



“Repotenciación de un horno crematorio, cumpliendo normativas industriales internacionales para la empresa Memorial International”

Rodríguez Rojas Michael Jossue

Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica y Automatización y Control

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Ingeniero en Electrónica Automatización y Control

Ing. Guamán Novillo Ana Verónica, Msc

27 de junio de 2023



Plagiarism and AI Content Detection Report

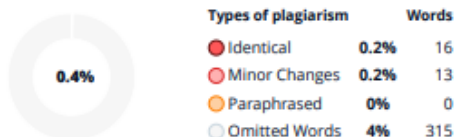
Tesis_Rodriguez_Revision.pdf

ANA
VERONICA
GUAMAN
NOVILLO
Firmado digitalmente por ANA VERONICA GUAMAN NOVILLO. Fecha: 2024.02.16 10:22:40 -05'00'

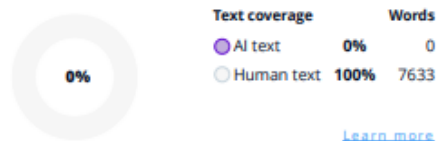
Scan details

Scan time: February 16th, 2024 at 15:12 UTC Total Pages: 32 Total Words: 7948

Plagiarism Detection



AI Content Detection



Plagiarism Results: (2)

[Chapoñán Mondragón, Luis Miguel.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/9461/chapo%c3%b1%c3%a1n%20mondrag%c...) 0.2%

<https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/9461/chapo%c3%b1%c3%a1n%20mondrag%c...>

Hellen Chapoñán Rodríguez

FACULTAD DE INGENIERÍA, ARQUITECTURA Y URBANISMO ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA MECÁNICA ELÉCTRICA TESIS DISEÑO DE UN HORNO CREMATORI...

[Diseño de horno de cremación \(para el Cementerio General de Viacha\)](https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/9442) 0.2%

<https://repositorio.umsa.bo/handle/123456789/9442>

Toggle navigation Login Toggle navigation View Item DSpace ...



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación: **"Repotenciación de un horno crematorio, cumpliendo normativas industriales internacionales para la empresa Memorial International"** fue realizado por el señor **Rodríguez Rojas Michael Jossue**; el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que se lo sustente públicamente.

Sangolquí, 16 de febrero de 2024

Firma:



.....
Guamán Novillo Ana Verónica

C. C. 1103996946



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Responsabilidad de Autoría

Yo, **Rodríguez Rojas Michael Jossue**, con cédula de ciudadanía n°172481809-9, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: **Repotenciación de un horno crematorio, cumpliendo normativas industriales internacionales para la empresa Memorial International**, es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 16 de febrero de 2024

Firma

MICHAEL
JOSSUE
RODRIGUEZ
ROJAS

Firmado digitalmente por
MICHAEL JOSSUE
RODRIGUEZ ROJAS
Fecha: 2024.02.16
11:03:51 -05'00'

Rodríguez Rojas Michael Jossue

C.C.: 172481809 - 9



Departamento de Eléctrica, Electrónica y Telecomunicaciones

Carrera de Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

Autorización de Publicación

Yo, **Rodríguez Rojas Michael Jossue**, con cédula de ciudadanía n°172481809-9, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **Repotenciación de un horno crematorio, cumpliendo normativas industriales internacionales para la empresa Memorial International** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi/nuestra responsabilidad.

Sangolquí, 16 de febrero de 2024

Firma

MICHAEL
JOSSUE
RODRIGUEZ
ROJAS

Firmado digitalmente
por MICHAEL JOSSUE
RODRIGUEZ ROJAS
Fecha: 2024.02.16
11:04:08 -05'00'

Rodríguez Rojas Michael Jossue

C.C.: 172481809 - 9

Dedicatoria

El presente trabajo va dedicado a mis padres Franklin Rodríguez y Narcisa Rojas, por su apoyo, esfuerzo, dedicación y entrega en cada momento de mi vida, a mi hermano Erik Rodríguez quien, con su guía y tenacidad, me enseñó a no rendirme, ser paciente y respetuoso, a mi hermana Ariana Rodríguez, por siempre estar presente en los momentos difíciles de mi vida, escuchándome y aconsejándome.

Michael Jossue Rodríguez Rojas

Agradecimientos

En primer lugar, quiero agradecer a mis padres, por la dedicación y esfuerzo brindado en cada momento de la carrera, por ser mi apoyo e impulsar mi crecimiento profesional siempre de la mejor manera. Gracias por brindarme un consejo, un abrazo y darme la mano cuando fue necesario.

A mis hermanos, que con su consejo y apoyo supieron darme el aliento para continuar y no rendirme, gracias por las noches de desvelo, las risas en situaciones tensas y el apoyo moral, sin ustedes nada de esto sería posible.

A mi novia Ailyn, con su apoyo en los momentos emocionalmente bajos, sus consejos y conocimientos, supo guiarme para adelante sin dejarme rendir en este proceso. Nunca me hizo falta una palabra de aliento, un abrazo y su compañía para concluir con mis estudios.

A mis amigos, Ronal, Luis, Joselyn y Steve, porque sin ustedes la carrera no hubiese sido igual, cada uno formó parte de mi proceso de formación y supo aportar en mi crecimiento profesional y personal, gracias por las amanecidas realizando proyectos, por las tardes de estudio y las reuniones recreativas que vivimos.

A mis amigas Belén, Dayana y Arita, porque sin ser de la misma carrera siempre estuvieron pendientes de mi bienestar y responsabilidad académica.

Finalmente, agradecer a mi tutora Ana Guamán, por su apoyo en todo mi proceso formativo, por la paciencia, dedicación, confianza y compromiso por la enseñanza. Estuvo presente no solo como mi profesora en clase, sino también como un ejemplo y una guía.

Índice de Contenido

Dedicatoria	6
Agradecimientos	7
Resumen	12
Abstract	13
Capítulo I: Introducción.....	14
<i>Antecedentes</i>	<i>14</i>
<i>Justificación.....</i>	<i>16</i>
<i>Alcance del proyecto.....</i>	<i>17</i>
<i>Objetivos</i>	<i>18</i>
Objetivo general	18
Objetivos específicos	18
Capitulo II: Marco teórico.....	19
<i>Horno crematorio.....</i>	<i>19</i>
<i>Proceso de cremación</i>	<i>19</i>
<i>Normativa legal de la cremación de cuerpos.....</i>	<i>21</i>
<i>Sistema de control.....</i>	<i>22</i>
<i>Técnicas de control.....</i>	<i>22</i>
<i>Sistemas de sensado y actuadores.....</i>	<i>23</i>
<i>Normativa de diseño de hmi</i>	<i>24</i>
<i>Isa 101.....</i>	<i>24</i>

<i>Guía gemma</i>	24
Capítulo III: Métodos y materiales	26
Capítulo IV: Implementación	34
<i>Programación del plc</i>	37
<i>Mantenimiento de los elementos</i>	38
<i>Instalación del hmi</i>	41
<i>Construcción del servidor</i>	44
<i>Interconexión hmi-plc-servidor</i>	44
Programación del sitio web y reportes.....	45
<i>Pruebas y resultados</i>	46
Capítulo V: Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros	50
<i>Conclusiones</i>	50
<i>Recomendaciones</i>	51
<i>Trabajos futuros</i>	51
Referencias	52
Apéndices	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Estado previo del horno	27
Tabla 2 Planificación de tareas.	34
Tabla 3 Comparativa estrategias de control.....	35
Tabla 4 Lista de control de cambios.....	39
Tabla 5 Lista de control de cambios.....	42
Tabla 6 Cambios después del proyecto	47

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Diagrama del horno crematorio Jet Burner Gas	20
Figura 2 Disposición del horno.....	24
Figura 3 Diagrama guía gemma	25
Figura 4 Diagrama de funcionamiento previo del horno.....	26
Figura 5 Diagrama de funcionamiento de los componentes eléctricos del horno.....	27
Figura 6 Comparativa botonera.....	29
Figura 7 Comparativa leds indicadores.....	29
Figura 8 Comparativa pantalla.....	30
Figura 9 Comparativa plc.....	31
Figura 10 Control del horno crematorio.....	36
Figura 11 Diagrama de flujo del hmi.....	40
Figura 12 Diseño de pantallas hmi.....	41
Figura 13 Switch para conexión de pantalla y plc.....	42
Figura 14 Diagrama de flujo conexión plc-servidor	44
Figura 15 Diagrama de bloques en node-red	45
Figura 16 Visualización de variables en tiempo real e histórico de cremaciones	45
Figura 17 Nuevo diagrama de funcionamiento del horno.....	47

Resumen

En el presente trabajo se desarrolló la reingeniería del sistema de cremación de cuerpos en la empresa Memorial International. Mediante el cambio de los elementos principales que intervienen en el proceso, como lo fueron el PLC y el HMI, se consiguió una mejora del 10% en cada recarga de gas y del 20% en los tiempos de cremación.

El proyecto fue desarrollado por etapas con el fin de intervenir el menor tiempo posible en la operatividad del horno crematorio ya que es un proceso fundamental que se lleva a cabo continuamente, de cada una de las etapas se pudo obtener un hito que formó parte del desarrollo conjunto de todo el proyecto. Centrándose en tres ejes principales, actualización de elementos, registro de cremaciones y seguridades a nivel de acceso del usuario.

El cambio de los elementos de control e interfaz, significaron el principal reto dentro de la fase de implementación, al no tener documentación previa ni acceso a la programación del sistema de control pasado, fue desarrollado desde cero. La variable de interés fue la temperatura, y sin descuidar la importancia de la seguridad ante un riesgo operativo, se realizó el cambio del sistema de control.

Para mantener un control y registro de la operatividad del horno, se desarrolló un sistema integrado en un servidor web que realice la interconexión del PLC con los servicios web de MySQL, para lo cual, se optó por la integración mediante Node-Red. Al tratarse de información sensible para la empresa, los registros obtenidos de las cremaciones son almacenados y solo pueden ser visualizados desde la infraestructura de su red interna.

