinada capacidad no ampliable se tiene un autómata programable compacto o no modular en el que se disminuye al máximo coste del sistema físico a expensas de limitar su campo de aplicación. Este tipo de autómatas programables comenzó a comercializarse en la década de 1990. Un ejemplo es el autómata programable 230 RC de la familia LOGO”.⁵

Cerdá (2014), en su libro titulado “Instalaciones eléctricas y automatismos”, señala que: “Los autómatas programables han supuesto una revolución en aquellas tareas donde se quiere automatizar un proceso. Los sistemas cableados se emplean en sistemas complejos donde un cambio en el programa o forma de actuar no implican un cambio en los elementos que lo integran. El emplear esta tecnología supone una serie de ventajas: Reducción de tiempo, reducción de costes de mano de obra, reducción de costes asociados al mantenimiento”.⁶

⁵MANDADO, E. (2009). Autómatas programables y sistemas de automatización. Barcelona, España: MARCOMBO

⁶CERDA, L. (2014). Instalaciones eléctricas y automatismos. Madrid, España: PARANINFO

2.2 BASES TEÓRICAS

2.2.1 PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA APLICADOS AL TRATAMIENTO DE AGUAS

García (2006). La cada vez más exigente reglamentación en materia de vertidos para su incorporación a las redes de saneamiento o su descarga directa al entorno obliga a los diversos sectores industriales a adecuar la calidad de sus efluentes mediante la implantación del método de tratamiento más adecuado.

La puesta en marcha de procesos de depuración innovadores, eficaces y fiables, acompañados de una creciente política de reciclado de aguas, es una solución que muestra un interés creciente.

En este sentido, el tratamiento mediante Procesos de Oxidación Avanzada (POA) de aguas contaminadas con productos orgánicos tóxico y/o difícilmente biodegradable se perfila como un método adecuado y con grandes posibilidades de desarrollo a corto plazo. Este tipo de procesos implican la formación de radicales hidroxilo (OH^*), altamente reactivos y con un elevado potencial de oxidación, actuando como iniciadores del proceso de oxidación.⁷

⁷ GARCÍA, J. M. (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Madrid, España: CEIM

Las principales ventajas que presentan son las siguientes:

- ✚ Capacidad potencial para llevar a cabo una profunda mineralización de los contaminantes orgánicos y oxidación de compuestos inorgánicos hasta dióxido de carbono e iones (cloruros, nitratos...).
- ✚ Reactividad con la inmensa mayoría de compuestos orgánicos, hecho especialmente interesante dado que el tratamiento biológico secundario y los tratamientos químicos convencionales no consiguen una adecuada degradación de ciertos contaminantes.
- ✚ Descomposición de los reactivos utilizados como oxidantes en productos inocuos, por lo que entra en la categoría de tecnología limpia.
- ✚ Sistemas de tratamiento modulares, compactos y totalmente automatizables, permitiendo la posibilidad de operar tanto en continuo como en discontinuo.
- ✚ Los contaminantes se destruyen, no se concentran ni cambian de fase.
- ✚ Usualmente no generan barros que requieren tratamiento y/o eliminación.
- ✚ Son muy útiles para eliminar contaminantes refractarios que resisten otros métodos de tratamiento, principalmente el biológico. Mejoran la biodegradabilidad del agua residual, permitiendo acoplar un tratamiento biológico posterior.

- ✚ Generalmente mejoran las características organolépticas de las aguas tratadas.
- ✚ Sirven para tratar contaminantes a muy baja concentración.

Una gran cantidad de estudios recientes sobre el tratamiento de aguas residuales, se centran en la oxidación de los contaminantes orgánicos persistentes disueltos en el agua, compuestos refractarios a su detoxificación, mediante procesos biológicos convencionales.

Los Procesos de Oxidación Avanzada son especialmente útiles como pre-tratamiento antes de un tratamiento biológico frente a contaminantes resistentes a la biodegradación o como proceso de pos-tratamiento para mejorar las características de las aguas antes de la descarga a los cuerpos receptores.

La eficiencia de estas técnicas se debe en gran medida, como se ha indicado anteriormente, a la participación del radical hidroxilo, que proporciona procesos termodinámicamente más favorables y velocidades de oxidación superiores, que empleando otros métodos de oxidación. Los Procesos de Oxidación Avanzada han sido aplicados con éxito en el tratamiento de afluentes industriales con distintas problemáticas, entre las que se encuentran una elevada carga orgánica, una variabilidad importante en lo que respecta al caudal y composición o la presencia de compuestos tóxicos y/o difícilmente biodegradables.

Espece	Potencial de oxidación (V)
Flúor	3,03
Radical hidroxilo (OH)	2,8
Oxígeno atómico	2,4
Ozono	2,07
Peróxido de hidrógeno	1,78
Radical Per hidroxilo	1,7
Permanganato	1,68
Ácido hipo bromoso	1,59
Dióxido de cloro	1,57
Ácido hipocloroso	1,49
Ácido hipoiodoso	1,45
Cloro	1,36
Bromo	1,09
Yodo	0,54

TABLA N° 1: POTENCIAL DE OXIDACIÓN

Los métodos basados en la oxidación química o fotoquímica de dichos contaminantes constituyen un grupo de nuevas tecnologías denominadas genéricamente Procesos de Oxidación Avanzada.

Por otra parte, el principal inconveniente de estos sistemas radica en su coste, al precisar de adición de reactivos y de requerimientos energéticos significativos, variables en función de los casos.

Esto favorece aún más el acoplamiento entre los POA y un tratamiento biológico posterior, no siendo necesario llegar a una mineralización completa de los compuestos presentes en el efluente. Los Procesos de oxidación avanzada se clasifican en procesos fotoquímicos y no fotoquímicos, en función de la utilización o no de radiaciones luminosas en el proceso.

Procesos no fotoquímicos	Procesos fotoquímicos
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ozonización ▪ Ozonización con H_2O_2/O_3. ▪ Procesos Fenton (Fe^{2+}/H_2O_2) y relacionados ▪ Oxidación electroquímica ▪ Radiólisis y tratamiento con haces de electrones ▪ Plasma no térmico ▪ Descarga electrohidráulica y ultrasonidos ▪ Oxidación en agua sub y supercrítica 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Ultravioleta de vacío. ▪ UV/H_2O_2. ▪ UV/O_3 ▪ Foto-Fenton y relacionadas ▪ Fotocatálisis heterogénea: <ul style="list-style-type: none"> - Con semiconductores. - Con sensibilizadores orgánicos o complejos de metales de transición.

TABLA N° 2: PROCESOS DE OXIDACIÓN AVANZADA MÁS UTILIZADOS

2.2.1.1 PROCESOS NO FOTOQUÍMICOS

Los procesos de oxidación avanzada no fotoquímicos originan especies muy reactivas, principalmente el radical hidroxilo; a través de la transformación de especies químicas o mediante la utilización de distintas formas de energía, a excepción de la irradiación luminosa.

2.2.1.1.1 OZONIZACIÓN

La ozonización se define como “procesos de oxidación que implican la generación de radicales hidroxilo en cantidad suficiente para interaccionar con los compuestos orgánicos del medio”.

El método más ampliamente utilizado para la generación de ozono para el tratamiento de aguas son las descargas en corona, o también conocido como “descargas eléctricas silenciosas”.

Consiste en pasar oxígeno en forma gaseosa a través de dos electrodos separados por un dieléctrico y un hueco de descargas. Se aplica un voltaje a los electrodos, causando que un electrón fluya a través del hueco de descargas.

Esos electrones suministran la energía para disociar las moléculas de oxígeno, produciéndose así la formación de ozono.

La técnica se basa, fundamentalmente, en lograr un tiempo de contacto adecuado del agua, con la cantidad adecuada de ozono. Concentraciones de entre 0,5 y 0,8 mg/l de ozono durante unos tres o cuatro minutos son suficientes para conseguir una calidad de agua excepcional y desinfectada.

Tras el tratamiento, el ozono se descompone en oxígeno tras varios minutos no dejando ningún tipo de residual pero, por consiguiente, tampoco existirá ningún residual desinfectante que pudiera prevenir el crecimiento bacteriológico.

En los casos en los que sea necesario asegurar que el agua de consumo ha sido recién tratada con ozono, el sistema de ozonización se realizará en un depósito con un caudal de recirculación, en donde mediante un inyector venturi se añadirá la producción de

ozono adecuada, esta cantidad de ozono y por tanto, la concentración de ozono residual en el depósito depende, en primer lugar, de las características de producción del equipo, y en segundo lugar, del tiempo de funcionamiento y parada del mismo.

Es decir, mediante el temporizador, es posible aumentar y disminuir el tiempo de producción y de parada consiguiendo en estado estacionario una mayor o menor concentración de ozono.

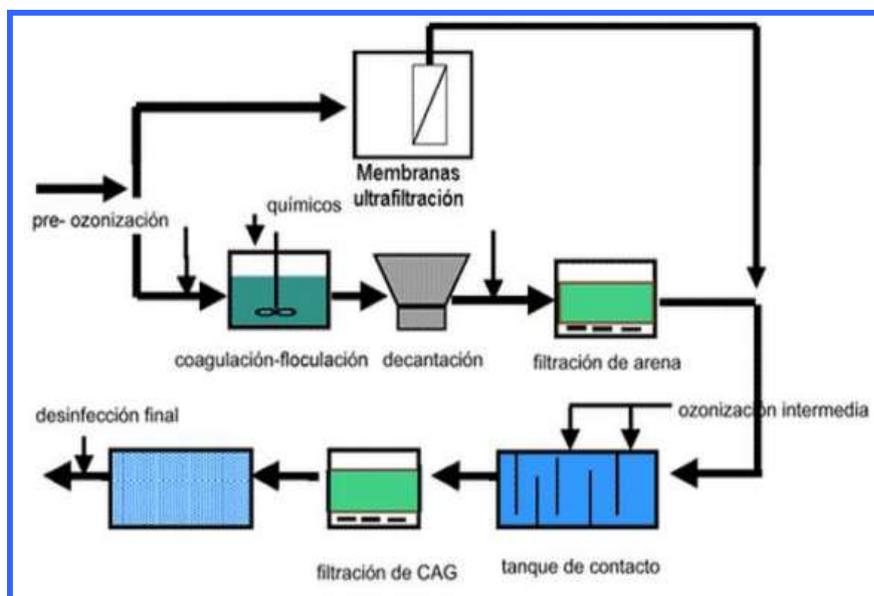


FIGURA N° 1: TRATAMIENTO DE AGUAS CON OZONO

Para sistemas más complejos de regulación y control puede instalarse una sonda de medición de ozono residual en el agua que actúe directamente sobre la producción del equipo para alcanzar el valor de consigna preestablecido como el ideal de concentración de ozono en el agua.

Los principales catalizadores que se utilizan en ozonización son:

- ✚ Los óxidos de metales de transición (manganeso, titanio, aluminio).
- ✚ Metales u óxidos soportados (cobre u óxido de titanio sobre alúmina).
- ✚ Carbón activo (GAC)
- ✚ Sistemas mesoporosos, como los silicatos MCM o SBA.

La dosis de desinfectante aplicado al agua está relacionada con un factor llamado "CT" que es resultado de la multiplicación de la concentración residual del desinfectante en el agua (mg/l) por el tiempo de contacto (minutos).

La práctica europea tiene contemplada la aplicación de 0,4 mg/l con un tiempo de contacto de 4 minutos, es decir, un CT = 1,6. Sin embargo, la EPA (Environmental Protection Agency) en EE.UU, señala que un CT = 0,72 aplicados al agua a 20°C es suficiente para desactivar 99,9 % de los parásitos transmitidos por el agua muy difíciles de matar y el 99,9% de virus entérico.

La diferencia entre la práctica europea de desinfección y la americana depende principalmente de la temperatura del agua.

Temperatura del agua °C	CT
<1	2,9
5	1,9
10	1,4
15	0,95
20	0,72
>25	0,48

TABLA N° 3: VALORES DE CT

La IBWA (International Bottled Water Associations) recomienda una dosis de 1 a 2 mg de ozono por litro de agua aplicados en un tiempo entre 4 y 10 minutos, manteniendo un

título de ozono residual de 0,1 a 0,4 mg/l por un tiempo de contacto de 4 a 10 minutos.

2.2.1.1.2 OZONIZACIÓN CON H₂O₂

La ozonización se realiza en medio alcalino para aumentar la velocidad de descomposición del ozono, incrementando así la velocidad de generación de radicales hidroxilo.

La generación de radicales hidroxilo puede ser aumentada con la adición de peróxido de hidrógeno (H₂O₂), ampliando la concentración de los mismos en el agua. Se logra una mejoría agregando agua oxigenada.

El uso de dos o más oxidantes combinados permite aprovechar los posibles efectos sinérgicos entre ellos, lo que produce una destrucción adicional de la carga orgánica. Sin embargo, como existe una gran dosis de empirismo en el uso de mezclas oxidantes, es difícil prever el rendimiento, que debe determinarse en ensayos de laboratorio.

Entre las posibles mezclas de agentes oxidantes, la combinación peróxido de hidrógeno y ozono es sin duda la más usada. El proceso pretende combinar la oxidación directa del ozono con la reacción rápida y poco selectiva de los radicales HO* con los compuestos orgánicos. El tratamiento ha resultado efectivo para descomponer compuestos organoclorados como tricloroetileno, tetracloroetileno, etc.

Por lo tanto, es excelente para el pos tratamiento de aguas sometidas a tratamientos de desinfección con cloro o dióxido de cloro.

Uno de los principales campos de aplicación es la degradación de plaguicidas presentes en aguas. También se ha usado en la decoloración de compuestos de aguas residuales de la industria papelera y otros procesos industriales.

El proceso es caro pero rápido, y puede tratar contaminantes orgánicos presentes en muy

bajas concentraciones (ppb), a pH entre 7 y 8;
la relación molar óptima O_3/H_2O_2 es $\cong 2:1$.

2.2.1.1.3 PROCESOS FENTON

Entre los procesos de oxidación avanzada, uno de los más económicos y efectivos es el proceso Fenton, descrito por primera vez en 1894 por H. J. H.

Fenton, que consiste en la adición de sales de Fe^{2+} en medio ácido para promover la descomposición catalítica del H_2O_2 en radicales HO^* los cuales son capaces de oxidar la materia orgánica y compuestos inorgánicos, como sulfuros presentes en el agua residual.

En el proceso Fenton, a nivel industrial ha de tenerse en consideración el equipamiento necesario para que pueda tener lugar la reacción.

Generalmente, se parte de un reactor principal que es donde tiene lugar el proceso de Fenton en modo discontinuo.

El reactor de cocheda consiste en un depósito no presurizado, el cual mantiene las condiciones atmosféricas, y dispone de una serie de bombas externas para poder adicionar el agente para el ajuste de pH (ya sea ácido o base), y dosificar el sulfato de hierro (II) y el peróxido de hidrógeno (35-50%) en disolución.

La adición de los reactivos se lleva a cabo de la siguiente manera: el agua residual seguida del ácido o la base para ajustar el pH, el cual debe ser añadido muy poco a poco para no alterar la temperatura interna.

A continuación se añade el reactivo Fenton, cantidad óptima necesaria para el proceso. Una vez transcurrido el tiempo de reacción, y habiendo alcanzado el nivel de degradación oportuno, se pasa el agua residual a un tanque de neutralización para adicionar una base y, de esta manera, precipitar el hidróxido de hierro.

Éste se hace coagular en un tanque de floculación mediante un agente coagulante.

Una vez separadas estas dos fases se obtendrá un efluente tratado.

