



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

**PROYECTO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

AUTOR: ENRIQUE FABRICIO CAZA ROBAYO

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CREMATORIO PARA
ANIMALES DOMÉSTICOS**

DIRECTOR: ING. IBARRA ALEXANDER MSc

CODIRECTOR: ING. TIPÁN, EDGAR

SANGOLQUÍ, SEPTIEMBRE 2014

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL****CERTIFICADO**

Ing. Alexander Ibarra MSc

Ing. Edgar Tipán

CERTIFICAN

Que el trabajo titulado "**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CREMATORIO PARA ANIMALES DOMÉSTICOS**" realizado por el señor Enrique Fabricio Caza Robayo ha sido guiado y revisado periódicamente y cumple con normas estatutarias establecidas por la institución, el Reglamento de Estudiantes de la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE.

Debido a que se trata de un trabajo de investigación recomiendan su publicación. El mencionado trabajo consta de un documento empastado y un disco compacto el cual contiene los archivos en formato portátil de (pdf). Autorizan al Sr. Enrique Fabricio Caza Robayo que lo entregue al Ingeniero Luis Orozco, en su calidad de Coordinador de la Carrera.

Sangolquí, 05 de Septiembre del 2014

Ing. Alexander Ibarra MSc

DIRECTOR

Ing. Edgar Tipán

CODIRECTOR

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL

Yo, ENRIQUE FABRICIO CAZA ROBAYO

DECLARO QUE:

El proyecto de grado denominado "**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CREMATORIO PARA ANIMALES DOMÉSTICOS**", ha sido desarrollado en base a una investigación exhaustiva, respetando los derechos intelectuales de terceros, conforme las citas que constan al pie de las páginas correspondientes, cuyas fuentes se incluyen en la bibliográfica.

Consecuentemente este trabajo es de nuestra autoría.

En virtud de esta declaración, nos responsabilizamos del contenido, veracidad y alcance científico del proyecto de grado en mención.

Sangolquí, 05 de Septiembre del 2014

Enrique Fabricio Caza Robayo

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS - ESPE

**INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA, AUTOMATIZACIÓN Y
CONTROL**

AUTORIZACIÓN

Yo, Enrique Fabricio Caza Robayo

Autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, la publicación en la biblioteca virtual de la institución del trabajo "**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CREMATORIO PARA ANIMALES DOMÉSTICOS**" cuyo contenido, ideas y criterios son de mi exclusiva responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 05 de Septiembre del 2014

Enrique Fabricio Caza Robayo

DEDICATORIA

Para:

Mi Abuelita Delia Aurora Zapata Palma †, porque siempre la he sentido a mi lado.

Mi madre Bertha Robayo, por hacer de mi todo lo que soy, por siempre apoyarme en mis estudios.

Mi esposa Nancy Vallecilla por creer en mí, por ser mi compañera inseparable con quien disfruto compartir la vida.

Mi hija Lina Natalia, fuente de motivación infinita quien alegra y da sentido a mi vida.

Enrique Fabricio Caza Robayo

AGRADECIMIENTO

A mi Dios por ponerme todas las pruebas necesarias y ayudarme a superarlas. A mi madre por su incansable apoyo y dedicación para lograr este objetivo, A mi esposa porque cambio mi vida cuando la conocí.

A todo el personal que conforma CONTELSERV porque sin la ayuda de cada unos de sus integrantes no se habría cristalizado este proyecto.

Al Ing. Alexander Ibarra, director y al Ing. Edgar Tipán, codirector de esta tesis por su gran ayuda y paciencia.

Al Ing. David Platzler, por ser un compañero, un amigo y un maestro, por compartir siempre sus conocimientos.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICADO.....	ii
AUTORIZACIÓN	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTO	vi
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS	xiv
RESUMEN.....	xv
CAPÍTULO I.....	1
CREMATORIO PARA ANIMALES DOMÉSTICOS	1
1.1.- Antecedentes.....	1
1.2.- Justificación e Importancia.....	3
1.3.- Alcance del Proyecto	4
1.4.- Objetivos	5
1.5.- Generalidades	6
1.6.- Características.....	12
1.7.- Funcionamiento	14
CAPÍTULO II.....	15
CARACTERIZACIÓN DEL HORNO CREMATORIO PARA ANIMALES DOMÉSTICOS.....	15
2.1.- Generalidades	15
2.2.-Definición de las características del Crematorio Para Animales Domésticos en estudio.....	17
CAPÍTULO III	46
QUEMADORES.....	46
3.1.- Generalidades	46
3.2.- Tipos de Quemadores.....	47
3.3.- Definición de las características del Quemador a utilizar	54
CAPÍTULO IV	70