Palabras claves: Horno crematorio, sistema automatizado, Node-Red, Control ON-OFF, registro de cremaciones.

Abstract

In this work, the reengineering of the body cremation system at Memorial International was developed. By changing the main elements involved in the process, such as the PLC and the HMI, an improvement of 10% in each gas recharge and 20% in the cremation times was achieved.

The project was developed in stages in order to intervene as little time as possible in the operation of the crematory furnace since it is a fundamental process that is carried out continuously, from each of the stages it was possible to obtain a milestone that was part of the joint development of the entire project. Focusing on three main axes, updating of elements, registration of cremations and security at the user access level.

The change of the control and interface elements, meant the main challenge in the implementation phase, not having previous documentation or access to the programming of the past control system, it was developed from scratch. The variable of interest was temperature, and without neglecting the importance of safety as an operational risk, the control system was changed.

In order to keep a control and record of the furnace operation, a system integrated in a web server was developed to interconnect the PLC with the MySQL web services, for which the integration through Node-Network was chosen. As this is sensitive information for the company, the records obtained from the cremations are stored and can only be viewed from the internal network infrastructure.

Keywords: Crematory oven, automated system, Node-Network, ON-OFF control, cremation records.

Capítulo I: Introducción

Antecedentes

En nuestro país, el servicio de cremación está presente en varias ciudades, mostrándose como una alternativa a los métodos tradicionales ya conocidos. La cremación se presentó como una solución eficiente en el manejo de cuerpos, con el aumento de la demanda a causa de enfermedades como COVID19, debido a la optimización de espacios, contaminación medioambiental, higiene y salud.

La opción del servicio de cremación evita problemas de focos infecciosos principalmente cuando el fallecimiento se ha ocasionado por enfermedades infectocontagiosas, en el aspecto ecológico, el uso de una adecuada tecnología en el proceso de la cremación no permitirá que afecte al medio ambiente, mientras que en el entierro tradicional, si se produce ciertos contaminantes que provoquen daño en el sistema ecológico, el criterio en general es que las personas que optan por la cremación se considera como más sencillo y rápido que un entierro tradicional (Acosta, 2018).

El proceso de cremación debe cumplir con ciertos criterios básicos y mínimos para un correcto funcionamiento, como: cámaras de combustión, temperatura adecuada, materiales utilizados, tiempo de cremación, tipo de combustible. En cuanto a las cámaras de combustión, en hornos actuales, se utilizan dos, la primera que se encarga de la destrucción del cuerpo en su totalidad y la segunda encargada de destruir los gases generados por la primera, esto con el motivo de manejar de mejor manera el golpe ambiental que envuelve el proceso de cremación. En cambio, la temperatura, se usan rangos de trabajo de mínimo 850 y 1000 ° C en las cámaras primaria y secundaria respectivamente (Lugones, 2015). Los materiales y el proceso previo que se le debe dar al cuerpo es muy importante pues deben mantener una rigurosa examinación para eliminar prótesis, metales y materiales externos al cuerpo que puedan interferir en el proceso o causar gases tóxicos durante la cremación, de igual

manera, el material del cofre en el que ingresa un cuerpo debe ser sin barnizados o pinturas externas. El tiempo de cremación puede variar según el tipo de cuerpo, pero el estándar mínimo de un cuerpo adulto es de una hora y treinta minutos, todos estos son parámetros que pueden y deben ser ajustados por los operadores. Finalmente, en cuanto al tipo de combustible que se utiliza en hornos modernos, son el gas LP o gas natural, los cuales son los más convenientes al momento de realizar el proceso.

En la actualidad, la empresa Memorial International cuenta con un horno crematorio en la sucursal Memorial Necrópoli, el cual funciona parcialmente, cumpliendo con su función básica, la cual es incinerar un cuerpo, sin embargo, la empresa tiene dificultades en el ajuste de parámetros básicos como en la operatividad de los componentes eléctricos del sistema de control. Actualmente, se cuenta con una interfaz en la cual se indican parámetros como temperatura y tiempo de uso, sin embargo, no son configurables, y en un inicio el proveedor del horno entregó un sistema en el cual se tenía acceso a históricos del horno, información que no se ha podido confirmar ya que el software dejó de funcionar debido a problemas de conexión y accesos. Además, el sistema de enfriamiento de la cámara principal solo puede ser activado de manera manual forzando el relé que controla el accionamiento de la bomba de agua. Por todo lo antes presentado, la empresa busca una solución efectiva en la automatización del proceso sacándole el mayor provecho a su equipo, con la posibilidad de un mejor manejo por parte de los operarios, control del sistema, acceso restringido y la posibilidad de llevar un histórico del proceso entero ya que ha representado una fuerte inversión para la empresa.

Algunos temas de investigación desarrollados, relacionados directamente con esta propuesta de proyecto, son los que se describen a continuación.

Como primer tema se tiene el “Diseño e implementación de un crematorio para animales domésticos” (Caza, 2014), este Proyecto de titulación es una base en relación con las siguientes temáticas que aborda temáticas como: la identificación de las variables a controlar (temperatura y

flujo), hace énfasis a la lógica de control para la cabina principal un control ON/OFF y PID para la secundaria. La siguiente fuente que aporato a esta investigación es la tesis denominada "Diseño de un horno crematorio para el manejo de cadáveres por Covid-19 en la provincia de Chiclayo" (Chapoñán, 2020), para el modelado del sistema, realiza cálculos necesarios, para conocer como el flujo del calor se esparce en la cabina. La tesis titulada "Diseño de horno de cremación" (Para el Cementerio General de Viacha) (Velasquez, 2014), los aspectos más relevantes que aportan a esta investigación son los siguientes: el diseño P&ID que permite conocer al operario como se desarrolla el proceso, la representación de los sensores y actuadores.

Justificación

El estado actual del sistema implementado en la empresa Memorial International no permite el acceso total a los beneficios que un proceso automático. En este momento la configuración del horno se ve comprometida y limitada por lo que parámetros importantes como temperatura y tiempo se están manipulando a discreción del operario. De igual manera, al no tener un sistema de visualización eficaz, el operario tiene que confiar en que la instrumentación industrial no esté presentando problemas, y el no tener acceso a un histórico del proceso presenta un problema al momento de mantener un registro y control por parte de los directivos de la empresa, quienes buscan poseer un control más eficiente en el encendido y uso del proceso.

De esta manera, si la empresa continúa bajo el modelo utilizado actualmente, pierde la oportunidad de trabajar con un sistema altamente automatizado, con un control eficiente y registro a medida del cliente, la modernización y mantenimiento de los sistemas, representan el resaltar ante la competencia, generando así mejores ingresos y una operatividad más controlada y organizada.

Además del beneficio que representa para la empresa, el cuidado ambiental con un adecuado proceso de trabajo de desechos y gases brindará a la sociedad una solución más amigable, tanto en

organización de espacios y contaminación del aire y suelos, así como un adecuado, digno e higiénico manejo de los cuerpos.

Alcance del proyecto

El desarrollo de este trabajo busca solventar la problemática planteada mediante la repotenciación del horno crematorio de la empresa Memorial International, brindando soluciones que representen una ganancia para la empresa, implementando el cambio de PLC para el proceso de control del sistema. Mediante la lectura de sensores y activación de actuadores para el quemado, enfriamiento y tratamiento de restos, así como la integración de una Interfaz Humano Máquina (HMI) para poder configurar parámetros de tiempo, temperatura, enfriamiento de emergencia, bloqueo del accionamiento del horno sin cerrar la compuerta e ingreso de usuario y contraseña y reportaría de históricos del uso del sistema.

Objetivos

Objetivo General

Repotenciar un horno crematorio, mediante el cambio de controlador e interfaz gráfica para la empresa Memorial International.

Objetivos Específicos

- Categorizar los instrumentos y componentes industriales mediante una inspección técnica del horno que son parte del proceso de cremación para establecer su funcionalidad o reemplazo.
- Dimensionar los nuevos equipos y materiales que permitirán repotenciar el horno crematorio para mejorar el proceso actual.
- Diseñar el HMI del proceso de cremación cumpliendo las normativas ISA 101 y high performance para que el operario tenga un adecuado manejo del proceso.
- Desarrollar un sistema de visualización mediante la conexión a MySQL y programación en JavaScript para presentar el histórico de inicio de sesión, cantidad de ciclos de quemado, fecha y hora, activación de alarmas y tiempo de uso del horno.
- Depurar el funcionamiento del horno de cremación mediante pruebas para comprobar la mejora del proceso y conocer los beneficios del rediseño a nivel productivo y administrativo.

Capítulo II: Marco teórico

Horno crematorio

Es un sistema a base de combustión utilizado para la incineración de cuerpos, funciona a altas temperaturas convirtiendo los cuerpos en cenizas y pedazos de huesos que posteriormente deben ser tratados (Díaz, 2015)

Proceso de cremación

En el proceso de cremación se ven intervenidas varias variables de las que podemos destacar, según (Chapoñán Mondragón, 2020) las 3T tiempo, temperatura y turbulencias. El tiempo empleado para la cremación de un cuerpo dependerá de las características de este, según los operarios de la empresa, en promedio toma alrededor de 90 minutos, la temperatura en la cámara de cremación debe llegar a los 900° C.

Para empezar con el proceso de cremación es importante primero precalentar el horno, se debe realizar hasta que la temperatura alcance al menos los 700°C. Luego el cuerpo es introducido, sin el cofre y sin metales extraños que sean externos al cadáver. Cuando se cumple el ciclo de quemado, se obtiene dos componentes, la ceniza, que es almacenada, y los restos óseos deben ser retirados para pasar a una trituradora terminando el proceso para el almacenamiento junto a la ceniza restante (Gonzalez Zarate & Urrego Amaya, 2020).