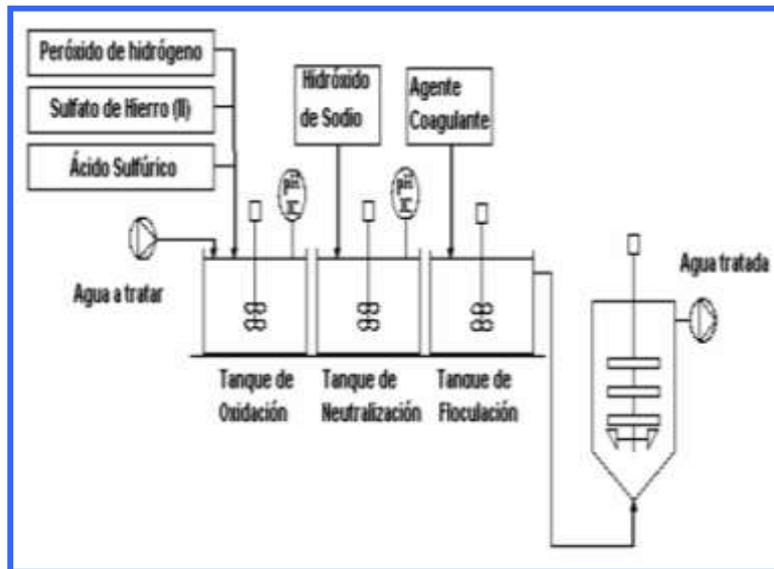


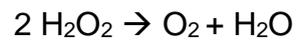
FIGURA N° 2: PROCESO FENTON A NIVEL INDUSTRIAL

La dosis de peróxido de hidrógeno influye fundamentalmente sobre la eficacia del proceso, mientras que la concentración de hierro afecta a la cinética.

Tanto la eficacia como la velocidad de la reacción tienden a aumentar con la concentración de los reactivos. Sin embargo, un exceso de hierro da lugar a una disminución de la eficacia debido a la activación de reacciones secundarias no deseadas, como el caso de la formación de que puede precipitar.

Un exceso de peróxido de hidrógeno daría lugar a la degradación del mismo por los radicales hidroxilos.

Para averiguar la dosis óptima de los reactivos se parte de la concentración de DQO del afluente para poder obtener el peróxido de hidrógeno estequiométrico necesario para llevar a cabo la oxidación de la materia orgánica.



Dicha fórmula establece una relación entre la DQO (oxígeno necesario para oxidar la muestra) y el agente oxidante. La relación es de 1g de DQO= 0,03125 mol O₂= 0,0625 mol H₂O₂.

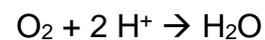
2.2.1.1.4 OXIDACIÓN ELECTROQUIMICA

Se clasifica como proceso avanzado de oxidación porque los electrones se transfieren al compuesto orgánico mediante la intervención de radicales hidroxilo. La principal

ventaja de este tipo de proceso es evitar la introducción de reactivos en disolución.

En la oxidación anódica, los compuestos orgánicos se oxidan mediante los radicales hidroxilos generados en un ánodo a partir de la oxidación de moléculas de agua.

En la oxidación electroquímica, los compuestos orgánicos reaccionan con oxidantes moleculares generados electroquímicamente, como es el caso del peróxido de hidrógeno que se produce en cátodos, de grafito, a partir del oxígeno disuelto en el medio:



La aplicación de la oxidación electroquímica al tratamiento de efluentes contaminados con compuestos orgánicos permite reducirlos, transformarlos o eliminarlos.

Mediante la selección adecuada de los electrodos y del electrolito, se generan

oxirradicales con un poder oxidante superior al de cualquier sustancia química oxidante convencional, los cuales dan lugar a la oxidación de la materia orgánica, dando como productos CO₂ Y H₂O.

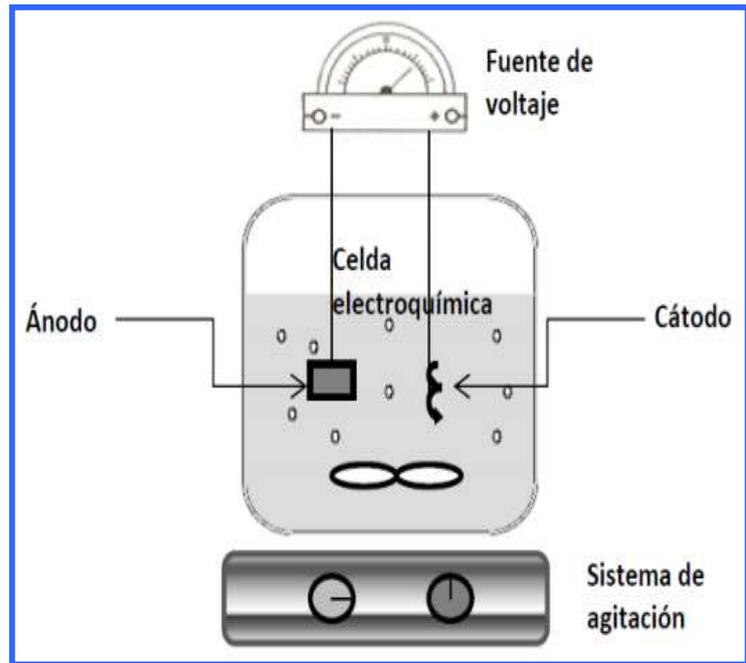


FIGURA N° 3: ESQUEMA DE AGUAS INYECTADAS

El proceso electroquímico posee las siguientes características básicas:

- ✚ Trabaja a presión atmosférica.
- ✚ Tiene fáciles puestas en marcha y paradas del sistema.
- ✚ La velocidad de la reacción está comandada por la densidad de corriente aplicada (A/m²).
- ✚ Temperatura inferior a 100°C.

- ✚ Sin intensidad la reacción o tratamiento se detiene.
- ✚ Es de fácil regulación de la capacidad de tratamiento (control desde intensidad máxima a cero).

2.2.1.1.5 RADIÓLISIS Y TRATAMIENTO CON HACES DE ELECTRONES

Este proceso de oxidación avanzada es ideal para el tratamiento de compuestos orgánicos volátiles (VOCs) y semivolátiles (SVOCs) en aguas subterráneas, residuales, potables y lixiviados. Ataca principalmente a compuestos, difícilmente oxidables y atacables por HO*. Los compuestos pueden ser mineralizados o bien degradados a productos de menor peso molecular. El método no genera residuos, barros u otros desechos que necesiten tratamiento posterior, ni compuestos tóxicos como las dioxinas. Una desventaja de este proceso es que si las dosis de radiación son bajas, se pueden formar aldehídos, ácidos orgánicos y SVOCs resistentes.

El proceso requiere alto consumo eléctrico, por lo tanto no es efectivo económicamente para

concentraciones altas de contaminantes. La combinación con ozono aumenta su eficiencia, debido a la rápida formación de especies reactivas adicionales.

2.2.1.1.6 PLASMA NO TÉRMICO

El plasma no térmico constituye una tecnología emergente cuya eficacia ha sido documentada. Diferentes investigaciones han demostrado la aplicabilidad de la tecnología de plasma no térmico para la eliminación de diferentes tipos de compuestos entre los que destacan: compuestos orgánicos volátiles (COV's), olores, materiales orgánicos como clorofluorcarburos (CFC), y los gases de combustión (como óxido de nitrógeno (NOx) y óxidos de azufre (SOx)) y reducción de partículas.

Básicamente la técnica consiste en la creación de un medio ionizado mediante el establecimiento de un campo eléctrico impulsado a través de los gases que deben tratarse.

Un plasma no térmico es un gas parcialmente ionizado en el cual la energía de los electrones es considerablemente mayor que la de los iones y las moléculas del gas, de tal forma que el gas se encuentra a temperatura y presión ambiente.

Las técnicas utilizadas para la generación de plasmas no térmicos se pueden clasificar en haz de electrones o en descargas eléctricas. En el caso del haz de electrones la generación de electrones altamente energéticos se realiza fuera del gas a tratar mientras que en el caso de los sistemas de descargas pulsadas esta generación se realiza directamente en el interior del gas a tratar, lo que supone una clara ventaja en el diseño del equipo.

Una vez formados, los electrones son acelerados hacia mayores energías y pueden colisionar con las moléculas del medio, liberando más electrones en el proceso. Estas avalanchas de electrones son las denominadas descargas corona.

La técnica no genera subproductos tóxicos, como dioxinas o furanos, opera a presiones y temperaturas cercanas a la ambiente, no requiere combustible (minimiza residuos secundarios), y puede eliminar simultáneamente orgánicos peligrosos y emisiones del óxido de nitrógeno (NOx) y óxido de azufre (SOx). No requiere catalizadores.

2.2.1.1.7 OXIDACIÓN EN AGUA SUBCRÍTICA O OXIDACIÓN CON AIRE HÚMEDO

El proceso de oxidación por aire húmedo (WAO por sus siglas en inglés) consiste en mezclar el agua residual con aire a presión y temperatura elevada para producir la degradación en la fase líquida.

El proceso se puede también llevar a cabo en presencia de un catalizador sólido. En este último caso la temperatura normal utilizada entre 120 y 310 °C se reduce a entre 15 y 60°C, mientras la presión utilizada es siempre sobre la presión de saturación del agua.

Uno de los principales inconvenientes de la WAO es su incapacidad para lograr la mineralización completa de efluentes altamente contaminados, ya que algunos productos de oxidación poseen bajo de peso molecular (especialmente los ácidos acético y propiónico, así como metanol, etanol, y acetaldehído).

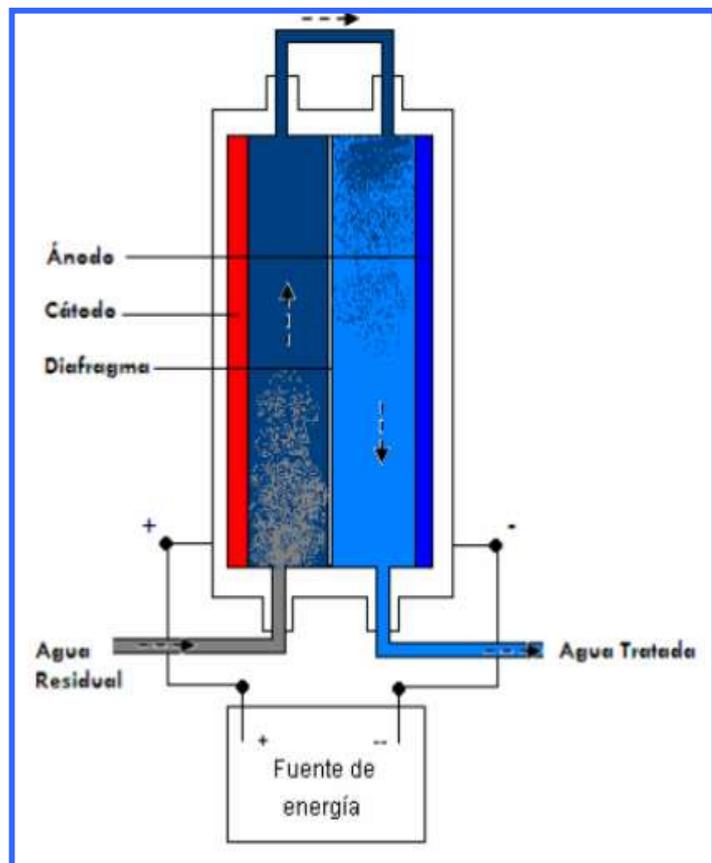


FIGURA N° 4: ESQUEMA OXIDACIÓN CON AIRE HUMEDO

Además, el material del reactor tiene que ser resistente a la corrosión y el agrietamiento cuando se cuenta con presencia los iones de

cloruro y otros corrosivos en la corriente de desechos, lo que produce un aumento en los costos de dicho procesos.

2.2.1.1.8 OXIDACIÓN CON AGUA SUPERCRÍTICA O MÉTODO OXAS

Este método se aprovecha de las propiedades únicas de agua y es aplicable por encima de su punto crítico, es decir, $T_c = 374 \text{ }^\circ\text{C}$ y $P_c = 22,1 \text{ MPa}$.

Se tiene otras ventajas adicionales, tales como el tamaño compacto, costo competitivo, altas eficiencias de destrucción para los óxidos de nitrógeno (NOx) y de azufre (SOx).

El OXAS posee características que lo llevan a ser un excepcional sistema de tratamiento, con una eficiencia de oxidación mayor que 99,99% en tiempos de contacto muy breves (5- 60 segundos).

Debido a la alta solubilidad del O_2 en el agua supercrítica, no existen problemas de transferencia de masa. Como además la

tensión superficial es nula, el O₂ penetra en los poros más pequeños y puede oxidar cualquier sustancia orgánica. Por otra parte, es posible remover los compuestos inorgánicos por precipitación. El proceso puede autoabastecerse en energía si se queman compuestos orgánicos de concentraciones superiores al 5%.

Este proceso presenta desventajas ya que requiere condiciones severas de operación; es además poco atractivo para aguas diluidas, y se pueden producir dibenzofuranos y dioxinas. Al igual que el WAO, necesita materiales de construcción especiales para alta temperatura y presiones, los cuales presentan un alto costo económico.

2.2.1.2 PROCESOS FOTOQUÍMICOS

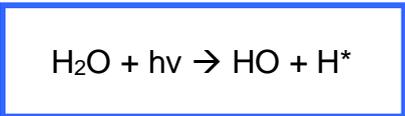
Estos procesos están basados en la acción de la radiación solar sobre un foto-catalizador (sistema sensible a los fotones) una vez que está todo estimulado puede catalizar una reacción química, en este caso la degradación de sustancias contaminantes. Las principales ventajas de las tecnologías fotoquímicas son:

- ✚ En algunos casos, es posible utilizar los procesos fotolíticos directos, sin el agregado de reactivo químico alguno. Este proceso es importante para compuestos que reaccionan lentamente con HO*. La destrucción de compuestos orgánicos clorados tales como trihalometanos (THM), clorometanos, cloroetanos, aromáticos y fenoles mediante el uso de irradiación de 254 nm se halla bien documentada en la literatura.
- ✚ Evita el uso de O₃ o reduce su proporción, con la consiguiente reducción de• costos, riesgos para la salud y preocupaciones ambientales.
- ✚ Aumenta la velocidad de reacción en comparación con la misma técnica en ausencia de luz. Esto evita el uso de tanques grandes y hace más compactos a los sistemas de tratamiento. Evita cambios de pH drásticos (por ejemplo, el O₃ necesita pH altos, como ya se ha visto).
- ✚ Aumenta la flexibilidad del sistema ya que permite el uso de una variedad de oxidantes y condiciones de operatividad.
- ✚ Reduce costos operativos debido a un menor consumo de potencia para generar HO*.

2.2.1.2.1 ULTRAVIOLETA DE VACÍO

Este proceso aprovecha la irradiación a longitudes de onda por debajo de 190 nm., y usa habitualmente lámparas de Xe ($\lambda = 172$ nm). La excitación electrónica en esta longitud de onda lleva, en la mayoría de los casos, a la ruptura homolítica de uniones químicas y puede producir la degradación de materia orgánica tanto en fase condensada como en gaseosa.

El uso más importante de la radiación UVV es la fotólisis del agua que produce radicales hidroxilo y átomos de hidrógeno con rendimientos cuánticos dependientes de la longitud de onda de irradiación.



El equipo de desinfección UV es sencillo en su diseño, operación y mantenimiento. Consiste de un bulbo o tubo de cuarzo que emite radiación UV. El agua infectada que se pone en contacto con este tipo de radiación, recibe

una dosis de la misma y de esta manera los microorganismos son inactivados.

En su paso a desinfección, el agua circula a través de un compartimiento donde se encuentran una o más lámparas UV. El tubo por donde circula el agua es de nylon, PVC transparente, cuarzo o algún otro material transparente a la radiación y si se forma sarro en el mismo o se ensucia, debe limpiarse o reemplazarse ya que puede disminuir la efectividad. (Ingeniería de Tratamiento y Acondicionamiento de Aguas).