TECNOLOGÍAS DE CONTROL INDUSTRIAL	70
4.1.- Generalidades	70
4.2.- Características del control a utilizar	78
4.3.- Ventajas	80
4.4.- Desventajas	81
CAPÍTULO V	82
SISTEMA DE CONTROL	82
5.1.- Definición de las variables de CONTROL	82
5.1.1.- Variables de Entrada y Salida	84
5.1.2.- Lógica de Control	85
5.1.3.- Alarmas	99
5.2.- Diseño del controlador	99
5.2.1.- Definición de la tecnología a utilizarse	99
5.2.2.- Protecciones Eléctricas	111
5.2.3.- Normas de Diseño	112
CAPÍTULO VI	113
INTEGRACIÓN DEL SISTEMA Y PRUEBAS	113
6.1.- Caracterización de funcionamiento del controlador	113
6.2.- Integración del sistema	122
6.3.- Implementación	147
6.4.- Pruebas de funcionamiento	158
6.5.- Análisis de resultados	172
CAPÍTULO VII	176
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	176
7.1.- Conclusiones	176
7.2.- Recomendaciones	178
Bibliografía	179

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Dimensiones Puerta Frontal y Recubrimiento.....	19
Figura 2. Dimensiones de la cúpula y divisor de cámaras	20
Figura 3. Anclajes para sujeción de refractario	27
Figura 4. Anclajes en armado de crematorio de animales domésticos	28
Figura 5. Anclajes para sujeción de refractario con plástico.....	28
Figura 6. Fundición de refractario	34
Figura 7. Encofrado para cúpula.....	35
Figura 8. Crematorio de animales domésticos refractario fundido	36
Figura 9. Pared compuesta y diagrama eléctrico equivalente del crematorio de animales domésticos (IBARRA JACOME, 2013).....	41
Figura 10. Quemador manual (Amarilla).....	48
Figura 11. Quemador semiautomático (BECKETT).....	48
Figura 12. Quemador automático (WEISHAUPT)	48
Figura 13. Ángulos aspersion tobera combustible líquido (CYSSCO)	49
Figura 14. Tobera estructura interna (CYSSCO)	49
Figura 15. Quemador Baltur TBL60P	50
Figura 16. Tobera y electrodos de un quemador a diesel.....	50
Figura 17. Quemador de gas.....	51
Figura 18. Quemador Weishaupt de 2 etapas (WEISHAUPT).....	52
Figura 19. Quemador Weishaupt modulante.....	53
Figura 20. Quemador Beckett.....	60
Figura 21. Esquema Electroválvula	62
Figura 22. Ganancia o función de transferencia del sistema.....	72
Figura 23. Sistema influido por perturbaciones	74
Figura 24. Pasos para un control	75
Figura 25. Sistema Digital.....	86
Figura 26. Control Proporcional.....	90
Figura 27. Control Integral.....	92

Figura 28. Control Derivativo	94
Figura 29. Principales soluciones tecnológicas a un problema de control automatizado	101
Figura 30. Termocupla tipo J	103
Figura 31. Tipos de termocuplas	103
Figura 32. Termocuplas Voltaje vs Temperatura	104
Figura 33. Empalme de cables a termocupla.....	104
Figura 34. Termocupla K en cámara principal.....	105
Figura 35. Termocupla K en cámara de postcombustión.....	106
Figura 36. Control de fuego Siemens LGA52.150B17.....	107
Figura 37. Diagrama eléctrico LGA52.150B17	110
Figura 38. Secuencia de funcionamiento LGA52.150B17	111
Figura 39. Control de temperatura Watlow.....	115
Figura 40. Montaje control de temperatura Watlow.....	115
Figura 41. Deslice el collar de montaje sobre la parte posterior del controlador	116
Figura 42. La punta del destornillador en una de las esquinas del ensamble del collar de montaje	116
Figura 43. Terminales ranura C control Watlow.....	117
Figura 44. Vista posterior control de temperatura Watlow	118
Figura 45. Bloque de aislamiento Watlow	118
Figura 46. Ranura C para baja energía.....	119
Figura 47. Ranura C para alta energía	119
Figura 48. Entrada para termocupla.....	120
Figura 49. Salida a relé mecánico.....	121
Figura 50. Integración del sistema.....	122
Figura 51. Tablero de control.....	123
Figura 52. Diagrama eléctrico	125
Figura 53. Sistema de lazo cerrado.....	127
Figura 54. Sistema de lazo abierto.....	127
Figura 55. Respuesta del sistema al escalón	128
Figura 56. Tangente al punto de inflexión	129