Los componentes del sistema de cremación se detallan a continuación:

Horno crematorio: Es un sistema a base de combustión utilizado para la incineración de cuerpos que funciona a altas temperaturas convirtiendo los cuerpos en cenizas y pedazos de huesos que posteriormente deben ser tratados (Díaz A. G., 2015)

Cámaras de combustión: Sección encargada de incinerar el cuerpo y gases restantes, trabajan por medio de un sistema de emergencia para sobrecalentamientos, sopletes de llama, sensores y dependiendo del propósito, pueden ser para cremación o para combustión de gases.

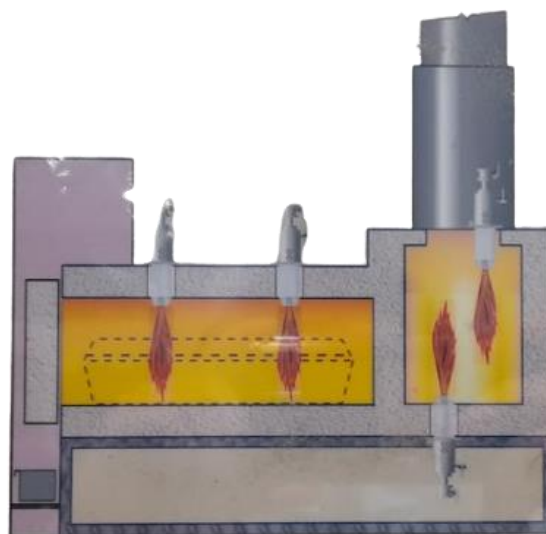
Cámara de cremación: Espacio en el que se introduce el cuerpo comúnmente fabricado a base de ladrillos de alumina resistentes a altas temperaturas llegando a soportar hasta los 1450°C según (Castro & Robles, 2006) y llega a alcanzar temperaturas de 900 C según la empresa constructora del horno jet burner Gas (Caltec, 2023), en algunos casos se cuenta con sistemas de enfriamiento de emergencia y un flujo constante de aire.

Cámara de combustión de gases: Espacio determinado para alcanzar altas temperaturas en el cual los gases resultantes de la cremación de un cuerpo son eliminados y enviados al exterior por medio de la expulsión del aire por la chimenea (Caltec, 2023).

En la Figura 1, se puede observar las cámaras descritas, tanto la de cremación como la de combustión de gases con sus respectivos quemadores. (Caltec, 2023)

Figura 1

Diagrama del horno crematorio Jet Burner Gas



Las variables que intervienen en el proceso son:

Temperatura de cremación: Para transformar un cuerpo en cenizas y restos óseos, es necesario alcanzar un rango de temperatura de 800 °C a 1000 °C (Chapoñán Mondragón, 2020)

Temperatura de combustión de gases: Para la eliminación de los gases, según (Caltec, 2023) es necesario llegar a la temperatura de 1100°C hasta 1200°C

Flujo de aire: Se debe mantener un flujo constante de aire, el cual permite el traspaso de los gases de la cámara de cremación a la de combustión, además, de manejar la oxigenación de ambas cámaras permitiendo así que la llama del horno no se apague (Chapoñán, 2020)

Tiempo de cremación: El tiempo que un cuerpo demora en incinerarse por completo es otro factor importante dentro del proceso, según la empresa (Caltec, 2023) fabricante del presente horno declara que “dependiendo el cuerpo, el proceso puede tomar de 60 a 90 minutos en completar el ciclo de quemado”, cabe aclarar que este factor varía dependiendo de la masa y composición de cada cadáver. Por otra parte, los operarios de la empresa mencionan que el tiempo suele ser superior, esto puede deberse a fugas, disposición del cuerpo, presión y fallas estructurales.

Normativa legal de la cremación de cuerpos

El acuerdo ministerial 192 regula la gestión de cadáveres, dentro del cual se habla de la cremación y manejo de cenizas. Se establecen parámetros a cumplirse como la instalación, funcionamiento y emisión de gases de los hornos crematorios. Estos deben poseer una autorización sanitaria y cumplir con las normas técnicas especificadas en el acuerdo ministerial, así mismo, se determina que los establecimientos que ofrecen este tipo de servicio deben estar registrados en el ARCSA.

En el artículo 14 de la norma, se indica que "los establecimientos de servicios funerarios y de manejo de cadáveres, mortinatos, piezas anatómicas u osamentas humanas, están obligados a llevar un registro de las cremaciones que realicen, el mismo que contendrá como mínimo, fecha y hora de la creación, CI, nombres y apellidos del fallecido, causa de la muerte nombre del familiar responsable, firma del familiar responsable y nombre y firma del responsable de la cremación".

Los históricos solicitados por la empresa son necesarios para mantener un control, registro y posteriores mejoras en el servicio de cremación. Los parámetros solicitados fueron: usuario y fecha de cremación. Además, se añadió el ciclo de quemado, activación de la bomba de agua de emergencia y la temperatura de configuración colocada por el operador. Todos estos datos son de ayuda para el área administrativa, quienes ahora pueden tomar mejores decisiones al momento de realizar las cremaciones y mejorar los servicios prestados, ahorrando combustible y tiempo.

Sistema de control

Es aquel conjunto de sensores, actuadores y controladores que ayudan a medir y controlar una variable y de esta manera llevar a cabo un proceso. El objetivo principal de un lazo de control es mantener la variable en el valor preestablecido necesario para su funcionamiento. Existen dos tipos de lazos de control, control de lazo abierto y control de lazo cerrado (Altamirano, 2023).

Técnicas de control

Las técnicas de control son un conjunto métodos que son utilizadas para controlar y mantener una variable en un valor deseado. Dentro del mundo de las estrategias de control se pueden encontrar de diferentes tipos. Las técnicas de control más utilizadas son:

Control PID: El control PID se basa en tres términos, proporcional, integral y derivativo, este tipo de control es mayormente utilizado en controles de temperatura, nivel, velocidad y posición.

Control Adaptativo: es aquel que busca ajustarse automáticamente a los cambios del sistema, autorregulándose. Este tipo de control es utilizado en aplicaciones como: control de velocidad, estabilidad, posicionamiento, altura.

Control ON-OFF: El control ON-OFF es el más sencillo de los tres, esta estrategia se basa en encender y apagar los actuadores que intervienen en la estabilidad de la variable, las aplicaciones más comunes de este tipo de control son: temperatura, apertura de válvulas de riego, bombas de agua.

Sistemas de sensado y actuadores

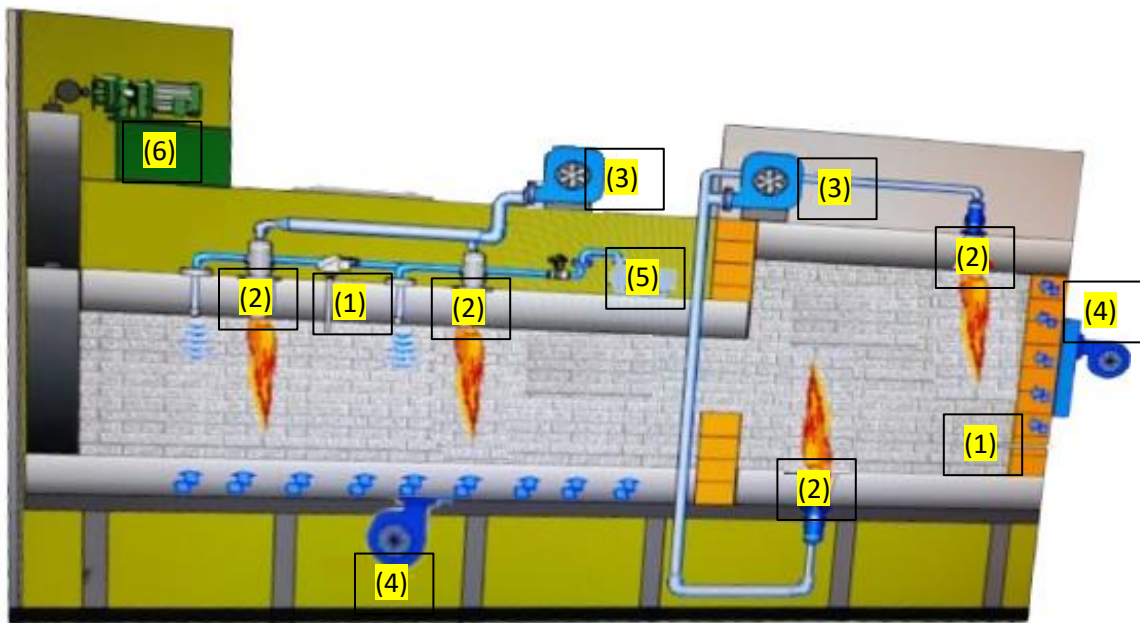
En la Figura 2, se puede observar la disposición de los sensores y actuadores que intervienen en el proceso de cremación. La variable a ser sensada es la temperatura, para lo cual se utiliza dos termocuplas tipo K, marcadas como (1).

Los actuadores que son utilizados en el sistema son 4 incineradores, ubicados dos por cada una de las cámaras de combustión, se los marca como (2). Además, cuentan cada par de incineradores con una bomba de aire, la cual permite el flujo constante de oxígeno para la combustión, se ven marcados con (3).

En el proceso intervienen otros actuadores secundarios, los cuales son 2 bombas de aire para mover el flujo de calor dentro del horno y de esta manera empujar el aire desde la cámara de cremación a la de combustión de gases y finalmente saliendo por el ducto de ventilación, pueden ser visualizados como (4).

Una bomba de agua, marcada como (5), que se encarga del sistema de enfriamiento de emergencia y está ubicada en la cámara de cremación.

El motor, que maneja las acciones para elevar y descender la compuerta de ingreso de cadáveres, cuya denominación es (6).