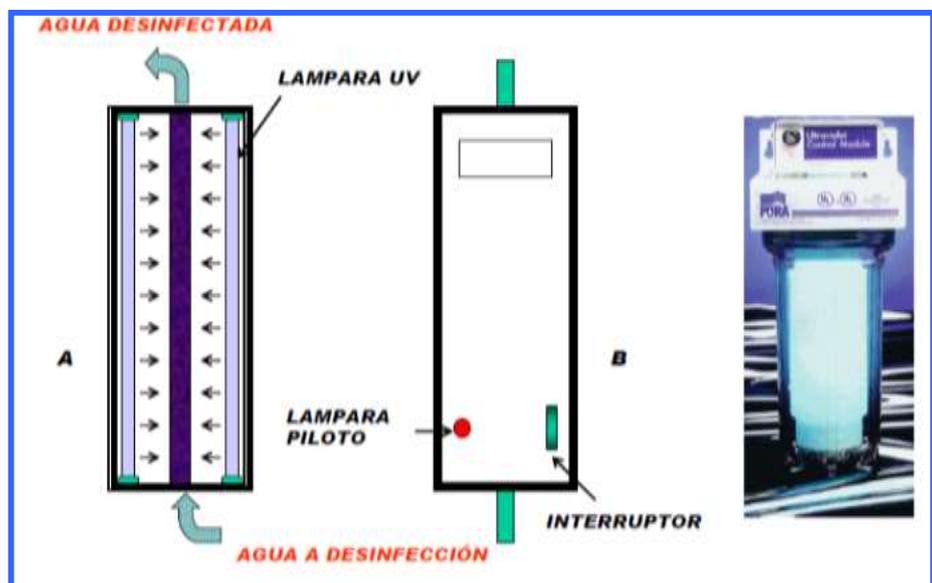


FIGURA N° 5: LAMPARA UV

2.2.1.3 FOTOCATÁLISIS SOLAR

El proceso de fotocatalisis, como se esquematiza, permite aprovechar directamente la energía solar que llega a la superficie terrestre, provocando la aceleración de una reacción fotoquímica mediante la presencia de un catalizador (sensibilizador), que da lugar a la eliminación de materia orgánica y metales pesados disueltos en las aguas residual.

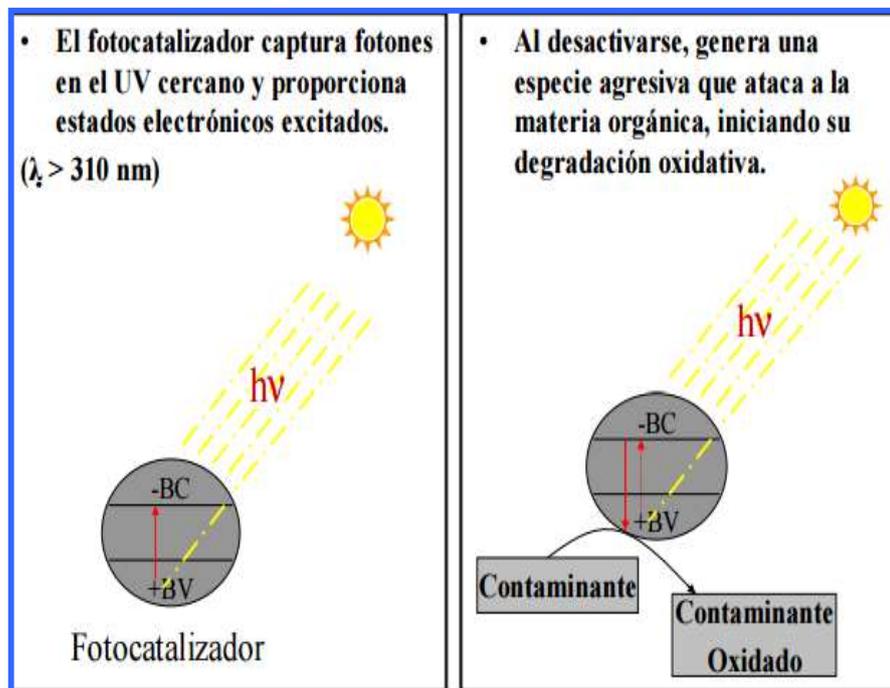


FIGURA N° 6: PROCESO DE FOTOCATÁLISIS

El contaminante por sí mismo no es capaz de capturar fotones, se requiere el sensibilizador como absorbedor de la energía radiante y catalizador de la reacción de oxidación del contaminante. La aplicación de radiación solar para la realización de procesos fotoquímicos, sólo es

posible mediante catálisis homogénea o heterogénea, usando cationes hierro o dióxido de titanio respectivamente. Estos catalizadores absorben a longitudes de onda del espectro solar, mientras que el ozono y el peróxido de hidrógeno no absorben por encima de 300 nm.

2.2.1.3.1 FOTOCATÁLISIS HOMOGÉNEA

Uno de los POA que se ha desarrollado con buenas perspectivas es el proceso Foto-Fenton. Mediante la absorción de la energía solar por medio de sales hierro y en presencia de peróxido de hidrógeno, se inicia la generación de radicales OH^* , especie capaz de oxidar la materia orgánica disuelta en el agua a tratar.

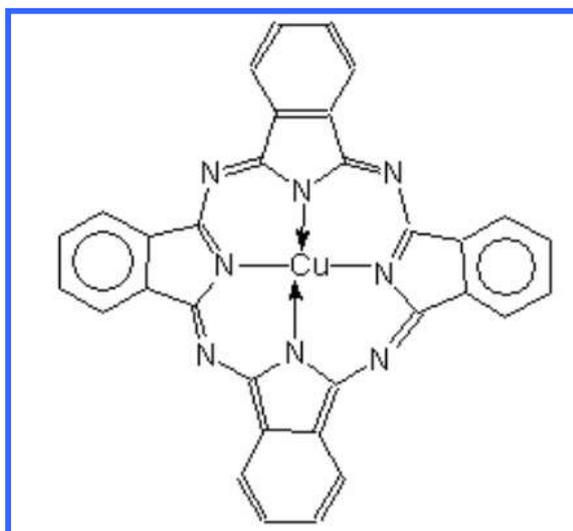


FIGURA N° 7: ESTRUCTURA DE LA FTALOCIANINA

El proceso Foto-Fenton puede ser particularmente interesante en la degradación de materia orgánica que contenga cationes metálicos en su estructura, como es el caso de los colorantes con cromóforo "ftalocianina".

Los colorantes con cromóforo azo, se encuentran entre los de mayor aplicación en el sector textil, con rangos de empleo entre el 70 y el 80% del total de colorantes. Debido a sus características altamente contaminantes.

EFEECTO DEL PH

Efecto del pH Los procesos Fenton y foto-Fenton, tienen una actividad catalítica máxima a un pH de 2,8 aproximadamente. El pH influye en la generación de radicales hidroxilo y por ello, en la eficiencia de la oxidación. Para valores del pH por encima de 4, la degradación disminuye drásticamente, aparecen precipitadas de hidróxido de hierro y disminuye la cantidad de Fe^{+2}

2.2.1.3.2 FOTOCATÁLISIS HETEROGENEA

En la fotocatalisis heterogénea, el fotocatalizador, habitualmente un semiconductor de banda ancha, absorbe energía radiante (visible o UV) y en la interfase entre el catalizador excitado y la disolución, se producen las reacciones de degradación y/o de eliminación de los contaminantes.

La excitación del semiconductor puede tener lugar de dos formas:

- ✚ Por excitación directa del semiconductor, de manera que éste es el que absorbe los fotones en el proceso.
- ✚ Por excitación inicial de moléculas adsorbidas en la superficie del catalizador, que a su vez inyectan electrones en el semiconductor.

En este estudio se discute sólo el primer caso, que es el más general y de mayor aplicación en fotocatalisis heterogénea.

Los orbitales moleculares de los semiconductores tienen una estructura de banda. Las bandas de interés en la fotocatalisis son la banda ocupada de valencia (VB: valence band) y la banda desocupada de conducción (CB: conductance band), separadas entre sí por una energía denominada “distancia energética entre bandas” (band gap; E_{bg}).

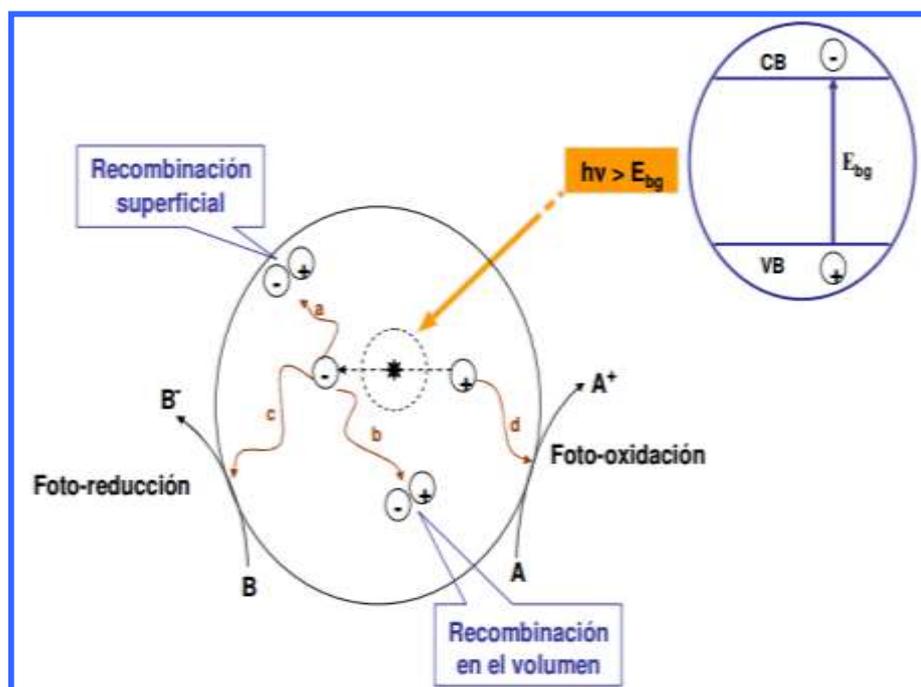


FIGURA N° 8: CATÁLISIS DE LA REACCIÓN ENTRE EL OXIDANTE B Y EL REDUCTOR A

Cuando iluminamos el semiconductor con luz ($h\nu$) de mayor energía que la distancia energética entre bandas (E_{bg}), un electrón promociona desde la banda de valencia a la

banda de conducción, creando un hueco en la banda de valencia.

EFFECTO DEL PH

Normalmente, el proceso de fotocátalisis es más eficiente en medio ácido $3 < Ph$. El pH afecta a las propiedades superficiales del catalizador y a la forma química del compuesto a degradar, y ello se manifiesta en alteraciones de la velocidad de degradación y en la tendencia a la floculación del catalizador.

2.2.1.4 ANÁLISIS TÉCNICO - ECONÓMICO DEL TRATAMIENTO POR PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA

Entre las principales ventajas del tratamiento por POA están su potencial operación en discontinuo, su gran flexibilidad al ser modulares por lo que pueden operar con variabilidad de caudales, su fácil automatización y sus bajos tiempos de operación. A la hora de realizar un estudio técnico-económico de aplicación de un sistema de oxidación avanzada, que engloba a los tratamientos fotooxidativos, es necesario evaluar de forma individualizada cada problemática concreta.

En cualquier caso, los principales costes a tener en cuenta en la evaluación del proceso incluyen: coste del equipo y de accesorios de regulación y automatización del mismo, coste energético, coste de reactivos (oxidantes, reactivos de ajuste de pH, catalizadores, etc.), costes de reposición de lámparas, costes de operación y mantenimiento, así como costes de aireación y refrigeración.

En definitiva, los principales costes corresponden al coste energético y de reactivos (a mayor cantidad de materia a degradar, mayor necesidad de oxidante y tiempos de exposición más prolongados). Se ha apuntado que el coste del agua oxigenada puede suponer hasta un 75 % del coste total en proceso de oxidación avanzada de efluentes industriales (Oliver, 1999).

Además se estima una vida media de las lámparas entre 800 y 2000 horas de funcionamiento, por lo que han de contemplarse sus gastos de reposición. Finalmente, en la evaluación económica, habrá que contabilizar el ahorro en el canon de vertido asociado básicamente a la reducción de la carga contaminante, y fundamentalmente en lo que respecta la ecotoxicidad y DQO. Adicionalmente, la disminución del caudal de vertido por reutilización del agua tratada tendría sus ventajas tanto en la disminución del

canon del vertido, como en cuanto a consumos de agua en la propia empresa.

2.2.2 AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL

Piedrafita (2004). En la industria el uso de sistemas informáticos y de control encierra una gran parte de ámbito tecnológico, la automatización es la forma como se complementan los procesos industriales con los sistemas programables.

Con la utilización de máquinas y técnicas mecanizadas la capacidad de riesgo del operador disminuye, es decir, que la reducción de fuerza y la necesidad sensorial y mental del operante se limita notoriamente. En el campo de la automática o de los sistemas de control, la automatización se define como la regulación de los comportamientos dinámicos utilizando el mínimo de intervención humana, es fácil aclarar que para un sistema automatizado o no, es necesario de la intervención manual de un operador ya sea para vigilar el comportamiento de las magnitudes físicas y/o químicas de un sistema o para la regulación manual de procesos.

El control manual del proceso de depósito de agua en un sedimento se realiza mediante la utilización de un operador, este vigila el nivel

del agua controlándolo mediante una válvula de salida de fluido, se desconoce por completo el caudal de entrada.⁸

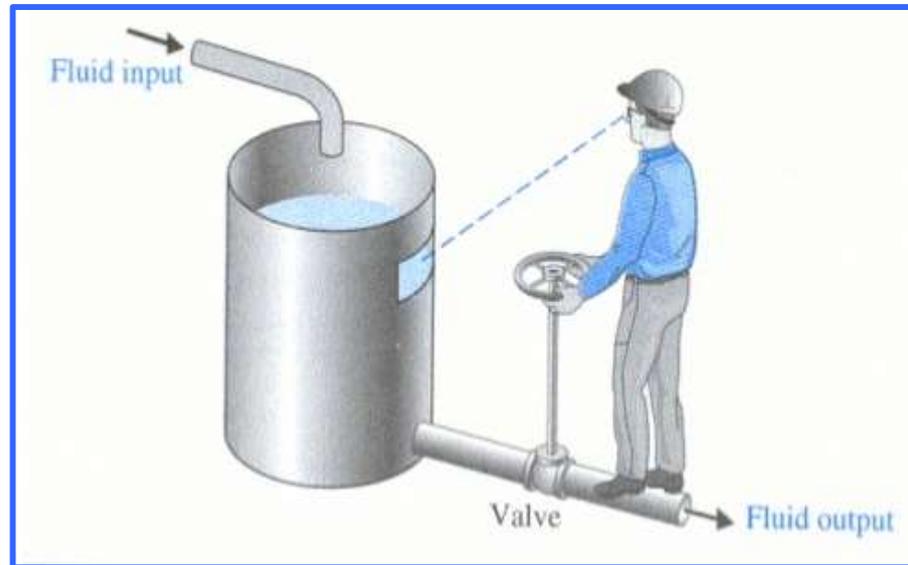


FIGURA N° 9: SISTEMA DE CONTROL MANUAL DE NIVEL

De acuerdo al impacto social, la automatización se conoce como la mayor causante del índice de desempleo en el mundo, sin embargo el desempleo se causa por políticas económica de la empresa como tal, es decir, que a un empleado se le despide en lugar de cambiar sus tareas que ya no serán de la misma intensidad y concentración laboral sino simplemente de supervisión de procesos o pertenecer al área de distribución que siempre aumenta.

Algunas de las ventajas más notorias de la automatización son:

- ✚ Reemplazo de operadores humanos en tareas repetitivas o de alto riesgo.

⁸ PIEDRAFITA, R. (2004). Ingeniería de la automatización Industrial. Madrid, España: RA-MA

- ✚ Aumento en la seguridad del personal.
- ✚ Disminución del tiempo de producción.
- ✚ Reemplazo de operadores humanos en tareas que involucren fuerza sobredimensionadas o de alta precisión. Incremento de la producción.
- ✚ Disminución el agotamiento y desconcentración en las tareas realizadas por el operador.
- ✚ Mejorar la calidad y uniformidad del producto.
- ✚ Disminuye los costos de manufactura en los procesos.

Por el contrario la mayor desventaja de la automatización industrial se da en el montaje y la adecuación del sistema, además, la ejecución del proyecto es de gran inversión económica contando con el mantenimiento y reparación de la maquinaria que se debe realizar por personal capacitado.

Una de las herramientas más utilizadas a nivel mundial en la automatización son los PLC's (Controladores Lógicos Programables), que regula las funciones y sincroniza el flujo de entrada (sensores) de acuerdo a un programa lógico, de acuerdo a esta información puede realizar trabajos de ciclos repetitivos.

2.2.2.1 PROGRAMACIÓN DEL PLC O LADDER

Existen distintos tipos de lenguaje de programación de un PLC, quizás el más común sea la programación tipo escalera o LADDER. Los diagramas de escalera son esquemas de uso común para representar la lógica de control de sistemas industriales. Se le llama diagrama "escalera" porque se asemejan a una escalera, con dos rieles verticales (de alimentación) y "escalones" (líneas horizontales), en las que hay circuitos de control que definen la lógica a través de funciones.