Figura 57. Sitrad conectado al horno	132
Figura 58. Temperatura en cámara de postcombustión	137
Figura 59. Tendencia temperatura cámara postcombustión.....	137
Figura 60. Tendencia polinómica temperatura cámara postcombustión	138
Figura 61. Tangente en el punto de inflexión.....	138
Figura 62. Diagrama de pines LGA52.150B17	142
Figura 63. Fin de carrera	144
Figura 64. Termocuplas tipo K.....	145
Figura 65. Wincha eléctrica.....	146
Figura 66. Montaje wincha eléctrica.....	146
Figura 67. Cuidado del cable de la wincha eléctrica	147
Figura 68. Diagrama interno wincha eléctrica	147
Figura 69. Estructura para la base del horno crematorio de mascotas.....	148
Figura 70. Anclajes para refractario de las paredes	148
Figura 71. Espacio físico para el crematorio de animales domésticos	149
Figura 72. Paredes metálicas para soporte de refractario.....	150
Figura 73. Estructura metálica lista para fundir el cemento refractario.....	151
Figura 74. Estructura metálica fundida la base	152
Figura 75. Cámara de postcombustión.....	153
Figura 76. Cúpula de refractario y base de chimenea.....	153
Figura 77. Crematorio de animales domésticos	154
Figura 78. Aislamiento térmico del crematorio de animales domésticos	155
Figura 79. Recubrimiento metálico externo.....	155
Figura 80. Aislamiento térmico en la zona de quemadores	156
Figura 81. Aislamiento térmico a la cúpula	156
Figura 82. Aplicación de pintura anticorrosiva	157
Figura 83. Equipo de trabajo del crematorio de animales domésticos	157
Figura 84. Crematorio de animales domésticos	158
Figura 85. Tablero de control del crematorio de animales domésticos	159
Figura 86. Crematorio de animales domésticos con chimenea	161
Figura 87. Apertura puerta de crematorio de animales domésticos.....	162

Figura 88. Terminado posterior y termocupla tipo K	163
Figura 89. Puerta abierta y terminado del crematorio animales domésticos.....	164
Figura 90. Línea de alimentación de gas GLP y reguladora de presión	164
Figura 91. Cadáver ingresado en el crematorio de animales domésticos	165
Figura 92. Crematorio de animales domésticos inicio cremación.....	166
Figura 93. Medición de gases de chimenea con instrumento Bacharach 24-7301 serie Rx 1000, calibrado el 20 Enero 2014.....	167
Figura 94. Temperatura en recubrimiento de pared frontal a los quemadores.....	168
Figura 95. Temperatura en recubrimiento de la cámara de postcombustión	168
Figura 96. Temperatura en recubrimiento de pared de quemadores	169
Figura 97. Quemadores Beckett	169
Figura 98. Temperatura en puerta frontal	170
Figura 99. Inspección de proceso de cremación.....	170
Figura 100. Resultado de cremación de mascota	171

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1 Variables entrada y salida	84
Cuadro 2 Parámetros del controlador	130
Cuadro 3 Constantes del control PID.....	131
Cuadro 4 Datos horno crematorio de mascotas en lazo abierto	132
Cuadro 5 Parámetros del crematorio de animales domésticos	139
Cuadro 6 Constantes control PID del crematorio de animales domésticos	140

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Espesores de pared compuesta y conductividad térmica (Sustentables).....	42
Tabla 2. Calor específico y capacidad calorífica de algunos materiales.....	57
Tabla 3 Quemadores del horno crematorio de mascotas	59
Tabla 4 Características Control de Fuego LGA52.150B17	108
Tabla 5 Condiciones operación Control de Fuego LGA52.150B17.....	108
Tabla 6 Secuencia de operación LGA52.150B17	109
Tabla 7 Características fin de carrera.....	144
Tabla 8 Características wincha eléctrica.....	146