Figura 2*Disposición del horno*

Normativa de diseño de hmi

Isa 101

La norma ISA 101, habla sobre el posicionamiento, implementación y orden que deben cumplir la pantalla en una interfaz hombre máquina (HMI), con el fin de mantener un sentido de orden en la automatización de los procesos, se le proporciona al programador la orientación necesaria para mantener un diseño y construcción más eficiente de la HMI, resultando en, el manejo de un control seguro y fluidez en el proceso. (Mesa Internacional, 2012)

Guía gemma

Al momento de realizar un proceso automatizado, la persona encargada del diseño, debe contemplar todos los posibles estados de funcionamiento del sistema, bajo este antecedente, la ADEPA desarrolló una interpretación gráfica y organizada de los estados posibles en los que un proceso se puede encontrar, a la cual denominaron GEMMA (Guía de estudio para los modos de encendido y apagado), mediante esta guía el programador puede desarrollar los métodos automatizados de una

manera organizada y más estructurada, facilitando así el funcionamiento del sistema completo

(Cabaleiro Sabín, 2013).

Figura 3

Diagrama guía gemma



Nota. Tomado de Aplicación de la guía GEMMA a la automatización de un proceso (p.2), por

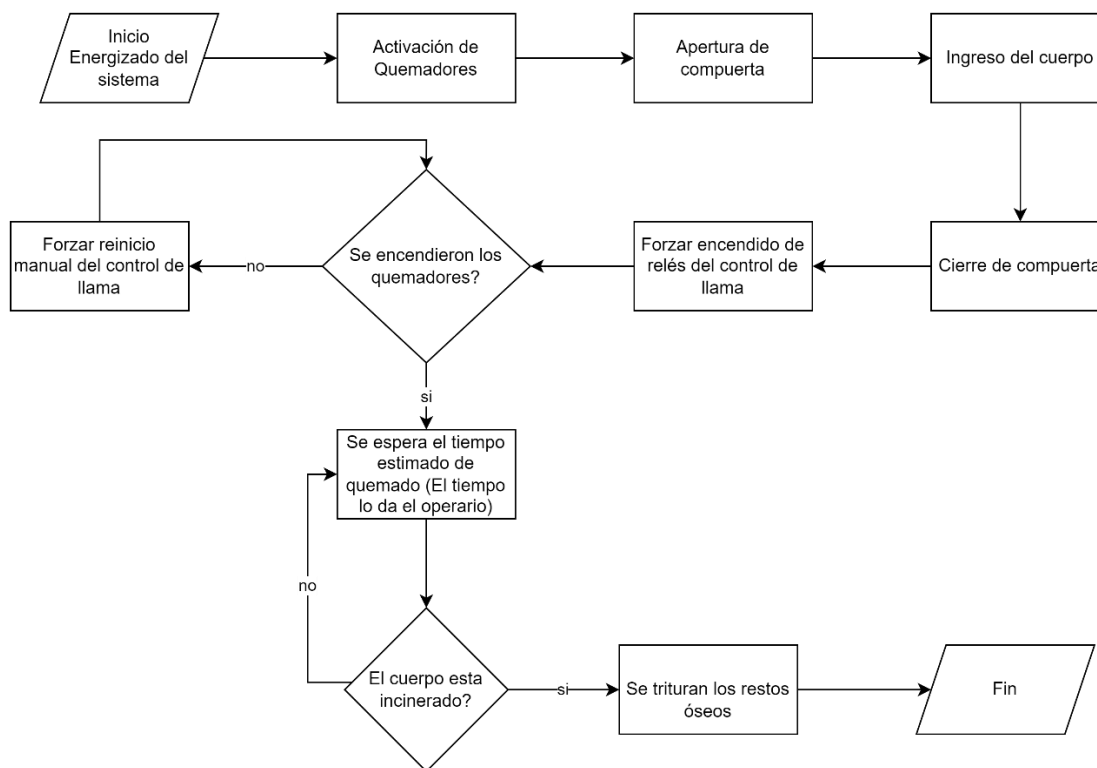
Sabín Cabaleiro, 2013

Capítulo III: Métodos y materiales

El proceso de cremación manejado por la empresa se puede describir de dos maneras. La primera, desde el punto de vista del operario usando el modelo de dos cámaras de combustión, que se muestra en la Figura 4, por lo que el proceso es manual donde una persona debe estar en constante revisión del funcionamiento de los quemadores. Además, el tiempo es supervisado de manera subjetiva por el operario y en base a su criterio, sin respetar el instructivo otorgado por la empresa constructora, todo esto debido a la desactualización y daño en los componentes del sistema. El proceso se observa en la Figura 4.

Figura 4

Diagrama de funcionamiento previo del horno

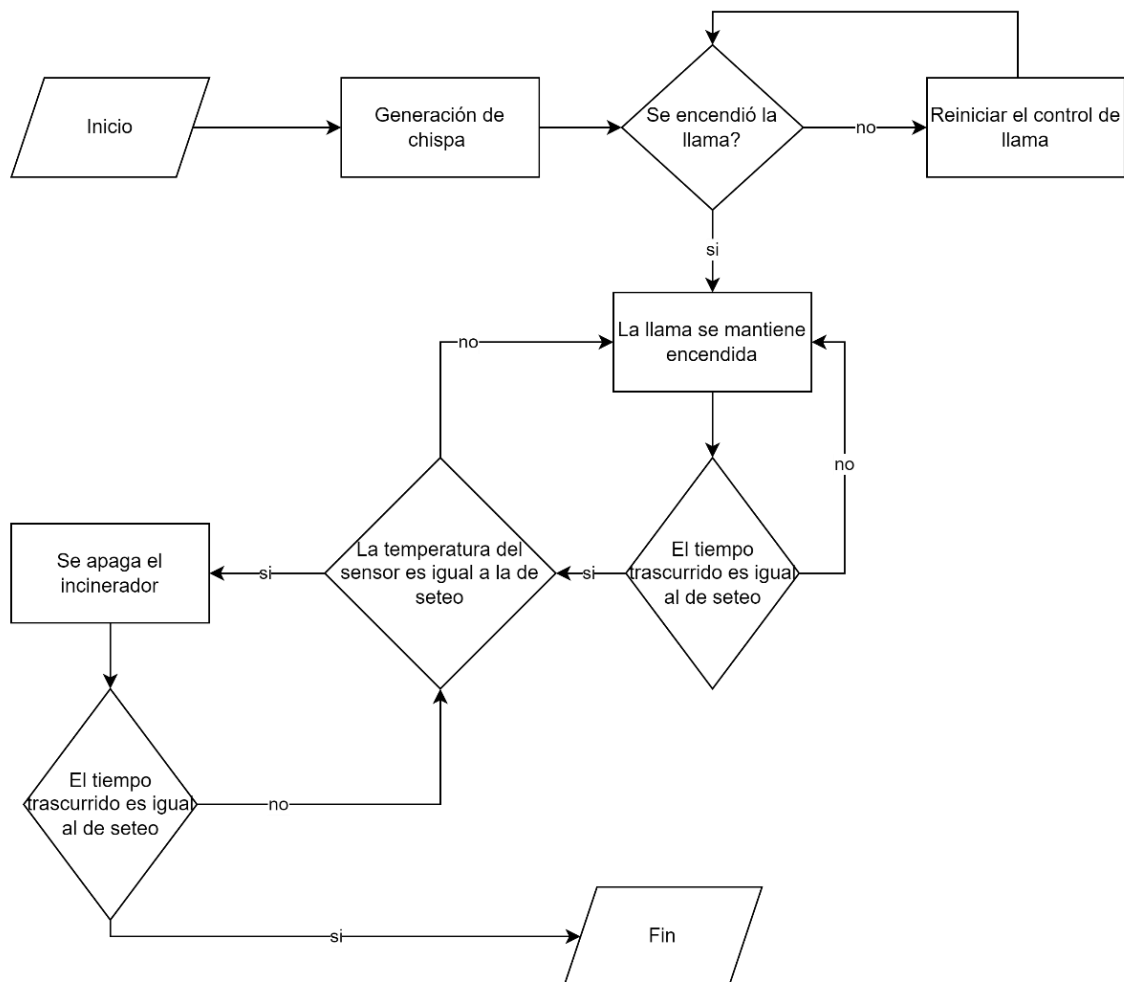


La segunda, desde el punto de vista técnico de los elementos que intervienen, se determina de la siguiente manera y es la misma para las dos cámaras de combustión. En la Figura 5 se detalla el

proceso que se realiza de manera forzada, los actuadores deben estar en constante monitorización y los relés deben ser activados de manera manual, e inclusive reiniciarlos para mantener el proceso adelante.

Figura 5

Diagrama de funcionamiento de los componentes eléctricos del horno



En la tabla 1 se identifican los elementos del sistema, el estado de cada uno de estos y si fue necesario retirarlos o realizar un reemplazo.

Tabla 1

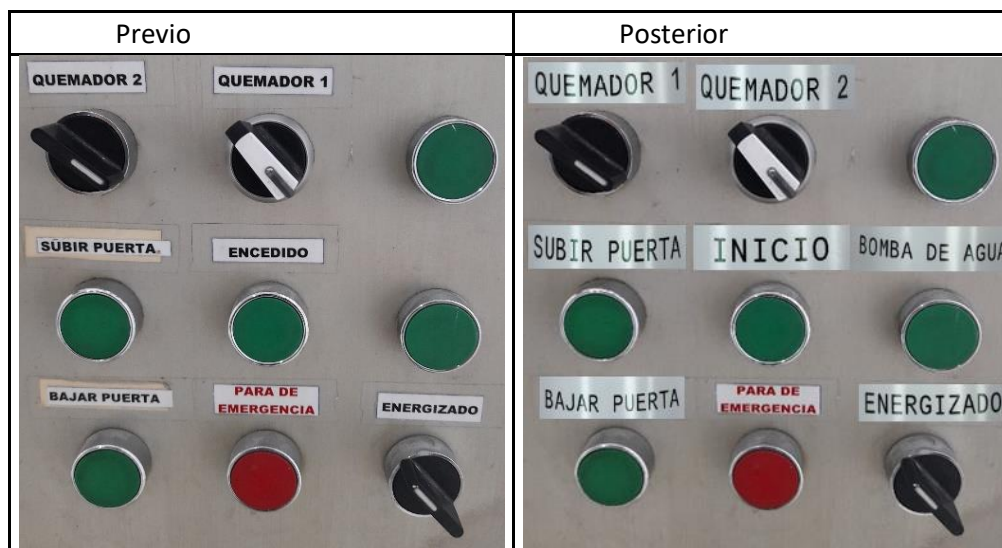
Estado previo del horno

Estado Previo del Horno Crematorio			
Panel externo			
Ítem #	Elementos	Estado	Se realizo cambios
1	Botonera	Sin etiquetar	Agregar etiquetas
2	Leds indicadores	Quemados	Cambio y retiro de innecesarios
3	Pantalla	Descontinuada	Cambio
Tablero de control fuerza			
4	PLC	Descontinuado ya no funciona	Cambio
5	Relés	Funcional	
6	Contactores	Funcional	
7	Transmisor de temperatura	Funcional	
8	Módulo de entradas analógicas Mitsubishi	Funcional	Se retira por ya no ser necesario
9	Fuente 24V	Funcional	
10	Guardamotores	Funcionales	
11	Fusible de protección	Funcional	
12	Fuente Trifásica	Funcional	
Motores e incineradores			
13	Control de llama	Funcional	Mantenimiento
14	Motor de puerta	Funcional	
15	Bomba de agua	Funcional	Mantenimiento