De esta manera las principales características del lenguaje LADDER son:

- ✚ Instrucciones de entrada se introducen a la izquierda.
- ✚ Instrucciones de salida se situarán en el derecho.
- ✚ Los carriles de alimentación son las líneas de suministro de energía L1 y L2 para los circuitos de corriente alterna y 24 V y tierra para los circuitos de CC.
- ✚ La mayoría de los PLC permiten más de una salida por cada renglón (Rung).
- ✚ El procesador (o "controlador") explora peldaños de la escalera de arriba a abajo y de izquierda a derecha.

Si habla de lenguaje de programación, se refiere a las distintas formas de realizar un programa para ejecutar funciones en un PLC.

Las instrucciones de entrada son las condiciones que tiene el circuito para dejar o no dejar pasar la corriente de una línea a la otra. Estas condiciones se manejan comúnmente con contactos normalmente abierto o normalmente cerrados los cuales interpretan las señales de alto y bajo de sensores o interruptores.

Si las condiciones son verdaderas la corriente llega a las instrucciones de salida las cuales generan acciones como energizar la bobina de un motor o energizar una lámpara por ejemplo. De esta forma el paso de la corriente a las bobinas de salida están condicionadas por la lógica que manejen las instrucciones de entradas.

Un PLC tiene muchas terminales "de entrada" y también muchos terminales de salida, a través de los cuales se producen las señales "alta" o "baja" que se transmiten a las luces de energía, solenoides, contactos, pequeños motores y otros dispositivos que se prestan a control on/off.

En un esfuerzo por hacer el PLC fácil de programar “el lenguaje de programación LADDER fue diseñado para asemejarse a los diagramas de lógica de escalera. Por lo tanto, un electricista industrial o ingeniero eléctrico, acostumbrados a leer esquemas de lógica LADDER se sentirán más cómodos con la programación de un PLC si se maneja con el lenguaje LADDER”.

Las conexiones de las señales y estándares de programación varían un poco entre los diferentes modelos de PLC, pero los conceptos son los mismos, así que tanto el cableado de alimentación como la programación son de alguna forma genéricos.

Existen dos formas básicas de activar o desactivar las salidas: con retención y sin retención. La forma más común es la de salida no retenida, lo que significa que la salida es activada si se cumplen las condiciones del Rung en el que está programada y se desactiva inmediatamente cuando las condiciones dejan de cumplirse.

Las salidas retenidas, por el contrario, se activan y desactivan en Rung diferentes y por instrucciones diferentes. Cuando se cumple el Rung en el que la salida

debe activarse, ésta lo hace y permanece así, aun cuando la condición de activación deje de cumplirse.

El único modo de apagar o desactivar la salida retenida es programar un Rung con la correspondiente instrucción de apagado de la salida en cuestión. Las instrucciones de retención y liberación de salidas se usan siempre por pares. Otro elemento de los programas LADDER tomado de los sistemas eléctricos es el Timer.

El Timer más común tanto en la programación de PLC como en los cuadros de relés, es el de retardo a la conexión y desconexión instantánea. Cuando se activa la entrada, el Timer comienza su operación llevando la cuenta del tiempo que la entrada está cerrada. Cuando este tiempo supera al programado (por ejemplo con una perilla, en el caso de un Timer electromecánico o un valor escrito en el programa, en el caso de un PLC) entonces el Timer activa su salida. Si la entrada se abre, la salida se desactiva instantáneamente.

La operación de este tipo de sistemas suele describirse con la ayuda de un diagrama de tiempos, que no es más que una gráfica del estado de entrada y salidas a lo largo del tiempo.

Todos los PLC incorporan funciones que reemplazan a la aplicación de contadores en el sistema de control.

Además del obvio uso de estos contadores para contar, por ejemplo, piezas o ciclos de trabajo, la combinación de varios de ellos, quizás con el uso de algunas funciones de tipo aritmético, permite reemplazar programadores a leva y realizar funciones que de otra forma resultarían complicadas.

Todos los contadores tienen una entrada de pulsos a contar, una entrada de Reset, que cuando es activada lleva al contador a su estado inicial y una salida que se activa cuando la cuenta llega a su valor final. El tipo más común de contador es el ascendente, en el que el estado inicial es cuenta cero con la salida desactivada.

Al ir recibiendo pulsos en la entrada de conteo, la cuenta aumenta siempre manteniendo la salida desactivada, hasta el momento en que la cuenta llega al valor preseteado en el programa y el contador deja de contar. Podemos encontrarnos también con contadores descendentes, en los que se programa un valor inicial distinto de cero y la salida se activa cuando luego de realizar un conteo descendente la cuenta llega a cero.

En la actualidad existen PLC's que tiene la facilidad de traducir programas de un tipo de lenguaje a otro a través de su software respectivo, es por ello que permite la facilidad de utilizar cualquiera de ellos según la facilidad del ejecutante, Para la explicación del proyecto se empelará el lenguaje por contacto o leguaje LADDER.

Existen varios tipos de lenguaje de programación:

- ✚ Esquema de contactos o LADDER
- ✚ Esquema funcional o FUP
- ✚ Lista de instrucciones o AWL.

2.2.2.1.1 DIAGRAMA LADDER

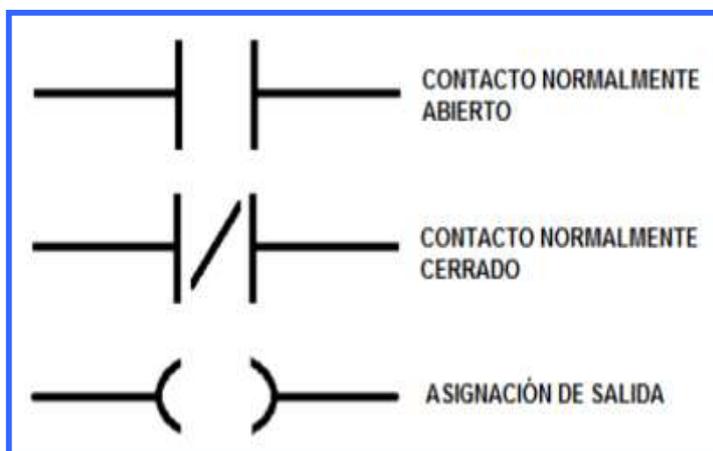


FIGURA N° 10: SÍMBOLOS BASICOS DE LADDER

La programación LADDER que significa escalera, es un lenguaje derivado de los relés, similar a los diagramas de circuitos eléctricos de máquinas, mediante símbolos, contactos,

salidas, bobinas, etc, siendo una ventaja que sus símbolos son empleados por sus fabricantes de forma general bajo los estándares IEC.

Es importante precisar que cada programa se realiza de forma secuencial, siguiendo el orden en los cuales se escribió cada escalón, además cada uno de ellos contiene dos líneas verticales a la derecha y a la izquierda que representan tierra y tensión (voltaje) respectivamente.

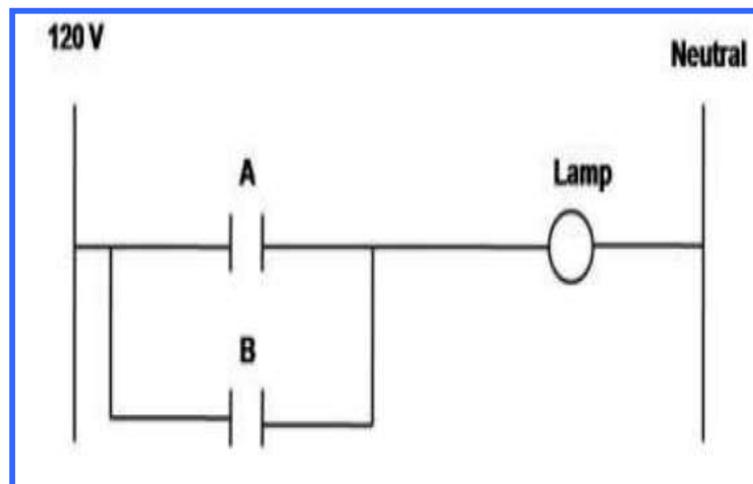


FIGURA N° 11: EJEMPLO DE UN PROGRAMA EN LADDER

LOS CONTACTOS

Los elementos que se utilizan para activar cualquier clase de salida en un programa determinado son variables lógicas (0 o 1) que determinarán los estados de los relés del PLC,

en la programación LADDER estas variables solo se pueden presentar en estados abierto o cerrado y presente o ausentes, los contactos abiertos al activarse se cerrarán y los contactos cerrados al activarse se abren, estos se utilizan para la generación de avisos o alarmas por pulsos.

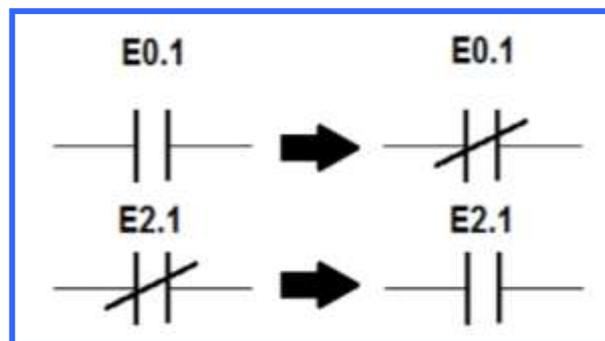


FIGURA N° 12: CAMBIOS DE ESTADO

Las salidas lógicas son equivalentes a las cargas (bobinas, relés, lámpara, actuadores, etc) de circuitos electrónicos o eléctricos, además, es posible conectar más de una salida en paralelo y se identifican con las letras S o A dependiendo del fabricante o el conexionado de los bornes, la representación gráfica de una salida en lenguaje LADDER.

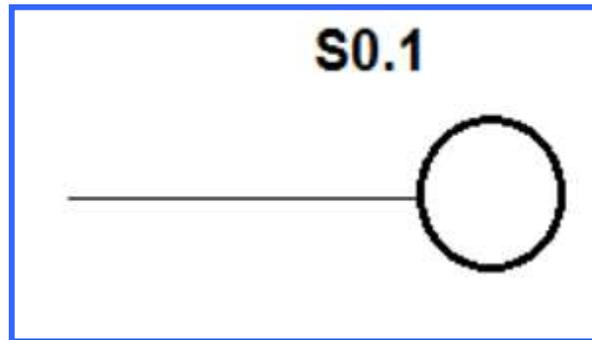


FIGURA N° 13: REPRESENTACIÓN DE UNA SALIDA EN LADDER

TEMPORIZADORES

Estos bloques son controlados por los usuarios para durar un valor de tiempo determinado activando un contacto interno, la función PRESET es la función que indica el fin del ciclo y la función START indica el comienzo del mismo.

CONTADORES

Son posiciones de memoria que pueden aumentar o disminuir dependiendo de su configuración, así mismo, mantienen activo o inactivo el contador según sea el caso por medio de una función programable de meta o PRESET. El más común es el contador ascendente que empieza desde 0 hasta un valor determinado por el usuario por medio de la función meta o

PRESET, además, los descendentes comienza desde un valor lógico determinado por el usuario decrementando su valor hasta 0.

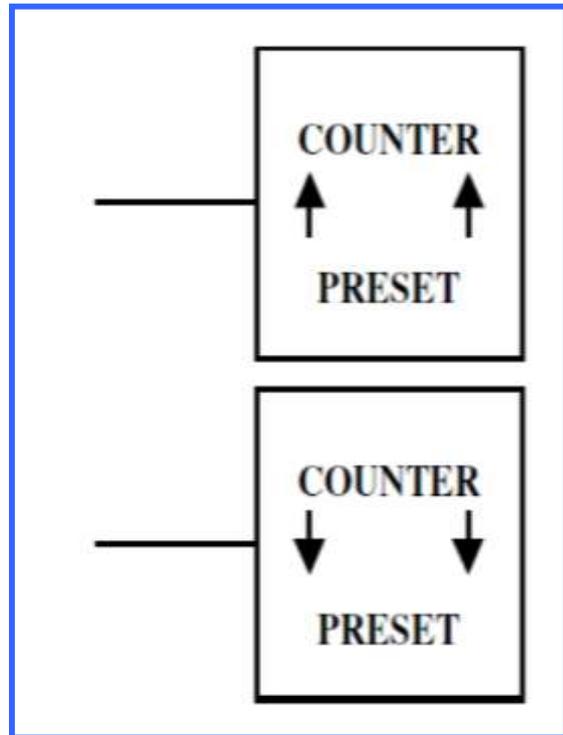


FIGURA N° 14: CONTADOR ASCENDENTE Y DESCENDENTE

OPERACIONES ARITMÉTICAS

Las operaciones matemáticas como sumas, restas, multiplicaciones, divisiones, comparaciones, desplazamientos de bits, etc.

Pueden ser utilizadas para la manipulación de variables analógicas.

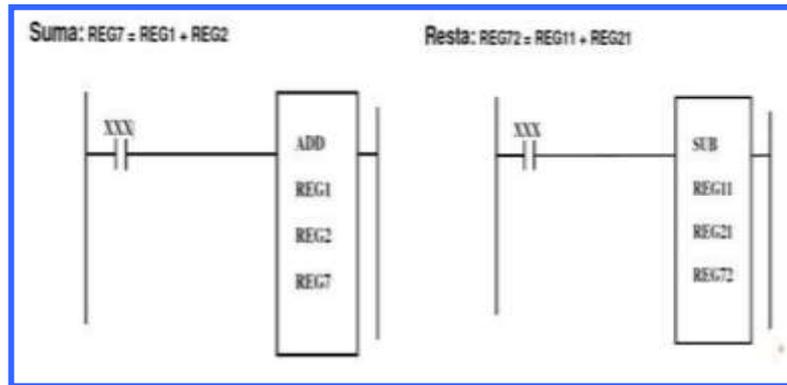


FIGURA N° 15: OPERACIONES MATEMÁTICAS BÁSICAS

2.2.3 PLC SIEMENS LOGO 230 RC

Es un módulo lógico, es decir, un controlador programable que permite que sin intervención humana, las máquinas hagan un trabajo.

Básicamente funciona de la siguiente manera: al LOGO! le vas a dar como datos de entrada una serie de señales, las cuales van a ser procesadas en el programa, y el LOGO! va a dar unos datos de salida.

Algunas de sus características son:

- ✚ Es mucho más fácil de mantener en caso de tener que realizar modificaciones.
- ✚ Es escalable: se pueden añadir más o menos entradas y salidas.
- ✚ Puede tener una pantalla asociada de mando.

Cada LOGO! Basic se puede ampliar únicamente con módulos de ampliación de la misma clase de tensión. Mediante una codificación mecánica (clavijas en la carcasa) se impide que se puedan conectar entre sí dispositivos de una clase de tensión diferente.

Todos los módulos LOGO! Basic disponen de las siguientes conexiones para crear el programa, independientemente del número de módulos que se conecten:

-  Entradas digitales I1 hasta I24
-  Entradas analógicas AI1 hasta AI8
-  Salidas digitales Q1 hasta Q16
-  Salidas analógicas AQ1 y AQ2
-  Marcas digitales M1 hasta M24, M8: marcas de arranque
-  Marcas analógicas AM1 hasta AM6
-  Bits de registro de desplazamiento S1 hasta S8
-  4 teclas de cursor
-  16 salidas no conectadas X1 hasta X16.