RESUMEN

El presente trabajo ha sido desarrollado como una solución a un requerimiento actual del mercado ecuatoriano, la cremación de animales domésticos, satisfaciendo un importante nicho de mercado como es el cuidado de las mascotas y en particular la incineración de restos orgánicos, lo que se constituye en una medida de sanidad y cuidado ambiental. El crematorio de animales domésticos ha sido diseñado para cumplir la normativa ambiental de emisiones de gases de combustión, además de eliminar olores desagradables producto de una cremación, utilizando quemadores que operan con gas GPL, los controles de temperatura se encargan de mantener temperaturas de 850 °C en la cámara principal y 980 °C en la cámara de postcombustión, la capacidad máxima de cremación es de 100 kg La cremación de los animales domésticos se la realiza en la cámara principal, mientras en la cámara de postcombustión se eliminan olores y material particulado producto de la cremación. El manejo del crematorio se lo ha simplificado en un tablero de control bastante grafico para que el futuro operador requiera tan solo una pequeña capacitación, pero además posee un aislamiento térmico especial conformado por cemento refractario y fibra cerámica densidad 6, para reducir las pérdidas por calor y concentrar el calor al interior de las cámaras, además proteger la integridad del operador. El crematorio de animales domésticos ha sido desarrollado con tecnología de control y supervisión de gran calidad, pero además de muy fácil reemplazo si se produjera algún daño, esto permite tener respaldo técnico del fabricante, además de precios competitivos con tecnologías extranjeras.

PALABRAS CLAVE:

CREMATORIO

INCINERACIÓN

QUEMADORES

REFRACTARIO

COMBUSTIÓN

POSTCOMBUSTIÓN

ABSTRACT

This work has been developed as a solution to a current requirement of the Ecuadorian market , cremation of pets, satisfying an important niche market such as pet care and in particular the burning of organic waste , which constitutes a measure of health and environmental care. The pet crematorium has been designed to comply with environmental regulations flue gas emissions , and eliminate unpleasant odors from a cremation product , using burners operating on LPG , the temperature controls are responsible for maintaining temperatures of 850 °C in the main chamber and 980 °C in the afterburner , the maximum capacity is 100 kg cremation the cremation of pets is performed in the main chamber , while in the post-combustion chamber odors and particulate matter are removed product cremation . The crematorium management has simplified a very graphic board control so that the future operator requires only a small training but also has a special thermal insulation composed of cement and refractory ceramic fiber density 6, to reduce heat losses and concentrate heat within the chambers , in addition to protect the integrity of the operator. The cremation of pets has been developed with technology control and monitoring of high quality, but also very easy to replace if any damage occurs, this allows technical Respla manufacturer , plus competitive prices with foreign technologies .

KEYWORDS :

CREMATORY

INCINERATION

BURNERS

REFRACTORY

COMBUSTION

POST COMBUSTION

CAPÍTULO I

CREMATORIO PARA ANIMALES DOMÉSTICOS

1.1.- Antecedentes

En Estados Unidos la industria de las mascotas es la tercera más lucrativa a nivel nacional. Según la revista Businessweek (businessweek;), el sector del cuidado para mascotas generó ingresos anuales por 41,000 millones de dólares. En Ecuador, estos servicios están en aumento. Se trata de un nicho de mercado con gran oportunidad. (Conchambay Cabrera, 2012)

El negocio de los alimentos balanceados para mascotas es un rubro que crece cada año. La tendencia en el país comenzó hace 20 años, pero en los últimos ocho ha crecido con mayor fuerza. Solo el año pasado, el segmento

llegó a mover casi 25 millones de dólares, según estudios realizados por el sector.

Kristen Levine, reconocida experta en mascotas a nivel mundial, considera innegable que la tendencia que impera en la sociedad es la de “integrar a los animales domésticos en todos los aspectos de nuestras vidas, por lo que el trato que se da a las mascotas es similar al que se daría a nosotros mismos o alguien muy cercano”.