La botonera se encontró en buen estado, por lo que no fue necesario retirar ninguno de los elementos, el pedido de la empresa fue realizar un etiquetamiento adecuado a la operatividad del sistema. Además, se propuso el cambio del botón de parada de emergencia por uno de tipo hongo, sin embargo, la empresa solicitó que el botón se mantenga como está.

Figura 6

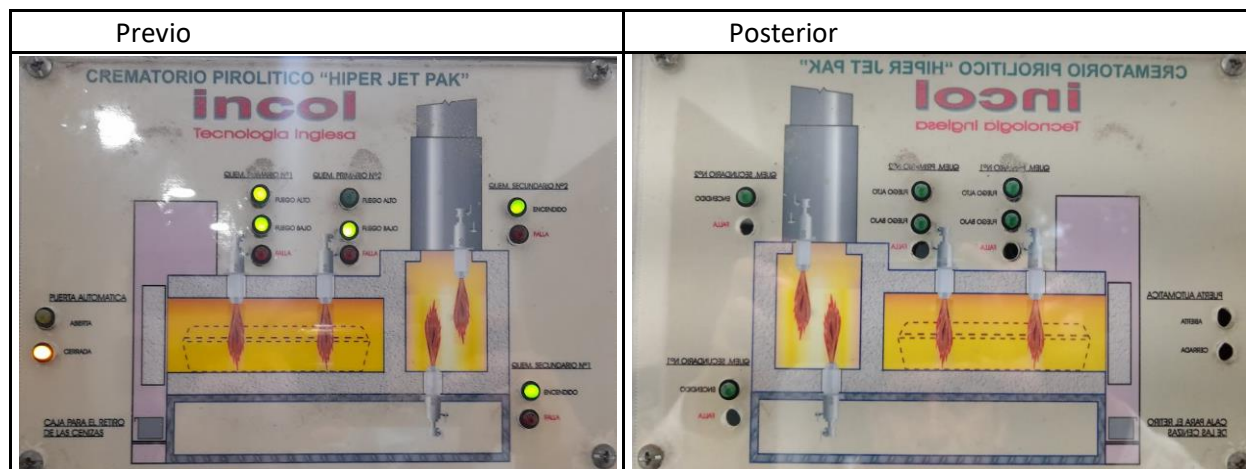
Comparativa botonera.



Los leds indicadores se utilizaban para saber cuando la llama del incinerador está encendida, en sus dos funcionalidades, fuego alto y fuego bajo. Los leds se encontraban en mal estado por lo que se realizó el cambio de estos y la reconexión adecuada, ya que en uno de los quemadores se encontraba intercambiado el indicador de fuego alto y fuego bajo; de igual manera, se realizó el retiro de los indicadores de falla del control de llama y estado de la puerta ya que estas alertas ahora se dan por medio de software. Estas decisiones se tomaron debido a que la empresa solicitó se realice el retiro del exceso de cables que se tiene en las canaletas.

Figura 7

Comparativa leds indicadores



La pantalla que se encontró en el sistema es una pantalla discontinuada de la marca Mitsubishi, la cual no cumple con los requerimientos de la reingeniería, por lo que, se optó por el cambio completo del elemento. El cual se decide en base a las necesidades y es detallado a continuación, pantalla a color, control de inicio de sesión, envío y recepción de datos, comunicación ethernet, pantalla touch, por lo antes mencionado y en base a la compatibilidad de elementos y presupuesto otorgado, se tomó la decisión de trabajar con una pantalla Siemens KTP-Basic de 4''.

Figura 8

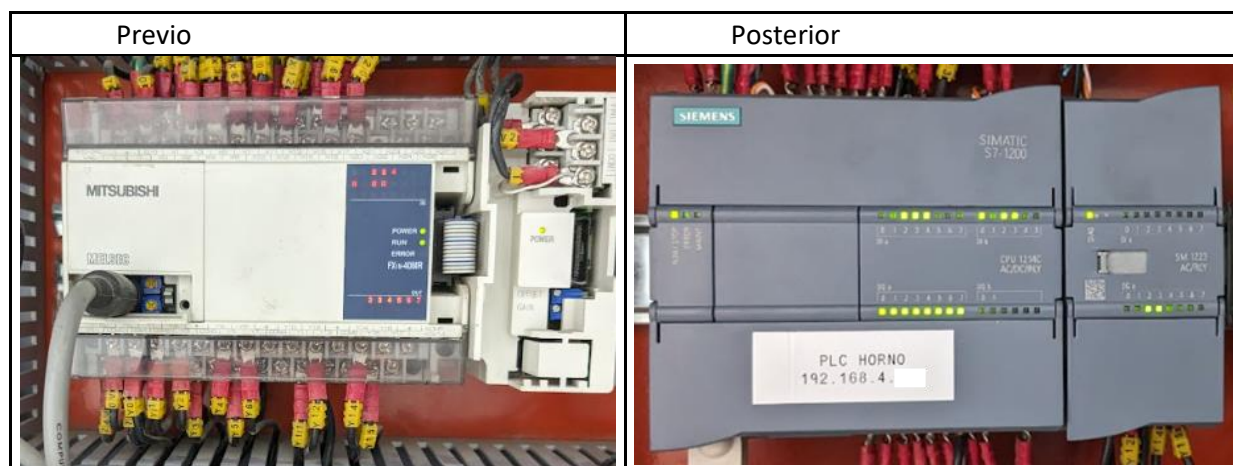
Comparativa pantalla.



Al igual que con la pantalla, se encontró un controlador discontinuado, que ya no cumple con los estándares solicitados por la empresa, de esta manera, se opta por realizar el cambio por completo, dando paso así al planteamiento de la reingeniería del proceso y realizando cambios a nivel de la programación del controlador del sistema. Las especificaciones requeridas para la implementación son: catorce entradas digitales, diecisiete salidas digitales, dos entradas analógicas, conectividad ethernet, compatibilidad entre HMI y PLC.

Figura 9

Comparativa plc.



En el proceso intervienen dos termocuplas tipo K encargadas de sensar constantemente la variable temperatura, una para cada cámara de combustión. Los sensores se conectan a dos transmisores de temperatura de la marca novus, encargados de enviar esa información en una señal de voltaje que el PLC pueda interpretar.

Respecto a los actuadores, los incineradores son controlados en una primera instancia por un control de llama de la marca Resideo en su modelo DKG 972-N, este se encarga de generar la chispa por medio de la orden generada por el PLC encendiendo una bujía. Así mismo, verifica constantemente si la

llama tiene un flujo de aire activo, de esta manera se evita una fuga de gas y posibles accidentes durante la cremación. Para mantener ese flujo de aire constante, el PLC controla una bomba de aire por cada par de incineradores, es decir se mantiene una bomba de aire exclusivamente para los incineradores por cada cámara de combustión.

Para manejar un flujo de aire que pase desde la cámara de cremación, a la cámara de combustión de gases y salga al medio ambiente, es necesario el uso de dos bombas de aire, una por cada cámara, las cuales generan un flujo que empuja los gases producidos por la incineración del cuerpo para ser enviados al exterior como lo dicta la normativa de medio ambiente.

A modo de emergencia, para controlar los excesos de temperatura y posibles accidentes, se tiene una bomba de agua, la cual se encarga de bajar de manera acelerada el valor de temperatura dentro de la cámara de cremación.

Para el manejo de la compuerta de tipo guillotina, se tiene un motor de 2 HP el cual se encarga de realizar la elevación y descenso de la compuerta.

Mediante el PLC, se consigue mantener el control estable del horno, se tomó en cuenta todos los sensores y actuadores que intervienen en el proceso, en conjunto deben mantener un equilibrio entre el proceso y la seguridad. Al trabajar con temperaturas altas, los cambios no pueden ser rápidos, por lo que mediante el encendido y apagado de los incineradores se consigue mantener el control de la variable de interés.

Los incineradores, al contar con una llama baja y alta, que es manejada por el controlador de llama, que a su vez es encendido o apagado por el PLC, equilibra la temperatura interna del horno. A la par de encenderse el horno los incineradores de la cámara de combustión de gases se activan con la llama baja, de esta manera se precalienta el horno, una vez sobrepasa la temperatura de los 200°C, se enciende la llama alta. De la misma manera, los ventiladores tanto de ambas cámaras, como de los

incineradores posteriores, se activan para iniciar el flujo de aire del sistema, después de 30 segundos de haber generado el flujo de aire inicial, los incineradores de la cámara de cremación se encienden en llama baja, al igual que la bomba de aire, precalentando el ambiente de la cámara, una vez esta llega a una temperatura de 300°C, por seguridades, se enciende la llama alta del sistema, empezando así con el ciclo de cremación.