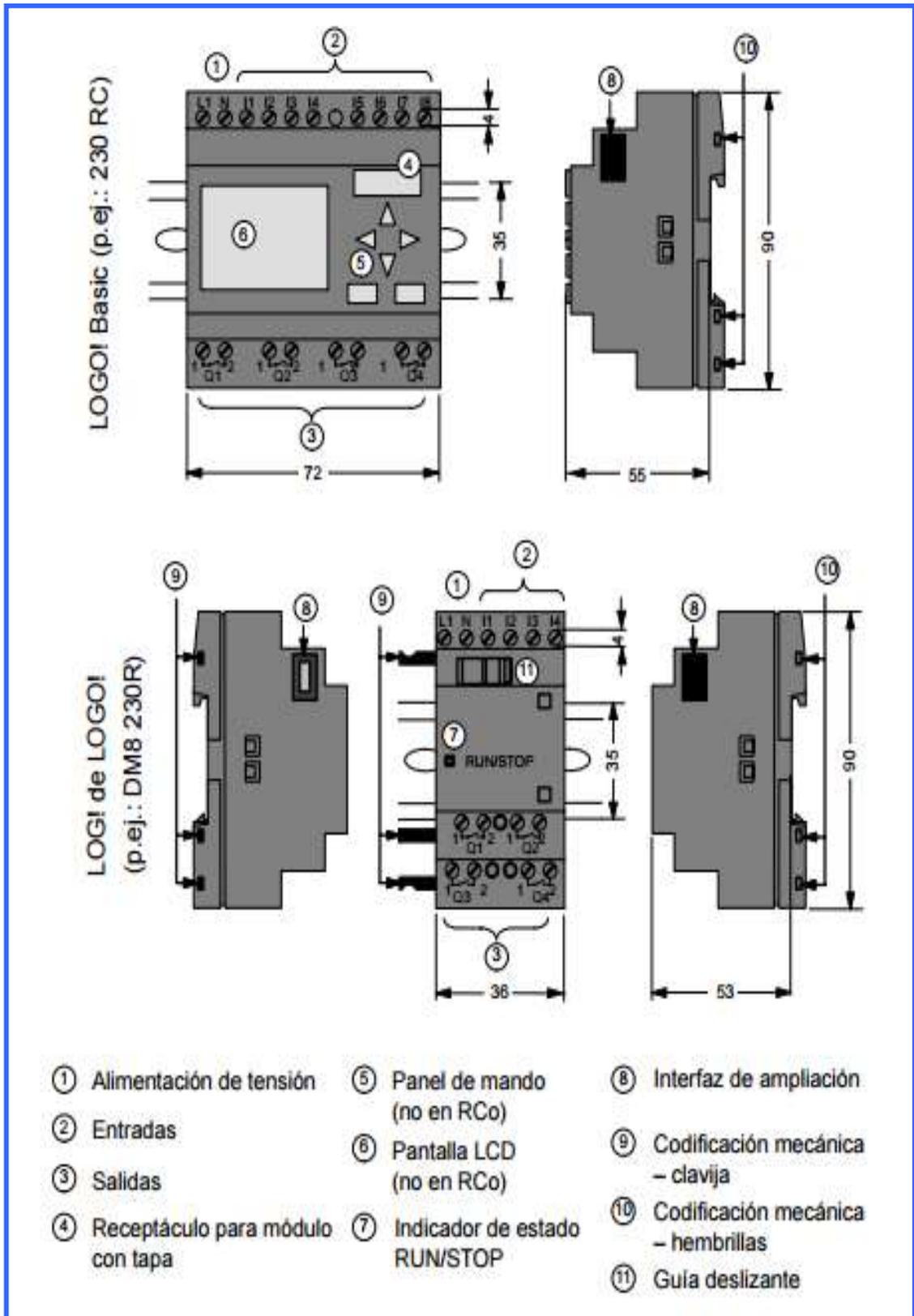


FIGURA N° 16: ESTRUCTURA DEL LOGO 230 RC

Símbolo	Designación	Alimentación	Entradas	Salidas	Características
	LOGO! 12/24RC	12/24 V CC	8 digitales ⁽¹⁾	4 relés de 10A	
	LOGO! 24	24 V c.c.	8 digitales ⁽¹⁾	4 transistores 24V / 0,3A	Sin reloj
	LOGO! 24RC ⁽³⁾	24 V AC / 24 V DC	8 digitales	4 relés de 10A	
	LOGO! 230RC ⁽²⁾	115...240 V CA/CC	8 digitales	4 relés de 10A	

TABLA N° 4: VARIANTES DISPONIBLES

Símbolo	Designación	Alimentación	Entradas	Salidas
	LOGO! DM 8 12/24R	12/24 V CC	4 digitales	4 relés de 5A
	LOGO! DM 8 24	24 V c.c.	4 digitales	4 transistores 24V / 0,3A
	LOGO! DM 8 24R ⁽³⁾	24 V AC/DC	4 digitales	4 relés de 5A
	LOGO! DM 8 230R	115...240 V CA/CC	4 digitales ⁽¹⁾	4 relés de 5A
	LOGO! AM 2	12/24 V CC	2 analógicas 0 ... 10V ó 0 ... 20mA ⁽²⁾	ninguna
	LOGO! AM 2 PT100	12/24 V DC	2 Pt100 -50 °C hasta +200 °C	ninguna

TABLA N° 5: MODULOS DE AMPLIACIÓN

I1 I8	I9...I12	I13...I16	I17...I20	I21...I24	AI1, AI2	AI3, AI4	AI5, AI6	AI7, AI8
LOGO! Basic	Módulo digital DM 8	Módulo digital AM 2						
Q1...Q4	Q5...Q8	Q9...Q12	Q13... Q16					

TABLA N° 6: CONFIGURACIÓN MÁXIMA DE UN LOGO SIN ENTRADAS ANALÓGICAS

	LOGO! 24 RC/RCo (AC) LOGO! DM8 24 R (CA)	LOGO! 24 RC/RCo (DC) LOGO! DM8 24 R (CC)	LOGO! 230 RC/RCo (CA) LOGO! DM8 230 R (CA)	LOGO! 230 RC/RCo (CC) LOGO! DM8 230 R (CC)
Estado de conexión 0	< 5 V CA	< 5 V CC	< 40 V CA	< 30 V CC
Intensidad de entrada	< 1,0 mA	< 1,0 mA	< 0,03 mA	< 0,03 mA
Estado de conexión 1	> 12 V CA	> 12 V CC	> 79 V CA	> 79 V CC
Intensidad de entrada	> 2,5 mA	> 2,5 mA	> 0,08 mA	> 0,08 mA

TABLA N° 7: PROPIEDADES DE LOS SENSORES

2.2.3.1 ESPACIO DE MEMORIA Y TAMAÑO DE UN CIRCUITO

MEMORIA DE PROGRAMA:

En LOGO! sólo se puede utilizar un número limitado de bloques para el programa. La segunda limitación resulta del número máximo de bytes disponibles que puede contener un programa.

El número de bytes ocupados puede calcularse sumando los bytes de las funciones utilizadas.

MEMORIA REMANENTE (REM):

Rango en el que LOGO! guarda los valores reales actuales que se deben mantener de forma remanente, por ejemplo, el valor de conteo de un contador de horas de funcionamiento.

Un programa en LOGO! puede ocupar, como máximo, los siguientes recursos:

Bytes	Bloques	REM
2000	130	60

TABLA N° 8: RECURSOS DISPONIBLES EN LOGO!

Función	Memoria de programa	Memoria-Rem*
Funciones básicas		
Y (AND)	12	–
Y con evaluación de flanco	12	–
NAND (Y NEGADA)	12	–
Y–NEGADA con evaluación de flanco	12	–
OR (O)	12	–
NOR (O no)	12	–
XOR (O exclusivo)	8	–
NOT (negación)	4	–
Funciones especiales		
Tiempos		
Retardo de activación	8	3
Retardo de desactivación	12	3
Retardo de conexión/desconexión	12	3
Retardo a la conexión memorizado	12	3
Relé disipador (salida de impulsos)	8	3
Relé disipador activado por flancos	16	4
Generador de impulsos asínc.	12	3
Generador aleatorio	12	–
Interruptor de alumbrado para escalera	12	3
Pulsador de confort	16	3
Temporizador semanal	20	–
Temporizador anual	8	–
Contador		
Contador avance/retroceso	24	5
Contador de horas de funcionamiento	24	9

TABLA N° 9: OCUPACIÓN DE LA MEMORIA PARTE A

Función	Memoria de programa	Memoria-Rem*
Interruptor de valor umbral	16	-
Interruptor		
analógico de valor umbral	16	-
Interruptor analógico de valor umbral diferencial	16	-
Comparador analógico	24	-
Control de valor analógico	20	-
Amplificador analógico	12	-
Otros		
Relé autoencicador	8	1
Relé de impulsos	12	1
Textos de aviso	8	-
Interruptor de software	8	2
Registro de desplazamiento	12	1

TABLA N° 10: OCUPACIÓN DE LA MEMORIA PARTE B

Representación en LOGO!	Designación de la función especial	Rem
Contador		
	Contador avance/retroceso (vea la página 147)	REM
	Contador de horas de funcionamiento (véase la página 151)	Rem
	Interruptor de valor umbral (véase la página 156)	
Interruptor		
	Conmutador analógico de valor umbral (véase la página 159)	
	Interruptor analógico de valor umbral diferencial (véase la página 162)	
	Comparador analógico (véase la página 166)	
	Vigilancia del valor analógico (véase la página 171)	

TABLA N° 11: FUNCIONES ESPECIALES PARTE A

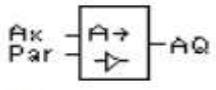
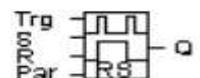
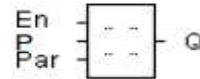
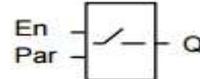
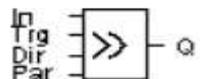
Representación en LOGO!	Designación de la función especial	Rem
	Amplificador analógico (véase la página 175)	
Otros		
	Relé autoenclavador (véase la página 177)	REM
	Relé de impulsos (véase la página 179)	REM
	Textos de aviso (véase la página 182)	
	Interruptor de software (véase la página 189)	REM
	Registro de desplazamiento (consulte la página 193)	REM

TABLA N° 12: FUNCIONES ESPECIALES PARTE B

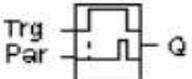
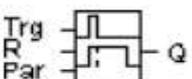
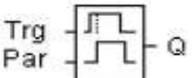
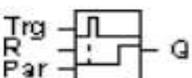
Representación en LOGO!	Designación de la función especial	Rem
Tiempos		
	Retardo a la conexión (véase la página 114)	Rem
	Retardo a la desconexión (véase la página 118)	Rem
	Retardo a la conexión/desconexión (véase la página 120)	Rem
	Retardo a la conexión con memoria (véase la página 122)	Rem

TABLA N° 13: FUNCIONES ESPECIALES PARTE C

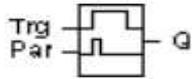
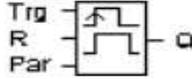
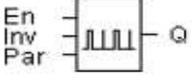
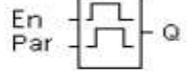
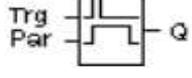
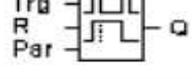
Representación en LOGO!	Designación de la función especial	Rem
	Relé de barrido (salida de impulsos) (véase la página 124)	Rem
	Relé de barrido disparado por flanco (véase la página 126)	Rem
	Generador de impulsos asíncrono (vea la página 129)	Rem
	Generador aleatorio (véase la página 131)	
	Interruptor de alumbrado para escalera (véase la página 133)	Rem
	Interruptor confortable (véase la página 136)	Rem
	Temporizador semanal (vea la página 139)	
	Temporizador anual (véase la página 144)	

TABLA N° 14: FUNCIONES ESPECIALES PARTE D

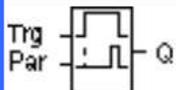
Símbolo en LOGO!	Cableado	Descripción
	Entrada Trg	A través de la entrada Trg (trigger) se inicia el tiempo para el retardo de conexión.
	Parámetro	T es el tiempo tras el que debe activarse la salida (la señal de salida cambia de 0 a 1). Remanencia: / = sin remanencia R = el estado se guarda de forma remanente.
	Salida Q	Q se activa una vez transcurrido el tiempo T parametrizado, si está activada aún Trg.

TABLA N° 15: RETARDO A LA CONEXIÓN

2.3 MARCO CONCEPTUAL

- + **Ablandamiento:** La eliminación del calcio y el magnesio de un agua para reducir su dureza.
- + **Absoluto:** El grado del micrón de un filtro. Indica que cualquier partícula más grande que un tamaño específico será atrapada dentro del filtro.
- + **Absorción:** Cuando un sólido toma las moléculas en su estructura.
- + **Acidez:** La capacidad cuantitativa del agua de neutralizar una base, expresada en equivalente de carbonato de calcio en PPM o del mg/l. El número de los átomos de hidrógeno que están presente determina esto. Es medido generalmente por medio de una valoración con una solución de hidróxido sódico estándar.
- + **Acuífero:** Una capa en el suelo que es capaz de transportar un volumen significativo de agua subterránea.
- + **Acuoso:** Algo compuesto por agua.
- + **Agentes contaminantes biodegradables:** Agentes contaminantes que son capaces de ser descompuestos bajo condiciones naturales.
- + **Agua ácida:** Agua que contiene una cantidad de sustancias ácidas que hacen al pH estar por debajo de 7,0.
- + **Agua contaminada:** La presencia en el agua de suficiente material perjudicial o desagradable para causar un daño en la calidad del agua.
- + **Aguas residuales:** Fluidos residuales en un sistema de alcantarillado. El gasto o agua usada por una casa, una comunidad, una granja, o industria que contiene materia orgánica disuelta o suspendida.
- + **Aguas residuales brutas:** Aguas residuales sin tratar y sus contenidos.

- ✚ **Aireación:** Técnica que se utiliza en el tratamiento de aguas que exige una fuente de oxígeno, conocida comúnmente como purificación biológica aeróbica del agua. El agua es traída para ponerla en contacto con las gotitas de aire o rociando el aire se trae en contacto con agua por medio de instalaciones de la aireación. El aire es presionado a través de la superficie del agua, este burbujea y el agua se provee de oxígeno.
- ✚ **Tratamiento químico del agua común:** La cal puede ser depositada sobre paredes de duchas y baños, después de que la cal reaccione con el calcio para formar caliza.
- ✚ **Compuestos:** Dos o más elementos diferentes sostenidos juntos en proporciones fijas por fuerzas de atracción llamado enlace químico.
- ✚ **Densidad:** El peso de una cierta cantidad de agua. Esta es usualmente expresada en kilogramos por metro cúbico.
- ✚ **Filtración:** Separación de sólidos y líquidos usando una sustancia porosa que solo permite pasar al líquido a través de él.
- ✚ **Floculación:** Acumulación de partículas desestabilizadas y micro partículas, y posteriormente la formación de copos de tamaño deseado. Uno debe añadir otra sustancia química llamada floculante en orden de facilitar la formación de copos llamados flóculos.
- ✚ **Flóculo:** Masa floculada que es formada por la acumulación de partículas suspendidas. Puede ocurrir de forma natural, pero es usualmente inducido e orden de ser capaz de eliminar ciertas partículas del agua residual.
- ✚ **Neutralización:** La adición de sustancias para neutralizar el agua, tal que no sea ácida ni tampoco básica. Neutralización no significa especialmente

pH de 7.0, solamente significa el punto de equivalencia de una reacción ácido-base.

- ✚ **Oxidación:** Reacción química en la cual los iones transfieren los electrones, para incrementar la valencia positiva.
- ✚ **Oxidación avanzada:** Uno de varios procesos de oxidación combinados. Procesos de oxidación química avanzados que usan oxidantes (químicos) para reducir los niveles de COD/BOD, y para eliminar compuestos inorgánicos y orgánicos oxidables. Los procesos pueden oxidar totalmente los materiales orgánicos a dióxido de carbono y agua, aunque no es a menudo necesario hacer funcionar los procesos a este nivel de tratamiento.
- ✚ **pH:** El valor que determina si una sustancia es ácida, neutra o básica, calculado por el número de iones de hidrógeno presente. Es medido en una escala desde 0 a 14, en la cual 7 significa que la sustancia es neutra. Valores de pH por debajo de 7 indican que la sustancia es ácida y valores por encima de 7 indican que la sustancia es básica.
- ✚ **Planta de tratamiento:** Una estructura construida para tratar el agua residual antes de ser descargada al medio ambiente.
- ✚ **Sistema de aguas residuales:** Todo el sistema de recolección de aguas residuales, tratamiento, y traspaso.
- ✚ **Tratamiento de agua avanzado:** Es el nivel de tratamiento de aguas que requiere una reducción del 85 por ciento en la concentración del agente contaminador, también conocido como tratamiento terciario.