Las personas con mayor poder adquisitivo dedican ahora su dinero a que sus animales disfruten de una vida relajada, por lo que “los centros de spa sólo para perros y los hoteles y restaurantes de lujo que aceptan a las mascotas como clientes están a la orden del día”, Levine.

Levine también analiza que “las empresas funerarias que prometen la mejor despedida para todo tipo de animales tampoco se quedan atrás y son un negocio en expansión, como cualquier otro cuyo objetivo sea mantener la memoria de una mascota fallecida”.

En el país existen pensiones, hoteles, gimnasios, spa, funerarias y crematorios especializados para mascotas. Los servicios de "lujo" para mascotas es el reflejo de lo que sucede en los países de la Unión Europea, Estados Unidos y Canadá, donde estos clientes se convierten prácticamente en un integrante más de la familia.

La cremación de mascotas califica como un servicio de lujo, por lo que el mercado al cual tienen acceso es el de los compradores de mediano y alto poder adquisitivo y enorme lazo de unión que se genera entre un dueño y su mascota. Entonces se debe planear la cremación ecológica de la mascota, no sólo como una forma de darle un final digno, sino también como una cuestión de salud pública.

1.2.- Justificación e Importancia

Todos aquellos amantes de los animales requieren de servicios especiales para sus mascotas, ya que los ven como parte importante de la familia y compañeros fieles que merecen ser recordados y tratados de manera especial.

Los hornos crematorios para mascotas son un componente vital en el proceso de saneamiento urbano, ya que de poco sirve capturar y eliminar la fauna nociva sino se esteriliza y se acaba con la posible transmisión de enfermedades como la rabia. Aun muerto el perro, la rabia puede seguir activa y llegar hasta el ser humano o animales domésticos. Es importante incinerar de forma controlada los restos de las mascotas.

Crema el cadáver de una mascota y, eventualmente, recuperar las cenizas estériles de la cremación, de manera que su dueño pueda darles un destino que conserve la memoria del desaparecido.

La cremación no es sino un método técnico que acelera el proceso de descomposición normal de la materia, en este caso del cadáver de la

mascota, mediante el empleo de altas temperaturas en un sistema ambientalmente seguro que retorna el cuerpo a sus elementos originales.

La cremación elimina toda posibilidad de infecciones, malos olores, filtraciones de líquidos, contaminación, epidemias y otros riesgos ambientales que pueden ocurrir cuando se entierra al cadáver directamente en el suelo.

Un sistema moderno de cremación no produce ninguna clase de desechos que afecten al medio ambiente. La cremación permite recuperar las cenizas estériles del cadáver de la mascota, por ejemplo en solamente 2 horas un pastor alemán de 45 kilogramos de peso se convierte en apenas 500 gramos de cenizas.

1.3.- Alcance del Proyecto

Este proyecto tiene como finalidad diseñar e implementar un Crematorio Para Animales Domésticos. La temperatura de incineración será de 900 °C a una carga máxima de 100 Kg.

El crematorio tiene las siguientes características:

- Sistema de combustión con doble válvula de seguridad, control automático, control contra falla de flama, sensor de presión diferencial y control de protección térmica.

- Tablero de control de las variables de operación del equipo.
- Fuego lateral al cuerpo que aumenta la eficiencia de la combustión y la velocidad de cremación.
 - Quemadores ecológicos de alta eficiencia y baja generación de NOx.
 - Cámara secundaria integrada que elimina gases y partículas residuales.
 - Material refractario y aislante térmico con fibra cerámica.
 - Puerta de carga electromecánica revestida de material refractario, provista con mirilla.

1.4.- Objetivos

1.4.1.- Objetivo General

Diseñar e implementar un crematorio para animales domésticos.

1.4.2.- Objetivos Específicos

- Investigar las características de un Crematorio Para Animales Domésticos.
 - Analizar ventajas y desventajas de la utilización de quemadores que combustionen bunker, diesel o GLP.
 - Diseñar un Crematorio Para Animales Domésticos capaz de funcionar automáticamente a temperaturas entre 850 °C y 900 °C.
 - Implementar un Crematorio Para Animales Domésticos capaz de funcionar automáticamente a temperaturas entre 850 °C y 900 °C.
 - Implementar un control de encendido automático de quemadores.
 - Implementar seguridades de:

- Presencia de llama.
- Secuencia de apertura y cierre de electroválvulas de combustible.
- Encendido de ventiladores.
- Paradas de emergencia
- Apertura puerta de carga.
- Diseñar e implementar un control PID de temperatura para los quemadores.
- Dimensionar las protecciones eléctricas para este proyecto.