El sistema, al estar manteniéndose en una constante lectura de la variable de interés, encenderá o apagará los incineradores según corresponda, además de tener por defecto configurado a un valor de 1200°C en la cámara de cremación el disparador de la activación de la bomba de agua de emergencia, evitando así, los accidentes por sobre calentamientos. Gracias a las señales de encendido o apagado que proporciona el PLC, el operario del horno solo debe preocuparse por arrancar el proceso.

Capítulo IV: Implementación

En el proceso de implementación, con motivo de no intervenir en la operatividad de la empresa se dividió en etapas, estas son descritas en la tabla 2.

Tabla 2

Planificación de tareas.

Planificación	Resultado
Análisis de capacidades del horno	Grafcet del sistema
Programación del PLC	Programa del sistema
Mantenimiento de los elementos	Formato del mantenimiento
Retiro de equipos	Fotos del retiro de los equipos
Instalación del PLC	Reconexión de elementos
Pruebas del sistema	Fotos de puesta en marcha
Programación de la pantalla	Pantallas del sistema
Instalación de la pantalla	Fotos del cambio de pantalla
Pruebas del sistema	Fotos de la puesta en marcha
Construcción del servidor	Pruebas de la instalación
Interconexión PLC-HMI-Sitio	Fotos node red
Programación del sitio web	Fotos del sitio Web
Toma de información para reportes	Reportes de funcionamiento

En la primera etapa se realizó un estudio de las capacidades del horno, funcionalidades y entendimiento del proceso, que consiste en cremación del cuerpo de manera manual, sin configuraciones tanto de temperatura como tiempo de cremación, y con la supervisión continua del proceso.

Para esta etapa, se partió del diseño Gracet del nuevo funcionamiento y programación del horno, mismo que puede ser visto en el Apéndice 3. Desde este punto se tiene una idea clara para cumplir con la automatización del sistema.

En la tabla 3, se muestra una comparativa entre los tres tipos de técnicas de control.

Tabla 3

Comparativa Estrategias de Control.

Aplicación / Característica	Estrategia de control		
	PID	Adaptativo	ON-OFF
Mayor Velocidad	x	x	
Menor costo			x
Auto regulación		x	
Temperatura	x		x
Precisión	x		
Eficiencia	x		

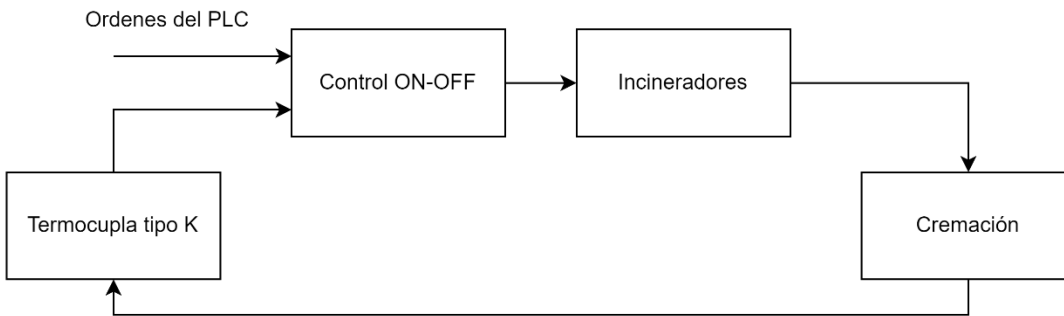
Costo de implementación			x
Regulaciones	x		x
Menor complejidad para mantenimiento			x
Estabilidad	x		
Menor complejidad de implementación y tiempo			x

Una vez analizada la Tabla 3 y teniendo en cuenta parámetros importantes para la empresa como lo son, complejidad para implementación, complejidad para mantenimiento, que el tiempo de reacción dentro del proceso de cremación no tiene que ser veloz y presupuesto, se opta por la opción de un control ON-OFF, con la posibilidad de que se pueda mejorar el sistema de control a un control de tipo PID.

El lazo de control del sistema se puede observar en la figura 10, donde las órdenes del PLC son dadas en base a la lectura de los sensores de temperatura, enviando el encendido y apagado de los quemadores, teniendo como objetivo de control la variable temperatura.

Figura 10

Control del horno crematorio.



Programación del plc

Una vez se culminó con esta etapa, se procedió con la programación del PLC, al no tener acceso a la programación del antiguo PLC esta etapa fue fundamental en la elaboración del proyecto, mediante el software TIA Portal V18. Se elaboró la programación del controlador, encargado de manejar automáticamente todo el proceso de cremación de los cuerpos. Este a su vez se dividió en segmentos, los cuales son descritos en el Apéndice 4

La programación del PLC se dividió por bloques de organización, función y de datos, los cuales son “Main”, “Temperatura”, “Acciones”, “G0: Estado”, “G1: Producción” y “Node-Red”.

Bloque Main, se llaman a los bloques de función, los cuales son “Go: Estado”, “Acciones” y “G1: Producción”, dentro de los cuales se encuentra detallada la programación del funcionamiento lógico del autómata.

Dentro del bloque de organización de “Temperatura”, se tiene la normalización y escalamiento de la lectura de los sensores.

Bloque de Acciones, se manejan las instrucciones que aportan al control de encendido y apagado de los actuadores para el quemado de cuerpos, en función de la lectura de los sensores y el

estado en el que se encuentre el sistema, además, se maneja el encendido de las variables y del envío de la información a la base de datos.

G0 Estado, maneja estado del horno en general, si se encuentra en marcha o si se pulsó el paro de emergencia o el sistema terminó sus funciones.

G1 Producción, en este bloque se manejan los motores, y bomba de emergencia, además este bloque se encarga de la monitorización continua del sistema comprobando constantemente el estado de las variables del sistema.

Node-Red, se encarga de almacenar las variables en un bloque de datos, este bloque ayuda en la comunicación entre el PLC y el servidor web.

Mantenimiento de los elementos

Para poder proceder con el proyecto fue necesario realizar un mantenimiento completo del sistema, de lo cual se tuvo ayuda del personal operativo de la empresa, quienes son los encargados de este proceso. El cual se lo realiza de manera periódica cada 6 meses, sin embargo, en esta ocasión se lo realizó a nivel más profundo, incluyendo la limpieza de contactos y revisión de cableado de todo el sistema.

Los equipos que ya no son necesarios para el funcionamiento del proyecto, y teniendo en cuenta la Tabla 3 donde se enlisto los elementos a ser cambiados, se procedió con el retiro de estos. Además, se realizó el etiquetado del cableado, segmentación por áreas para su desconexión y retiro de dispositivos de las regletas.

De igual manera, se realizó el retiro de los leds indicadores y pantalla, el cableado de interconexión entre estos dispositivos (PLC y Pantalla) era abundante por el tipo de comunicación que utilizaba, incluyendo un adaptador de 9 hilos para el envío de información. Cabe recalcar que esta

pantalla no era utilizada desde hace varios años ya que la comunicación entre ambos dispositivos no funcionaba.

Una vez se culminó con el proceso de retirada de cableado, y dispositivos que no van a ser utilizados, se realiza la instalación del nuevo controlador, y se procede con la reconexión del cableado que si va a ser utilizado. Dentro de este proceso se realizan pruebas de continuidad y medición de valores, una vez culminado, se realiza la carga del sistema en el controlador, abriendo el paso a realizar pruebas generales de funcionamiento.

Con todos los elementos de control y cableado sustituido es necesario realizar pruebas de puesta en marcha del sistema completo, donde se tiene la lista de comprobación mostrada en la tabla 4.

Tabla 4

Lista de control de cambios.

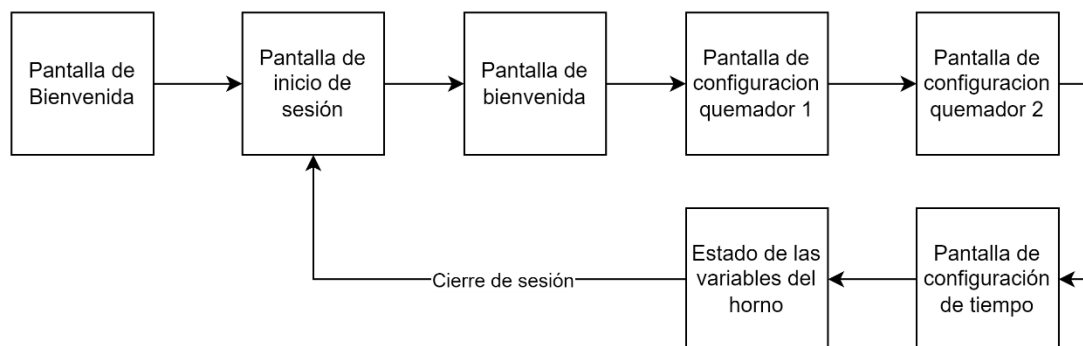
Chequeo de funcionamiento general	16/12/2023
Elemento	Funcionamiento
Energizado del sistema	ok
Activación Quemador 1	ok
Activación Quemador 2	ok
Botón de subir puerta	ok
Botón de bajar puerta	ok
Botón de encendido de bomba de agua	ok
Botón de inicio del sistema	ok

Paro de emergencia	ok
Activación de llaves térmicas	ok
Medición de sensores de temperatura	ok
Indicadores de activación de relés	ok
Medición de fuentes	ok
Visualización de encendido de quemadores en cámara de cremación	ok
Visualización de encendido de quemadores en cámara de combustión	ok

Al ser todo un nuevo segmento, se recolecto información del proceso de cremación y necesidades, y se realizó la programación de las pantallas necesarias. De manera general, se presenta el siguiente diagrama que engloba la lógica de las pantallas en la Figura 11.

Figura 11

Diagrama de flujo del hmi.



Según las normas ISA 101 y respetando los parámetros de imagen de la empresa, se procedió con el diseño de las pantallas, estas cuentan con lo necesario para su funcionalidad y operatividad. Como se observa en la Figura 12, las pantallas siguieron el diseño sugerido por la normativa, manteniendo entre todas un orden para avanzar y retroceder en el flujo de la configuración del sistema.