- ✚ **Tratamiento de aguas residuales avanzado:** Cualquier tratamiento de aguas residuales que incluye el retiro de nutrientes tales como fósforo y nitrógeno y un alto porcentaje de sólidos suspendidos.
- ✚ **Tratamiento primario de aguas residuales:** La eliminación de sólidos suspendidos, flotando o precipitados de un agua residual sin tratar.
- ✚ **Ultra Violeta:** Radiación que contiene una longitud de onda menor que la luz visible. Es a menudo usada para matar bacterias y romper el ozono.
- ✚ **Venturi:** Canal que sirve como medida del flujo del agua.
- ✚ **Automatización Industrial:** Aplicación de sistemas mecánicos, eléctricos o electrónicos, dentro de un sistema autogobernado, a tareas normalmente realizadas por un ser humano o que no pueden ser realizadas por él. Ejecución automática de tareas industriales, administrativas o científicas haciendo más ágil y efectivo el trabajo y ayudando al ser humano.
- ✚ **Control:** Selección de las entradas de un sistema de manera que los estados o salidas cambien de acuerdo con una manera deseada.
- ✚ **Control Lógico.** Control en el cual, de acuerdo con unos eventos que se dan en una secuencia determinada, se toma una acción de un número limitado de posibilidades (por lo general, de encendido o apagado: on-off).
- ✚ **Entrada:** Cualquier evento externo (dato, conocimiento u opinión) que se provee a un sistema para modificar el sistema de cualquier manera.
- ✚ **Lógica:** Del griego clásico “logos” (la razón, principio que gobierna al universo). Conjunto de reglas usadas para gestionar inferencias creíbles
- ✚ **Memoria:** Área de almacenamiento temporal para información y aplicaciones. Dispositivo de un ordenador que almacena datos y

programas. Mecanismo o mecanismos utilizados por el ordenador para guardar la información y los programas que se procesan

- ✚ **PLC:** “Programmable Logic Controller”. Controlador Lógico Programable. Computador digital apto para ambientes industriales que se utiliza para la automatización de los procesos
- ✚ **Procesamiento de Datos:** Técnicas eléctricas o mecánicas usadas para manipular datos para el empleo humano o de máquinas.
- ✚ **Robustez:** Calidad de un sistema dinámico que lo hace capaz de soportar cambios, presiones o tensiones en el ambiente o sistemas con los que interactúa con mínimo daño, alteración o pérdida de funcionalidad.
- ✚ **Salida:** Cualquier cambio producido en el entorno por un sistema. Variable en las fronteras de un organismo o máquina a través del cual la información existe
- ✚ **Sistema de Control:** Sistema diseñado para lograr que una o varias variables se comporten de una manera deseada. La variable puede mantenerse constante o cambiar de una manera determinada.
- ✚ **Variable lógica:** Variable entregada por el controlador para ser aplicada al actuador, después de ser transformada y amplificada.

CAPÍTULO III

DESCRIPCIÓN Y DESARROLLO DEL PROYECTO

3.1 DESCRIPCIÓN DEL PROCESO AUTOMATIZADO

A continuación describo el proceso automatizado propuesto como alternativa para la reutilización del Agua en la Unidad Minera Cerro Lindo – Milpo:

El relave es recepcionado en un tanque, para su tratamiento por sistema de oxidación avanzada. La muestra es alimentada mediante una electrobomba, cuyo caudal óptimo para el proceso es regulado mediante una válvula de compuerta a la entrada del proceso. La secuencia para la oxidación avanzada se realiza en tres etapas:

- ✚ La primera etapa consta de una oxidación de peróxido de hidrogeno que es inyectado en la línea de alimentación, la cual se encuentra ubicado antes del equipo UV.
- ✚ En la segunda etapa, el efluente es alimentado a la columna UV para seguir su tratamiento oxidativo.

✚ En la última etapa, ingresa a un sistema que está conformado por un by pass y por un medidor de Venturi, el sistema es regulado por una válvula de compuerta para la alimentación del ozono que es generado por un equipo ozonizador, terminando así su proceso oxidativo, para luego ingresar a un sistema de decantador y mezclador, luego pasa por un flujómetro (rotámetro), terminando así su recorrido en un tanque de almacenamiento.

Cada etapa presenta las siguientes características:

✚ **Etapa de dosificación de H₂O₂:**

- Tiempo: 120 minutos
- Caudal: 2L/h
- Cantidad: 3400 mg/L.

✚ **Etapa de aplicación de UV:**

- Tiempo: 20 minutos
- Longitud de Onda UV-C: 260nm
- Presión de Lámpara: 254 mmHg.

✚ **Etapa de Ozonizador:**

- Tiempo: 30 minutos
- Caudal: 4L/h
- Dosis: 250 mg/L.

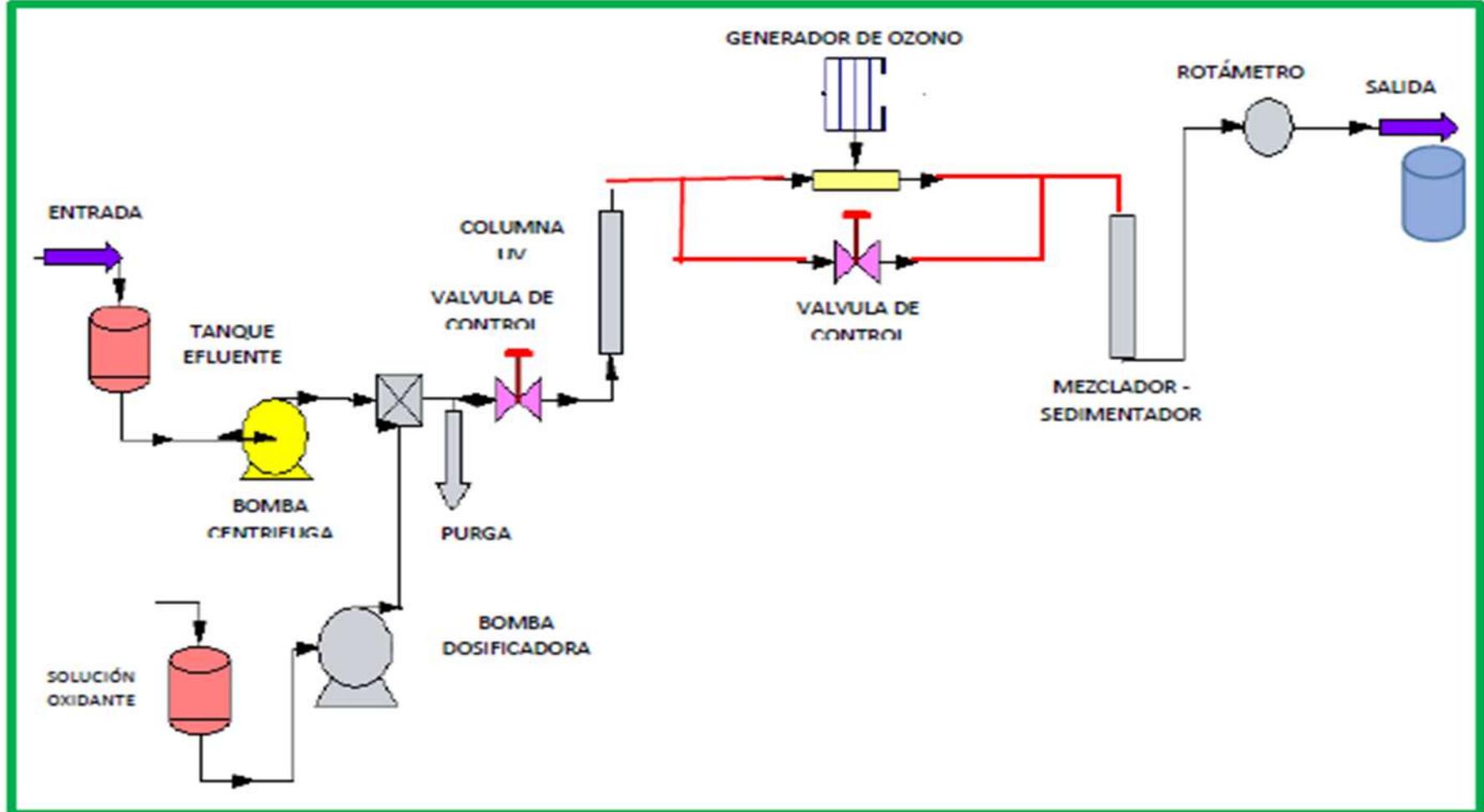


FIGURA N° 17: ESQUEMA DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA A AUTOMATIZAR

3.2 DESARROLLO DEL AUTOMATISMO DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA

A continuación detallamos algunos componentes del proceso de oxidación avanzada:

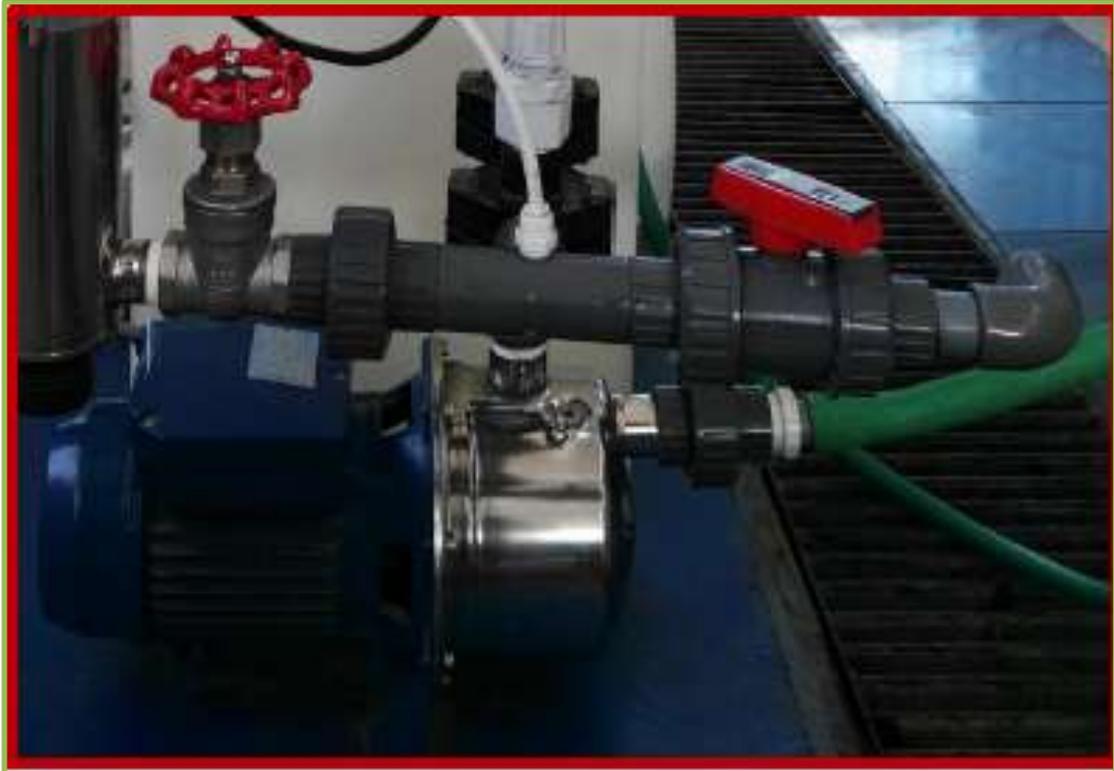


FIGURA N° 18: BOMBA_MUESTRA

CARACTERISTICAS	VALORES
MARCA	PENTAX
VOLTAJE	220 V
AMPERAJE	4.60 A
POTENCIA	1.00 HP

TABLA N° 16: CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA_MUESTRA



FIGURA N° 19: BOMBA_DOSIFICADORA DE PERÓXIDO DE HIDROGENO

CARACTERISTICAS	VALORES
MARCA	INVIKTA
VOLTAJE	100 - 240 V
AMPERAJE	1.00 A
POTENCIA	15 W
CAUDAL	2.00 L / h

TABLA N° 17: CARACTERÍSTICAS DE LA BOMBA_DOSIFICADORA DE PERÓXIDO DE HIDROGENO



FIGURA N° 20: LÁMPARA ULTRA VIOLETA

CARACTERISTICAS	VALORES
MODELO	S8Q-PA/2
VOLTAJE	100-240V
AMPERAJE	0.60V
LAMPARA UV	S81RL
TUBO DE CUARZO	QS-810

TABLA N° 18: CARACTERÍSTICAS DE LA LÁMPARA UV



FIGURA N° 21: OZONIZADOR

CARACTERISTICAS	VALORES
MARCA	OZOTECH
VOLTAJE	100 - 240 V
AMPERAJE	1.00 A
POTENCIA	15 W
CAUDAL	2.00 L / h

TABLA N° 19: CARACTERÍSTICAS DEL OZONIZADOR

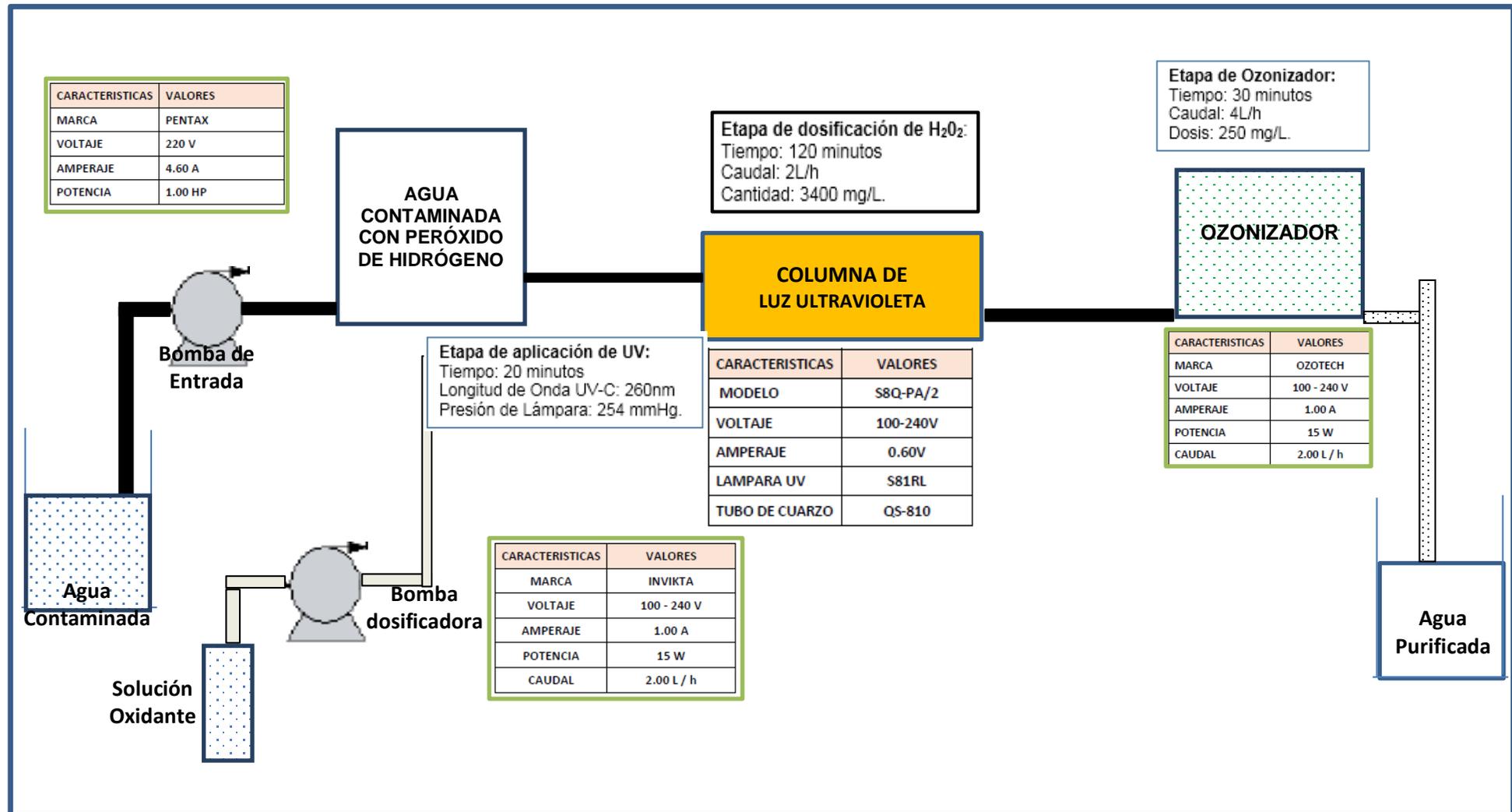


FIGURA N° 22 ESQUEMA DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA ESPECIFICANDO TIEMPOS

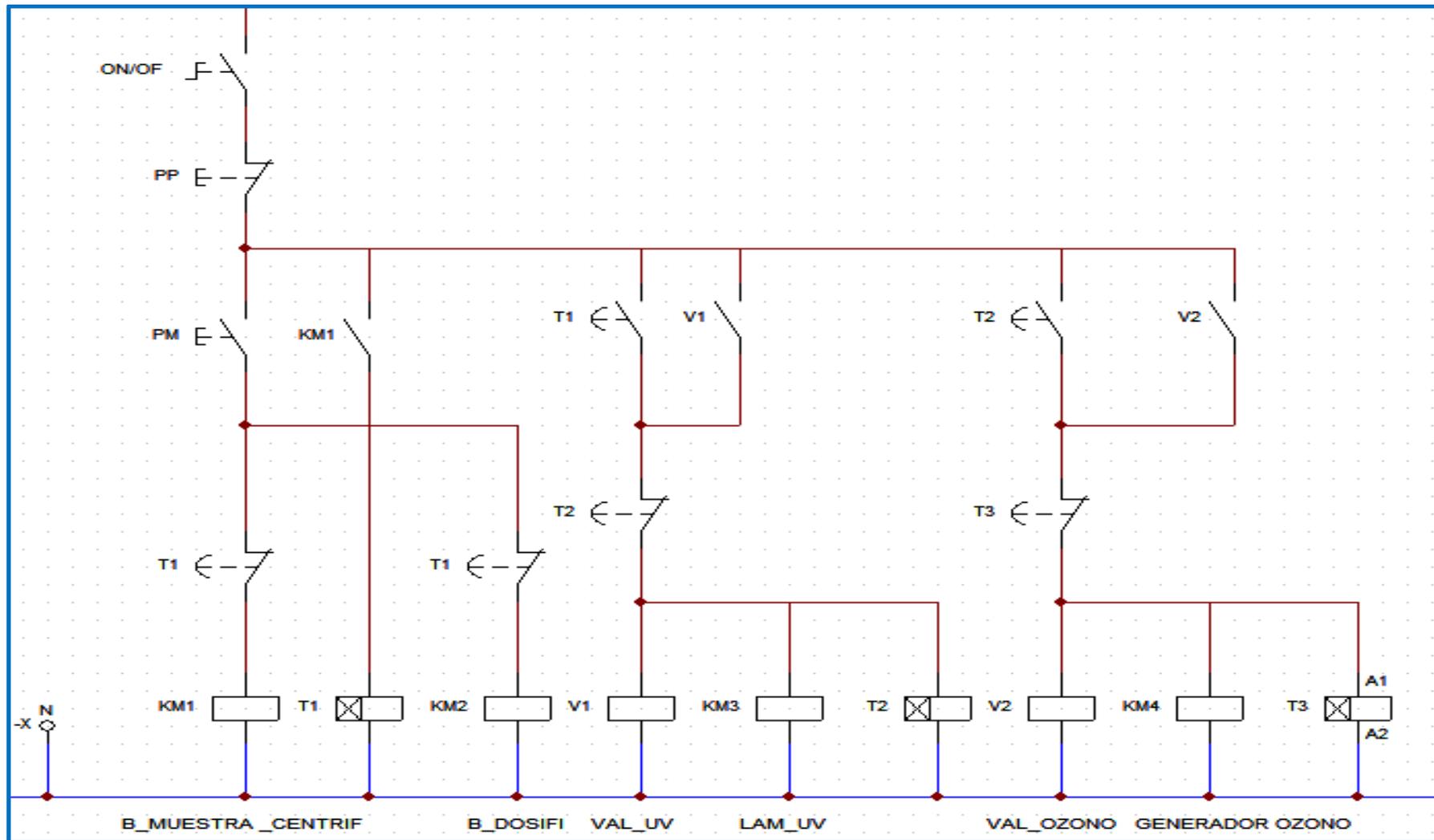


FIGURA N° 23: CIRCUITO DE MANDO DEL PROCESO DE OXIDACIÓN AVANZADA

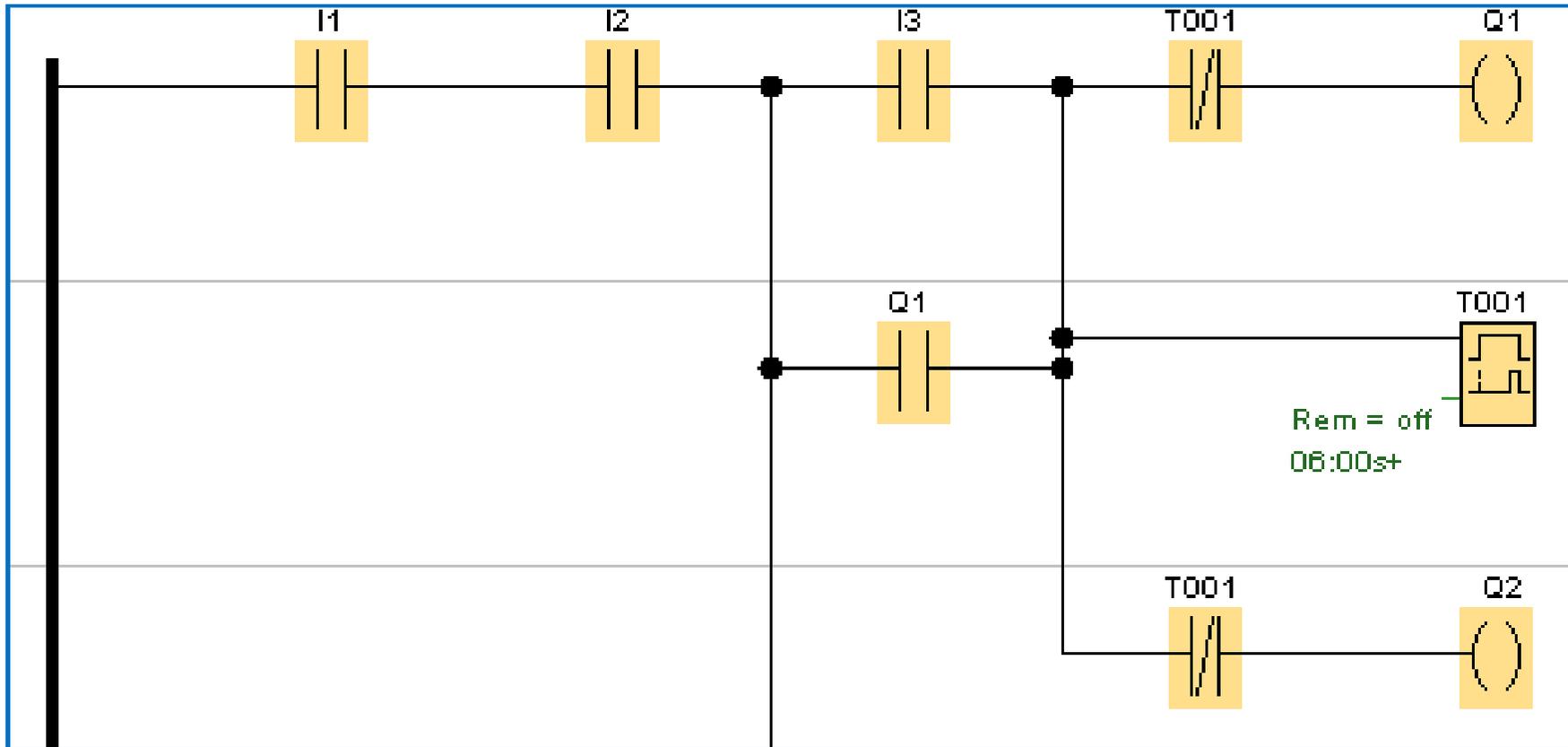


FIGURA N° 24: PROGRAMACIÓN DEL PLC - SEGMENTO DE DOSIFICACIÓN CON PERÓXIDO DE HIDROGENO

T1 = 120MIN (REAL)

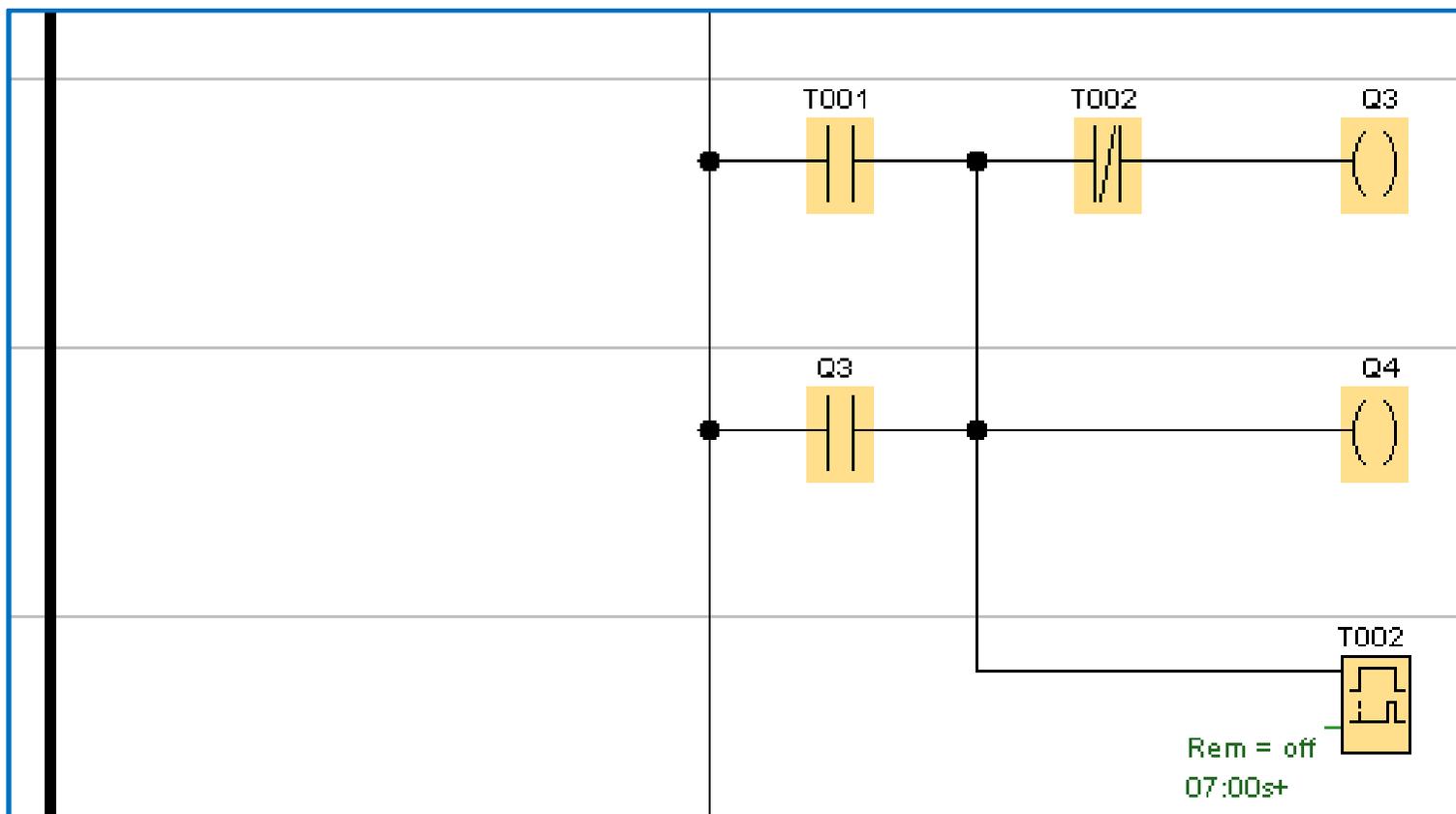


FIGURA N° 25: PROGRAMACIÓN DEL PLC - SEGMENTO DE LÁMPARA DE LUZ ULTRAVIOLETA T2 = 20MIN (REAL)

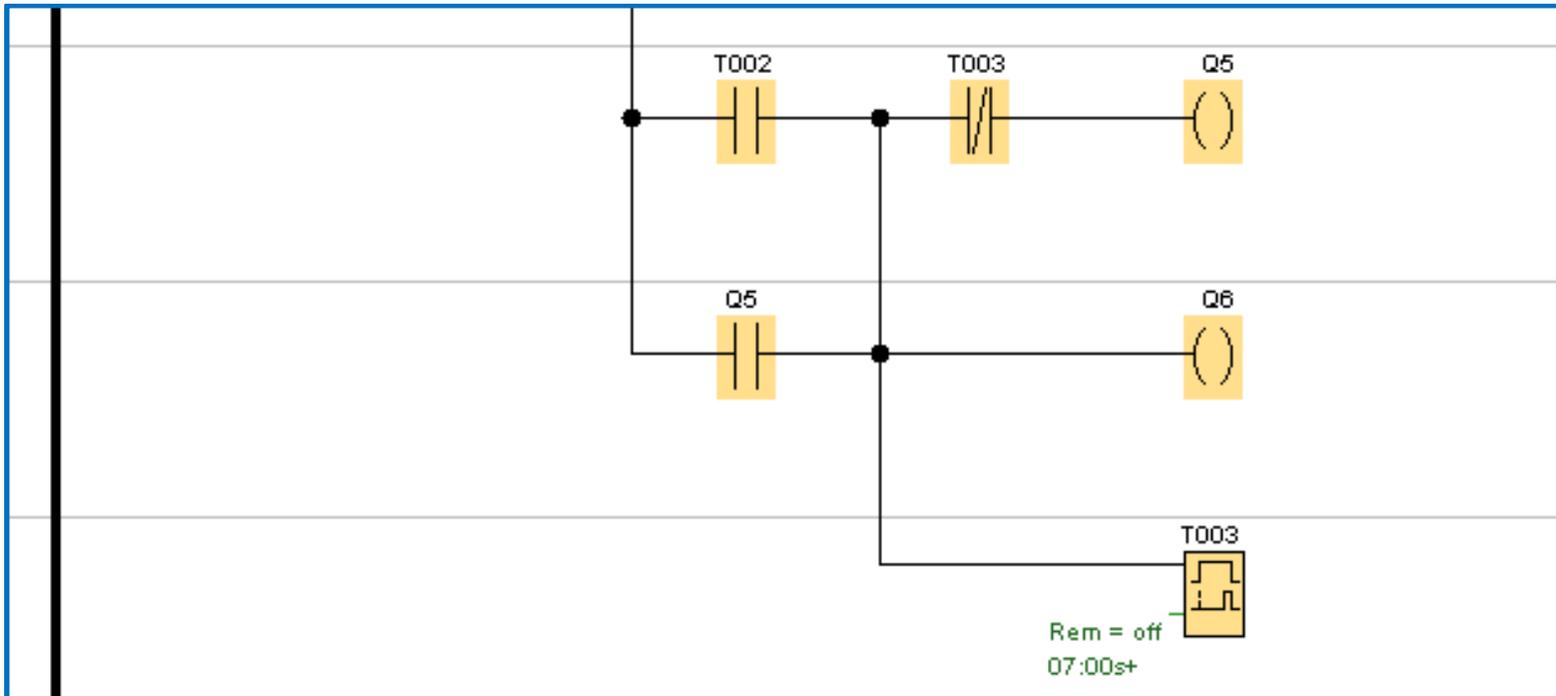


FIGURA N° 26: PROGRAMACIÓN DEL PLC - SEGMENTO DE OZONIZADOR T3 = 30MIN (REAL)

3.3 REVISIÓN Y CONSOLIDACIÓN DE RESULTADOS

En la ejecución del programa de automatización del controlador Lógico Programable LOGO 230 RC, se tiene:

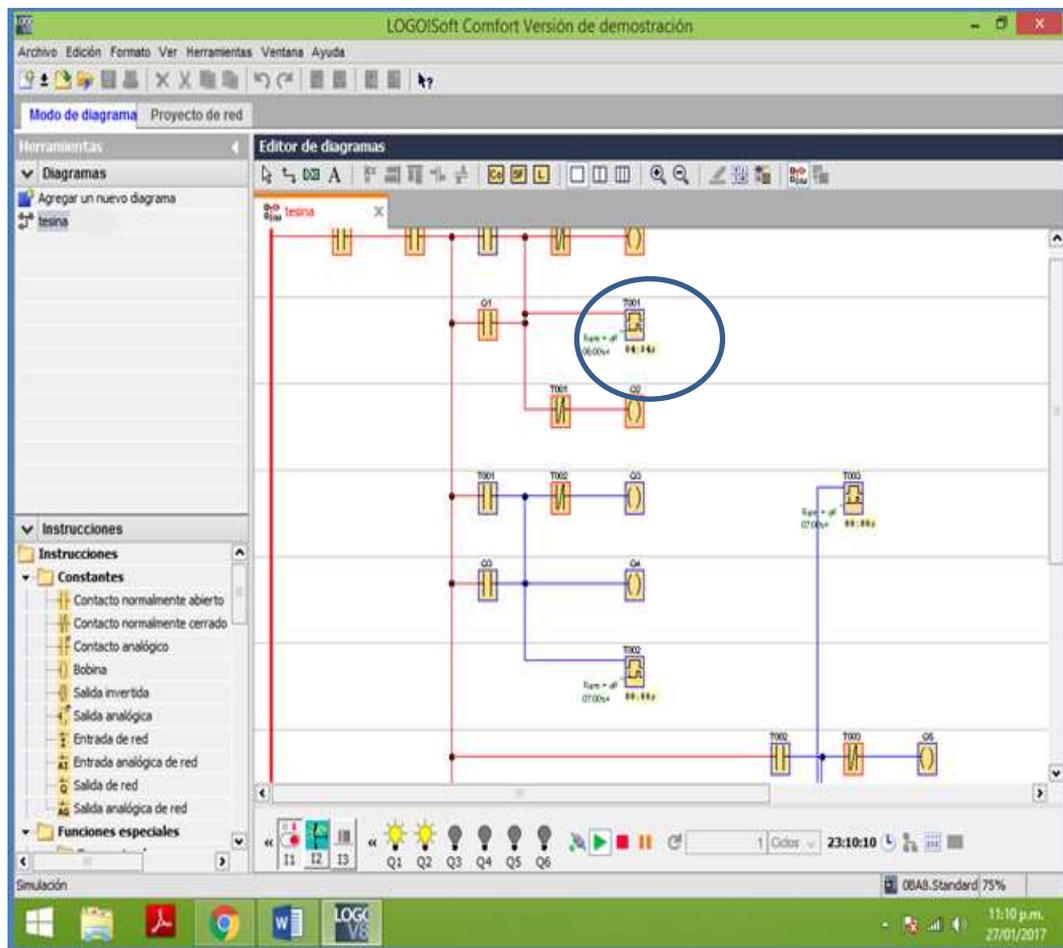


FIGURA N° 28: EJECUCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DEL PLC LOGO - ETAPA 1

En este segmento de programación podemos obtener como resultado que el PLC LOGO 230RC está controlando la etapa de dosificación de H2O2, durante un intervalo de tiempo de 120 minutos, tiempo requerido por el proceso para garantizar un primer tratamiento del

agua con peróxido de Hidrogeno, el cual determina en primera instancia la eliminación de bacterias.

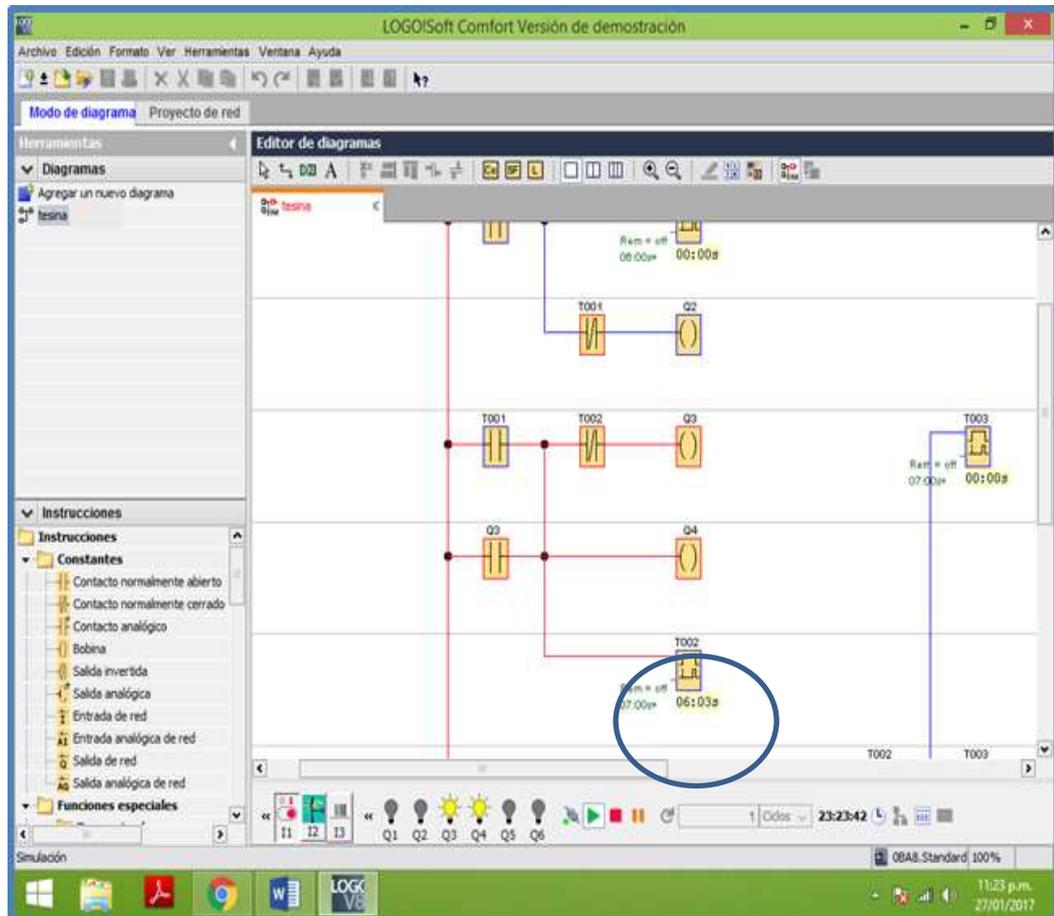


FIGURA N° 29: EJECUCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DEL PLC LOGO - ETAPA 2

En este segmento de programación podemos obtener como resultado que el PLC LOGO 230RC está controlando la etapa de dosificación de UV, durante un intervalo de tiempo de 20 minutos, tiempo requerido por el proceso para garantizar un segundo tratamiento del agua con radiación Ultra Violeta, el cual determina en segunda instancia la eliminación de bacterias.

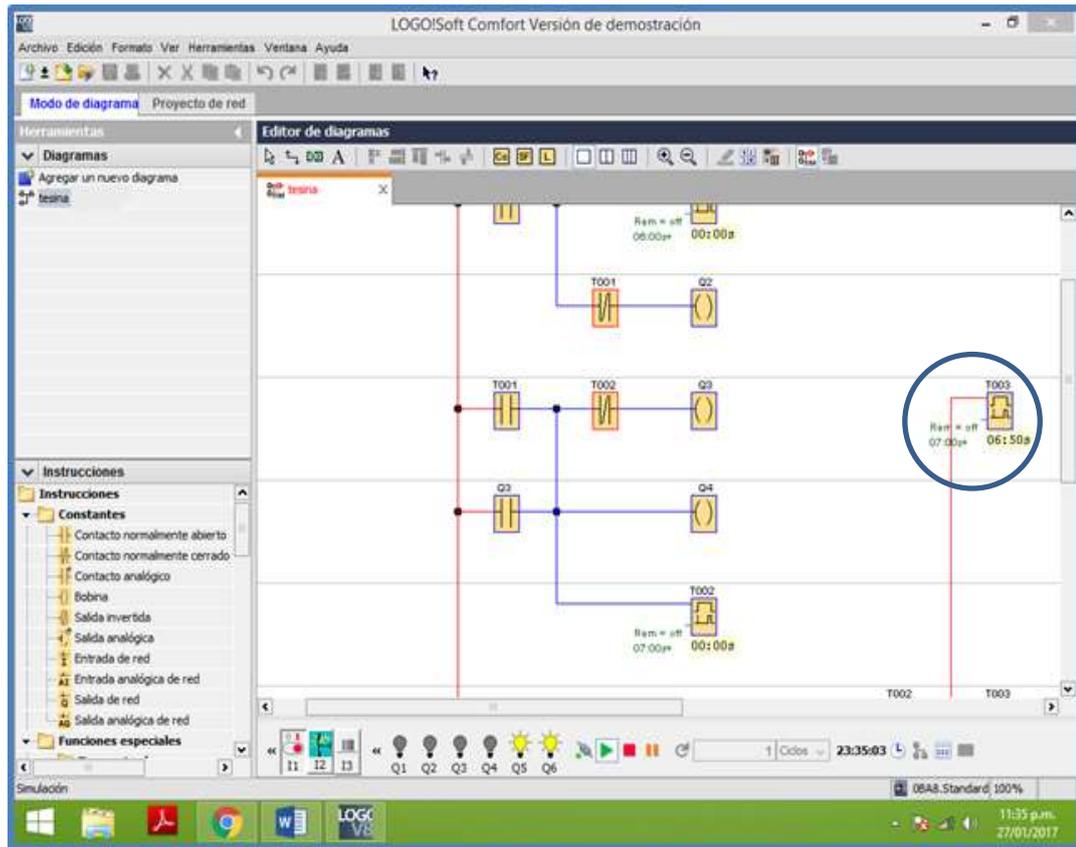


FIGURA N° 30: EJECUCIÓN DE LA PROGRAMACIÓN DEL PLC LOGO - ETAPA 3

En este segmento de programación podemos obtener como resultado que el PLC LOGO 230RC está controlando la etapa de dosificación de **OZONO**, durante un intervalo de tiempo de 30 minutos, tiempo requerido por el proceso para garantizar un tercer tratamiento del agua con ozono, el cual determina en tercera y última instancia la eliminación total de bacterias.

CONCLUSIONES

- Se concluye que si es posible establecer una relación entre los elementos de entrada y los elementos de salida del proceso mediante la utilización de un controlador lógico programable, considerando el accionamiento secuencial de los actuadores a partir del cambio de estado de sus entradas, tal como se muestra en la conexión del PLC LOGO 230RC.
- Se concluye que si es posible integrar los subsistemas de dosificación de peróxido de hidrogeno, lámpara UV y el generador de ozono, tal como se muestra en la programación del Controlador Lógico Programable LOGO 230RC.
- Finalmente se concluye es posible desarrollar el automatismo del proceso oxidación avanzada mediante PLC, para el tratamiento de agua, como alternativa para la reutilización de agua en la Unidad Minera Cerro Lindo – Milpo.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda implementar el automatismo del proceso oxidación avanzada mediante PLC, para el tratamiento de agua, como alternativa para la su reutilización en la Unidad Minera Cerro Lindo – Milpo.

- Se recomienda utilizar sensores de caudal y presión para determinar si el flujo de ingreso a las etapas de dosificación de peróxido de Hidrogeno y ozonización son los adecuados para realizar dichos proceso.

- Se recomienda utilizar sensores de nivel en el tanque que almacena el agua tratada, con la finalidad de establecer un mecanismo de protección ante rebalses.

BIBLIOGRAFÍA

-  **MEDINA, G.** (2010). La Automatización en la Industria Química. Editorial: UPC. España.
-  **MONTELLANO, F.** (2003). Sistemas Servo controlados: Elección y Cálculo de accionamientos, Automática e Instrumentación. Editorial Marcombo.
-  **Ros, R.** (2003). Monitorización de una red industrial, Rev. Automática e Instrumentación,
-  **Erickson K.T.** (1996). Programmable Logic Controller Potentials, IEEE, Volume 15.
-  **JUDDS G.,** (2007). Principles and applications off membrane Bioreactors in water and wastewater treadment". USA. Elsevier Oxford.
-  **VILLÉ H.,** (2001). Máquinas Automatizadas para procesos industriales. México. Editorial Cengage Learning.
-  **VALLEJO, M.B.** (2006). Aspectos generales de la Automatización en el sector químico. Editorial Mc Graw Hill.

-  **GARCIA. N.** (2000). "Autómata Programable". Departamento de Ingeniería Sistemas y Automática. Universidad de Elche.

-  **TORRES F.** (2002). Robots y Sistemas Sensores. Editorial Prentice Hall.

-  **BAUTISTA R.** (2012). Tesis: Incrementación de envasado de Agua y propuesta de Automatización de Planta Purificadora. México. Universidad Tecnológica de Querétaro.

-  **ROMERO G.** (2010). Tesis: "Control Avanzado en Procesos Industriales de microfiltración u ultrafiltración Tangencial". Universidad Politécnica de Valencia.

-  **MANDADO. E.** (2005). Autómatas Programables: Entornos y Aplicaciones. Editorial Thompson Learning.

-  **CLEMENTE. J.** (2010). Ampliación de procesos de oxidación avanzada (Fotocatálisis solar) para tratamiento y reutilización de efluentes textiles. Valencia, España: UNIVERSIDAD POLITECNICA DE VALENCIA

-  **COSS. G.** (2007). Investigación técnica y económica sobre desinfección de aguas residuales por sistemas de oxidación. México: CONAYT

-  **METCALF. E.** (2003). Ingeniería de aguas residuales, tratamiento, vertido y reutilización. España: MC GRAW HILL

-  **FERNÁNDEZ. N.** (2007). Ampliación del Análisis del Ciclo de Vida en el estudio ambiental de diferentes Procesos Avanzados de Oxidación. Barcelona, España: UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BARCELONA.

-  **ZAMBRANO. W.** (2013). Automatización del Proyecto de Aguas Residuales en TECNOVA S.A. (Tesis de Pre Grado). Politécnica Salesiana, Guayaquil, Ecuador.

-  **BARRERA. E.** (2013). Propuesta de Automatización en la dosificación de químicos para la planta de tratamiento de agua potable en Vélez Santander. (Tesis de Pre Grado). Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga, Colombia.

-  **MARIN. A.** (2012). Diseño y simulación del sistema de automatización y control del proceso de floculación para una planta de tratamiento de agua potable utilizando protocolo de comunicación CANOPEN. (Tesis

de Pre Grado). Universidad Tecnológica de Pereira, Risaralda, Colombia.

 **RESTREPO. I.** (2007). Avances en investigación y desarrollo en agua y saneamiento. Cali, Colombia: UNIVERSIDAD DEL VALLE

 **MANDADO. E.** (2009). Automatas programables y sistemas de automatización. Barcelona, España: MARCOMBO

 **CERDA. L.** (2014). Instalaciones eléctricas y automatismos. Madrid, España: PARANINFO

 **GARCÍA. J. M.** (2006). Tratamientos avanzados de aguas residuales industriales. Madrid, España: CEIM

BIBLIOGRAFÍA ELECTRÓNICA

-  **LIBRO: “SISTEMAS EMPOTRADOS EN TIEMPO REAL”**
<https://books.google.com.pe/books?id=og3fCjuh27kC&pg=PA137&dq=automatizacion+industrial+con+PLC&hl=es&sa=X&ved=0ahUKEwiwhuvQuZDPAhUGPD4KHTQmCQYQ6AEINDAA#v=onepage&q=automatizacion%20industrial%20con%20PLC&f=false>

-  **TESIS: “AUTOMATIZACIÓN DE UN PROCESO QUÍMICO BATCH”**
<http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/12303/1/tesis%20enoe2.pdf>

-  **TESIS: “DE AUTOMATIZACIÓN EN LA DOSIFICACIÓN DE QUÍMICOS PARA LA PLANTA DE TRATAMIENTO DE AGUA POTABLE (PTAP) EN VÉLEZ SANTANDER”**
<https://electronikuts.files.wordpress.com/2014/09/tesis-sandra-y-eliecer-corregidos.pdf>

-  **TESIS: “DISEÑO DE UNA ESTACIÓN DE MONITOREO DE PROCESOS: APLICACIÓN A UNA COLUMNA DE DESTILACIÓN”**
<http://www.cenidet.edu.mx/subaca/web-mktro/submenus/investigación/tesis/27%20Fernando%20Rivas%20Cruz.pd>

 **TRATAMIENTO DE LAS AGUAS RESIDUALES DE UNA REFINERÍA
DE PETRÓLEO POR OXIDACIÓN AVANZADA**

<http://revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/view>

File/4616/3721