1.5.- Generalidades

La cremación es la práctica que consiste en deshacer un cuerpo muerto, quemándolo, lo que frecuentemente tiene lugar en un sitio denominado crematorio. El origen del término "cremación" se remonta al antiguo Egipto, donde era habitual untar el rostro de los fallecidos con cremas.

Junto con el entierro, la cremación es una alternativa cada vez más popular para la disposición final de un cadáver humano y de animales domésticos.

Las primeras cremaciones conocidas datan de la zona del litoral mediterráneo en el Neolítico, pero declinó durante el establecimiento de la cultura semita en esa área cerca del tercer milenio A.C. La cremación fue ampliamente observada como una práctica bárbara en el Antiguo Cercano Oriente, que se usaba solamente por necesidad en tiempos de plagas.

La cremación fue declarada legal en Inglaterra y Gales, cuando el doctor William Price fue procesado por cremar a su hijo. La legislación formal siguió después con la autorización del Acta de Cremación de 1902 (dicha Acta no tuvo extensión legal en Irlanda) lo cual supuso requerimientos procesales antes de que una cremación pudiese ocurrir y restringir su práctica a lugares autorizados. Algunas iglesias protestantes comenzaron a aceptar la cremación, bajo la premisa racional del ser: «Dios puede resucitar a un difunto de un tazón de cenizas tan fácilmente como puede resucitar a uno de un tazón de polvo». La Enciclopedia Católica criticó estos esfuerzos, refiriéndose a ellos como «movimiento siniestro» y asociándolo con la francmasonería (francmasoneria.org) aunque dijera que «en la práctica de la cremación no hay nada directamente opuesto a cualquier dogma de la Iglesia». En 1963 el papa Pablo VI levantó la prohibición de la cremación, y en 1966 permitió a los sacerdotes católicos la posibilidad de officiar en ceremonias de cremación.

- **Horno crematorio de mascotas**

El proceso de la cremación de un animal domestico o cremación de mascotas tiene lugar en el llamado crematorio, que puede estar constituido de 2 cámaras, además de utillaje para el manejo de las cenizas. Un horno de cremación de mascotas es un horno industrial capaz de alcanzar altas temperaturas (de aproximadamente 820 a 980 °C), con modificaciones especiales para asegurar la eficiente desintegración del cuerpo. Una de esas modificaciones consiste en dirigir las llamas al torso del cuerpo, en donde reside la principal masa corporal, además de formar una llama giratoria alrededor del cuerpo.

Los hornos usan un número diverso de fuentes combustibles, tales como el gas natural o el propano, ya que estos combustibles producen menos residuos al momento de combustionarse. Los modernos hornos crematorios de mascotas incluyen sistemas de control que monitorizan las condiciones bajo las cuales la cremación tiene lugar. El operador puede efectuar los ajustes necesarios para proveer una combustión más eficiente, así como de asegurarse de que la contaminación ambiental que ocurra sea mínima.

Un horno crematorio de mascotas está diseñado para quemar un solo cuerpo a la vez. Quemar más de un cuerpo simultáneamente no permite la separación de las cenizas, además comercialmente no se lo permite, porque sería una estafa hacia los clientes.

La cámara donde se coloca el cuerpo, se le denomina retorta o cámara principal, y está construida con ladrillos refractarios o también puede estar formada de una fundición de cemento refractario, que ayudan a retener el calor. Los ladrillos requieren ser reemplazados cada 5 años, en el caso de una fundición de cemento refractario se puede hacer un curado de las trizaduras, debido a que la continua expansión y contracción causada por el ciclo de temperaturas suele fracturarlos (Rodríguez).

Los modernos hornos crematorios de mascotas suelen funcionar automáticamente lo que permite que estén dotados de sistemas de seguridad y candados para que su uso sea legal y seguro. Por ejemplo, la puerta no puede abrirse hasta que el horno ha alcanzado su temperatura óptima, el ataúd se introduce en la retorta lo más rápido posible para evitar la pérdida de calor, a través de la parte superior de la puerta. El ataúd también

puede ser introducido velozmente mediante una banda transportadora, o una rampa inclinada que puede permitir su introducción dentro del horno.