Figura 12

Diseño de pantallas hmi.



Instalación del hmi

Para poder realizar la instalación de la pantalla y que esta funcione correctamente con el PLC se tuvo que conectar un switch y que este funcione en red, mediante el protocolo de conexión Ethernet, se

consiguió la reducción del cableado y cantidad de elementos que intervienen en el sistema. Además, al ser por medio de par trenzado, es más segura y ofrece una operatividad mayor del sistema.

Figura 13

Switch para conexión de pantalla y plc.



Al igual que cuando se realizó el cambio de PLC, una vez terminado, se realizaron pruebas con una lista de objetivos a cumplir, la cual se detalla en la tabla 5.

Tabla 5

Lista de control de cambios.

Chequeo de funcionamiento general	20/12/2023
Elemento	Funcionamiento
Energizado del sistema	ok

Activación Quemador 1	ok
Activación Quemador 2	ok
Botón de subir puerta	ok
Botón de bajar puerta	ok
Botón de encendido de bomba de agua	ok
Botón de inicio del sistema	ok
Paro de emergencia	ok
Activación de llaves térmicas	ok
Medición de sensores de temperatura	ok
Indicadores de activación de relés	ok
Medición de fuentes	ok
Visualización de encendido de quemadores en cámara de cremación	ok
Visualización de encendido de quemadores en cámara de combustión	ok
Conectividad de la pantalla	ok
Envío de datos	ok
Recepción de datos	ok

Construcción del servidor

Para cumplir con el importante paso de la visualización y reportería solicitada por la empresa, se realiza la implementación del equipo que hará de servidor onpremise dentro de las instalaciones de la empresa. Las características de este se encuentran detalladas en el Apéndice 6. El sistema operativo que se utiliza en el horno es UBUNTU, y se gestiona mediante una base de datos elaborada en MySQL, con el servidor HTTP Apache y el framework laravel.

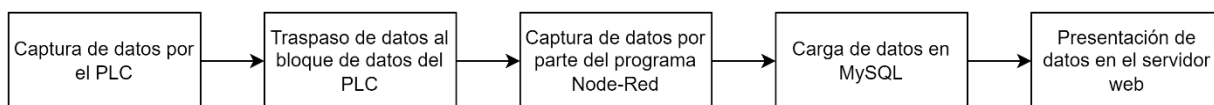
Interconexión hmi-plc-servidor

Para poder obtener los históricos solicitados por la empresa, es necesario contar con la interconexión de los dispositivos siemens con el servidor, para esto se realizó la integración mediante el software Node-Red, el cual permite leer los datos del PLC o de la pantalla, para poder realizar esta conexión, es importante definir el flujo de conexión entre el PLC y el servidor.

La conexión entre el PLC y el servidor se la realiza mediante ethernet, Node-Red captura la IP del PLC y mediante la integración de una librería dedicada al modelo S7-1200, toma los datos almacenados en el bloque de datos, por medio de programación en el lenguaje JavaScript se traspaesa esa información a una base de datos almacenada en MySQL, donde previamente se construyó la tabla que leerá la temperatura en tiempo real y guardará el histórico de datos solicitado, una vez almacenada esta información se carga en pantalla, el flujo se puede observar en la Figura 14.

Figura 14

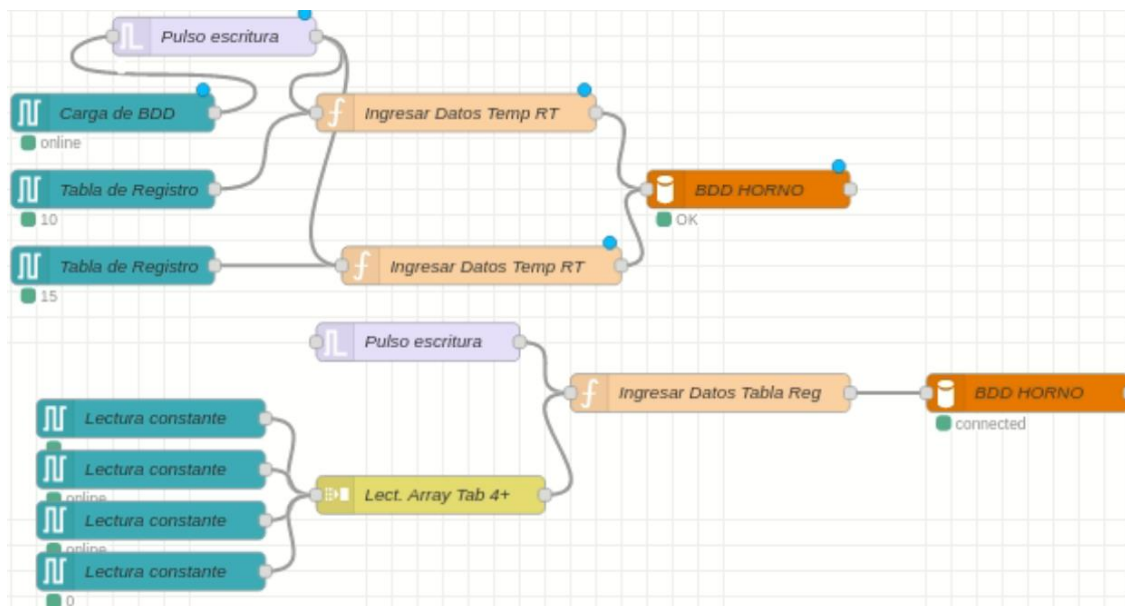
Diagrama de flujo conexión plc-servidor



En la Figura 15, se muestra a manera de bloques las configuraciones que se realizaron en Node-Red para la lectura de datos del PLC, y escritura en la BDD.

Figura 15

Diagrama de bloques en node-red



Programación del sitio web y reportes

Para poder mostrar estos datos, la empresa solicitó un sitio web accesible únicamente desde su infraestructura. Se creó un servicio web, alojado dentro del data center de la empresa, en donde se cargan los históricos y se puede ver en tiempo real la temperatura del horno, así como las veces que ha sido utilizado. Este sitio cuenta con protección de ingreso por usuario y contraseña y puede ser observado en la Figura 16.

Figura 16

Visualización de variables en tiempo real e histórico de cremaciones

Temperatura Primaria		Temperatura Secundaria	
94		102	

Horno					
ID	UserName	Ciclo	Bomba	Temp_Set	Creacion
1	EPADILLA	1	0	900	22-12-2023
2	PCHILUISA	1	0	900	26-12-2023
3	EPADILLA	1	0	900	26-12-2023
4	EPADILLA	1	0	900	29-12-2023
5	PCHILUISA	1	0	900	29-12-2023
6	PCHILUISA	1	0	900	29-12-2023
7	PCHILUISA	1	0	900	02-01-2024
8	PCHILUISA	1	0	900	02-01-2024
9	EPADILLA	1	0	900	04-01-2024
10	PCHILUISA	1	0	900	04-01-2024

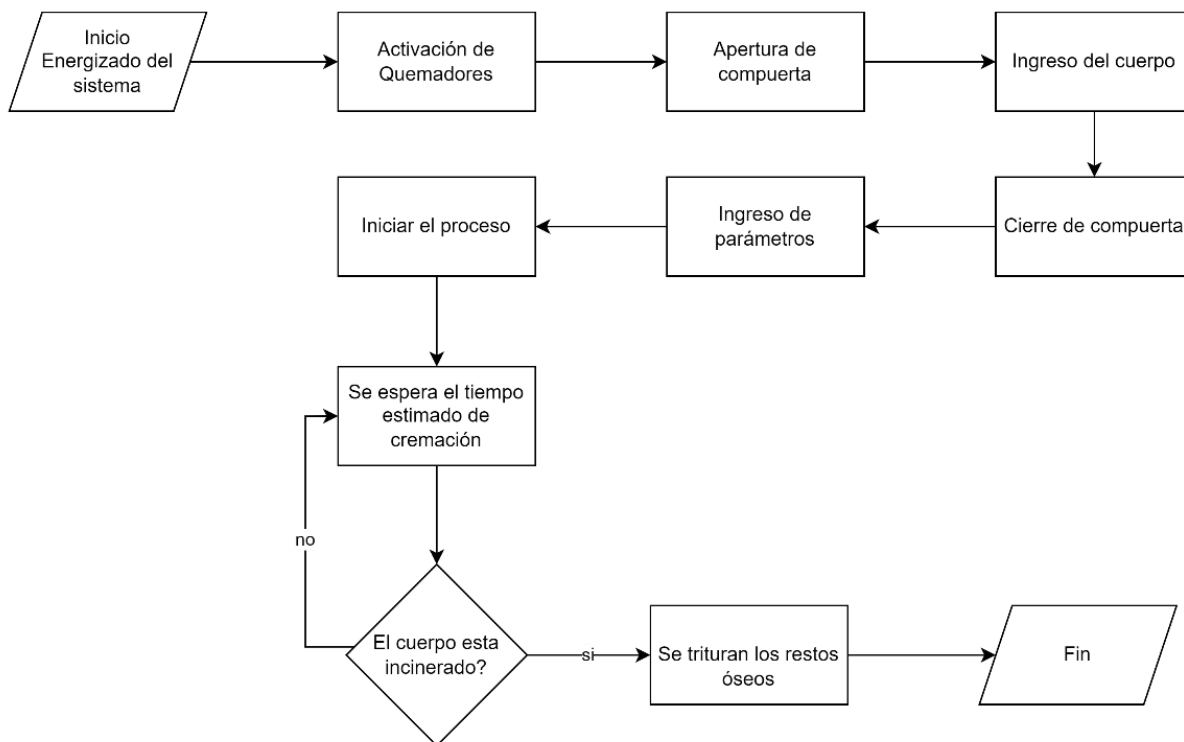
Pruebas y resultados

En un lapso de dos semanas, después de la entrega de la implementación, se obtuvo como resultado un total de 10 cremaciones programadas. La temperatura de seteo para la incineración de un cuerpo fue de 900°C, cumpliendo con el ciclo de cremación completo y en ninguna se observó la activación de la bomba de emergencia. El registro de los usuarios fue satisfactorio, teniendo 4 incineraciones por parte del operario “epadilla” y 6 por parte de “pchiluisa”. Durante el tiempo de entrega del proyecto, realizado el día 22 de diciembre de 2023 hasta la mediados de febrero, no se han presentado incidentes o complicaciones con la operación del horno crematorio, según indica el encargado del manejo del horno, el sistema a reaccionado de manera perfecta ajustándose a sus necesidades y el control es efectivo, optimizando así el seguimiento del proceso y dando paso a próximas mejoras en la parte administrativa del sistema.

Una vez culminado con el proceso de cambios, en la Figura 17, se presenta el nuevo diagrama de funcionamiento, tanto a nivel de operario como de los elementos que intervienen en la cremación. De esta manera se consiguió automatizar el proceso.

Figura 17

Nuevo diagrama de funcionamiento del horno



A continuación, en la tabla 6 a manera de resumen, se muestran los principales cambios del sistema, cambios que fueron beneficiosos para la empresa y de su conformidad, dando así por terminado el proyecto.

Tabla 6

Cambios después del proyecto

Función	Original	Proyecto	Detalle
Incineración automática del cadáver			Ahora, los operarios del horno pueden con una sola configuración y un fácil encendido, realizar su trabajo, aprovechando así de mejor manera el tiempo y disminuyendo significativamente la

			posibilidad del error humano, ya que no deben forzar el encendido de los quemadores.
Recopilación de la data			Ahora la empresa cuenta con un histórico de sus operaciones, el cual puede ser entregado al área de soluciones para mejorar el proceso, tener un control de cada cremación y mejorar en los procesos de configuración de temperaturas y tiempos de cremación según cada cuerpo.
Seguridad de operatividad (Solo se pone en marcha iniciando sesión)			La empresa buscaba tener un control y registro de los usuarios que hacen uso del horno crematorio, mediante la configuración de la pantalla HMI que se colocó, se tiene el control ya que si no se inicia sesión no se puede iniciar las operaciones y esta información se carga directamente en la BDD de la página web.
Seguridad al momento del funcionamiento			El comportamiento de la compuerta fue cambiado para que mientras el horno este en uso no se pueda manipular la compuerta, de igual manera, el proceso solo inicia si se tiene cerrada la compuerta.
Visualización de temperaturas en la red interna de la empresa			Ahora el gerente funerario puede observar en tiempo real, dentro de la empresa el estado del horno, si este encendido o apagado.
Protección contra sobrecalentamientos			La bomba de agua se encontraba averiada, ahora es una protección contra los sobrecalentamientos que se puedan dar en la cámara de cremación del horno, la temperatura de emergencia se seteo en base a los valores de temperatura que se obtuvieron en el desarrollo del proyecto

Protección contra apertura de compuerta con sistema puesto en marcha			Ahora el operario cuenta con menos riesgos ya que antes la compuerta podía ser abierta en cualquier momento de la cremación, lo que podía causar
--	--	--	--

Capítulo V: Conclusiones, recomendaciones y trabajos futuros

Conclusiones

Con el cambio del controlador y la HMI, se consiguió repotenciar el proceso de cremación, logrando así que la empresa mejore y optimice el uso del horno, manteniendo un control estable y seguro en caso de emergencias. Gracias a la implementación de este trabajo, se puede llevar un control de la cantidad, fechas, y personal responsable de cada incineración, datos que son requeridos no solo por la parte administrativa de la empresa, sino que también deben ser presentados al ministerio de salud pública.

Gracias a la inspección oportuna de los instrumentos y componentes que forman parte del sistema de cremación, se consiguió categorizar, según el estado de funcionamiento, que elementos deben ser reemplazados con el objetivo de mejorar el proceso de incineración, dando como resultado el reemplazo del PLC, la pantalla, el módulo de entradas analógicas y etiquetado de elementos. En base a esta inspección, se dimensionó los elementos que fueron cambiados, cumpliendo así con las necesidades y nuevas prestaciones del horno.

Con el diseño de las pantallas del HMI, siguiendo la normativa ISA 101, el operario consiguió configurar de manera, rápida y precisa los parámetros necesarios para la cremación de un cuerpo, mejorando así el tiempo total que se toma en cada una de las cremaciones en un 20%, así como un manejo más estable de temperaturas.

Mediante la construcción del servidor y con la ayuda de software especializado para la interconexión entre el PLC y el servidor, se obtuvo los datos y fueron almacenados en la base de datos para más adelante ser mostrados, de esta manera, el área administrativa consigue tener un control de quien y a qué hora se maneja el horno y si se cumple con los ciclos de quemado.

Una vez se concluyó con el trabajo en su etapa de implementación, se pudo comprobar gracias a las pruebas y monitorización realizadas a lo largo de las próximas semanas, que el proceso de cremación se realiza con éxito, completando todos los ciclos de cremación y visualizando un patrón de configuración de temperatura en un valor de 900°C, anteriormente, se tenía configurado para que el horno caliente sobre los 1000°C, lo que ocasionaba un mayor consumo de gas y deterioro del interior del horno, con la disminución de este parámetro se proyecta un ahorro de 10% de gas en cada recarga, representado así, para el área administrativa de la empresa un ahorro significativo.

Recomendaciones

Mediante el paso del tiempo y la toma de más datos y registros, se podrá mejorar aún más el consumo de gas, ajustando parámetros de temperatura y tiempo de cremación, se conseguirá una disminución en los consumos y un ahorro para la empresa.

Si este proceso es replicado al otro horno que posee la empresa, en la sucursal de Guamaní, los procesos serán más eficientes, con la automatización de estos, la empresa conseguirá pulir y destacar sobre la competencia.

Trabajos futuros

Los resultados del presente trabajo de titulación, demostraron que se puede mantener un mejor seguimiento, aprovechar de mejor manera los recursos y automatizar los procesos de cremación, por lo que se propone como trabajo a futuro realizar el mismo proceso en el segundo horno crematorio que tiene la empresa Memorial International, ya que este es un modelo más antiguo aún que cuenta con únicamente control industrial y todo el proceso es manejado de manera manual por el operador encargado, al automatizar los procesos de funcionamiento del horno, se aumenta la productividad para la empresa, tanto por parte del horno como del tiempo del operador.

Referencias

- Acosta, S. (04 de 2018). *Organización Panamericana de la Salud*. Obtenido de https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/51545/ControllnfecHospitalarias_spa.pdf
- Altamirano, S. (9 de Marzo de 2023). *SISTEMAS DE CONTROL EN LAZO ABIERTO Y CERRADO*. Obtenido de blog.suileraltamirano.com: <https://blog.suileraltamirano.com/contenido06-sistemas-de-control-en-lazo-abierto-y-cerrado/>
- Cabaleiro Sabín, D. (2013). Aplicación de la guía GEMMA a la automatización de un proceso. *Aplicación de la guía GEMMA a la automatización de un proceso*. Universidade da Coruña. Escola Universitaria Politécnica, Coruña, España. Obtenido de <https://ruc.udc.es/dspace/handle/2183/14475>
- Caltec. (2 de Febrero de 2023). *Caltec*. Obtenido de Crematorios: <http://www.caltec.com.ar/crematorios.html>
- Castro, M. N., & Robles, J. M. (2006). Centro de Investigación y Estudios Avanzados del IPN - Unidad Saltillo, Monterrey, México. Obtenido de https://www.researchgate.net/profile/Jose-Almanza-Robles/publication/268363064_ADICION_DE_SEMILLAS_DE_MULLITA_EN_LA_OBTENCION_DE_COMPOSITOS_REFRACTARIOS_MULLI-TA-CIRCONA_A_PARTIR_DE_ESCORIA_DE_ALUMINIO_Y_CIRCON/links/54bd516f0cf218d4a16a25eb/ADICION-DE-S
- Caza, E. (09 de 2014). <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8955>. Obtenido de Repositorio ESPE: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/8955>
- Chapoñán Mondragón, L. M. (2020). Diseño de un horno crematorio para el manejo de cadáveres por COVID-19 en la provincia de Chiclayo. *Diseño de un horno crematorio para el manejo de cadáveres por COVID-19 en la provincia de Chiclayo*. Universidad Señor de Sipán, Chiclayo, Perú. doi:9461

Chapoñán, L. (2020). *Diseño de un horno crematorio para el manejo de cadáveres por Covid-19 en la provincia de Chiclayo* . Obtenido de Repositorio USS:

<https://repositorio.uss.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12802/9461/Chapo%C3%B1%C3%A1n%20Mondrag%C3%B3n%20Luis%20Miguel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Díaz, A. G. (2015). DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN HORNO CREMATORIO EN UNA NAVE INDUSTRIAL.

DISEÑO E INSTALACIÓN DE UN HORNO CREMATORIO EN UNA NAVE INDUSTRIAL. UNIVERSIDAD DE CANTABRIA, CANTABRIA. Recuperado el 2 de Febrero de 2024, de

<https://repositorio.unican.es/xmlui/bitstream/handle/10902/6685/376335.pdf>

Gonzalez Zarate, L. C., & Urrego Amaya, C. A. (2020). Análisis del impacto ambiental generado por el horno crematorio Jardín De la localidad de Fontibón. *Análisis del impacto ambiental generado por el horno crematorio Jardín De la localidad de Fontibón*. Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Colombia. Obtenido de <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/2269>

Mesa Internacional. (2012). *Mesa Internacional*. Obtenido de yokogawausersconference.com:

https://yokogawausersconference.com/uploads/3/1/8/5/3185440/mesatutorial__isa101_hmiworkshop.pdf

MSP-Ecuador. (Abril de 2020). www.salud.gob.ec. Obtenido de Manipulación y disposición final de cadáveres: <https://www.salud.gob.ec/wp-content/uploads/2020/04/Crematorios.pdf>

Retena. (2 de Febrero de 2024). *Catálogo de productos*. Obtenido de <https://retena.ec/catalogo/>

Apéndices