Los crematorios de mascotas no tienen un tamaño estándar, va a depender mucho de los requerimientos del cliente, por lo general deben tener la capacidad de cremar hasta 100 kilogramos.

Después de que la cremación de la mascota ha concluido, los fragmentos de hueso son retirados de la retorta, y el operador utiliza un pulverizador, llamado "cremulador" (TANATOPEDIA) en donde los procesa hasta que adquieren la consistencia de granos de arena (esto en función de la eficiencia del cremulador); en cuanto al cráneo, en algunos casos como su dimensión no le permite pasar por el orificio del cremulador, es golpeado y aplastado con un instrumento similar a un rodillo, pero de mayor tamaño, el cual se desliza sobre el cráneo carbonizado hasta pulverizarlo y convertirlo en cenizas.

Ésta es una de las razones por las cuales los restos incinerados son llamados "cenizas". Éstas son colocadas en un contenedor, que puede ser una sencilla caja de cartón o una urna extravagante. Una consecuencia inevitable de la cremación es que un residuo diminuto de la mascota se queda en la cámara después de la cremación y se combina con las cremaciones subsiguientes.

- **Razones para elegir la cremación o incineración de la mascota**

La cremación de la mascota permite economizar el uso del espacio en los cementerios. Algunas personas prefieren la incineración por razones personales al resultarles más atractiva que el entierro tradicional. A éstas les resulta muy desagradable la idea de un largo y lento proceso de

descomposición (Putrefacción del cadáver), prefiriendo la alternativa de la incineración, puesto que se destruyen los restos inmediatamente.

- **Costo y beneficio ambiental**

- **Beneficio**

Para algunas personas, la cremación es preferible por razones ambientales. La inhumación o sepultura es fuente de ciertos contaminantes ambientales. Las soluciones embalsamantes, pueden contaminar afluentes subterráneos de agua, con mercurio, arsénico y formaldehído. Los ataúdes por sí mismos también pueden contaminar. Otra fuente contaminante es la presencia de radioisótopos que se encuentren en el cadáver debido entre otras cosas a la radioterapia contra el cáncer, víctima del cual falleció el difunto. La creciente escasez de espacio para los cementerios es otro problema.

- **Costo**

Por otro lado, investigaciones recientes indican sobre el daño potencial que ocasionan las emisiones de las cremaciones aunque comparativamente pequeñas en escala internacional, permanecen estadísticamente significantes. Entre otras emisiones, los contaminantes orgánicos persistentes, indican que la cremación contribuye con un 0.2% en la emisión global de dioxinas y furanos.

El término "mascota" proviene del francés: *mascotte*. El perro y el gato son de los animales domésticos las mascotas por excelencia, con siglos de tradición y cría selectiva.

El tener un animalito como mascota es un fenómeno social muy antiguo, tanto que no existen rastros ciertos sobre su origen. Las mascotas han jugado un papel muy importante en la sociedad a lo largo del tiempo, prácticamente no existe lugar en el mundo en donde no se necesiten estos animales por diversos motivos. El principal motivo para tenerlo cerca quizá sea la necesidad de tener a nuestro lado un fiel aliado, al cual no le interesa nada más que pasar el tiempo en compañía de su dueño, sin embargo, otros de los motivos por el cual se tiene una mascota actualmente es el status que le da a su dueño y la importancia de estos en el desarrollo, emocional, cognitivo y social de los niños, trayendo enormes beneficios para éstos y para su entorno.

Hasta hace 10 años criar a un perro era cuestión de alimentarlo con sobras y obligarlo a dormir fuera de casa. Para su aseo personal se empleaban detergentes o jabones artesanales, y cuando la mascota enfermaba el sacrificio se convertía en una de las principales opciones.

Sin embargo, el paso del tiempo ha detonado que el tener una mascota implica responsabilidad. No es un adorno que está en nuestros hogares o un divertimento, sino una vida que crece, que nos acompaña y compartimos, que exige y merece respeto y cuidado. En el mercado local la fiebre por cuidar y hasta malcriar a las mascotas ha llegado mucho más allá en los últimos años, que hoy incluye alimento importado, productos de aseo

elaborados con la más alta tecnología, las últimas 2 tendencias de la moda en vestimenta y peluquería, accesorios, juguetería y tratamientos médicos especializados.

Y es que algunas personas aman tanto a sus mascotas que las cifras de negocio en esta nueva industria de servicios empiezan a ser verdaderamente impactantes. Estos servicios han provocado que las tiendas de mascotas, veterinarias y comisariatos se diversifiquen, pues la demanda se ha elevado significativamente. (Conchambay Cabrera, 2012)

1.6.- Características

Los hornos crematorios en su mayoría están formados por una cámara de cremación cilíndrica, un reactor térmico y una chimenea. Han sido desarrollados como una alternativa limpia, eficaz y económica para la incineración de restos animales con capacidades desde los 50 Kg. hasta los 250Kg. Son de fácil manejo, seguros, el mantenimiento es mínimo y la inversión inicial es muy baja. Por lo general las mascotas domesticas llegan hasta pesos de 75 Kg.

El proceso de incineración de los restos animales consiste básicamente en la combustión completa y la calcinación total de toda la materia orgánica, reduciéndose así la masa total inicial a aproximadamente el 7% del volumen original. Las cenizas son totalmente estériles pudiéndose recoger una vez enfriado el horno. Los gases y olores generados durante el proceso de incineración son eliminados completamente mediante un sistema de

postcombustión integrado al diseño del equipo. De esta manera se evitan emisiones contaminantes.

Es bueno que posea grandes dimensiones de la puerta lo que posibilitan la introducción de animales de forma sencilla. Cada una de las cámaras dispone de su propio quemador. El tiempo de residencia de los gases en postcombustión a la temperatura de 980 °C es de 2 segundos.

Bajo demanda, se construyen crematorios con temperatura de postcombustión que puede alcanzar 1.200 °C.

Los combustibles que se utilizan en los crematorios pueden ser: Gasóleo, Gas natural, Gas propano. Con estos combustibles y con una buena combustión se logra emisiones a la atmósfera totalmente transparentes y exentas de olores.

Disponen de una puerta de cierre hermético con accionamiento eléctrico, cámaras primaria y secundaria en línea, armazón metálico de doble pared, revestimiento con materiales refractarios de alta resistencia, ingreso de aire para combustión, quemadores sellados de alta eficiencia, chimenea con aislamiento interior, control de cremación y ciclos de operación automáticos, deben ser de gran robustez, fácil traslado e instalación. quemadores de última generación, con bujía para encendido y supervisión de la llama por ionización, panel de control totalmente interconectado a los componentes de mando y seguridad, señalizaciones

luminosas y sonoras para seguimiento del estado del ciclo, no se requiere dispositivos elevadores para la introducción del féretro.

1.7.- Funcionamiento

Un crematorio de mascotas debe lograr destruir el cadáver en su primera cámara, también llamada cámara principal, elevando la temperatura sobre los 850 °C, los gases resultantes de la combustión de la cámara principal deben ser destruidos en la cámara secundaria o postcombustión, la misma que debe estar sobre los 900 °C, los gases que salen por la chimenea deben ser incoloros e inodoros.

Es muy importante el control de las temperaturas máximas tanto en la cámara principal y en la cámara de postcombustión, para cuidar la integridad de los bloques y cemento refractario. Debido a las temperaturas altas en la cámaras se debe mantener un flujo constante de aire a través de las puntas de los quemadores para evitar que se destruyan. La operación del crematorio debe ser fácil y simplificada para el operador, debe permitir un ingreso fácil del cadáver y una extracción rápida de las cenizas.

CAPÍTULO II

CARACTERIZACIÓN DEL HORNO CREMATORIO PARA ANIMALES DOMÉSTICOS.

2.1.- Generalidades

En el Ecuador al igual que en Estados Unidos la industria de las mascotas está llegando a posicionarse como lucrativa a nivel nacional, esto ha impulsado el negocio de los alimentos balanceados para mascota, existiendo una amplia gama de alimentos y precios.

El manejo del crematorio no precisa de personal especializado y requiere un mantenimiento mínimo. Los hornos crematorios de mascotas posibilitan un entorno de pulcritud con ausencia de olores, bajo nivel sonoro y en

consonancia con la decoración (Ecured), contribuyen a la mejora del medio ambiente.

- **Características de los equipos de cremación**

Cuando se pierde un ser querido o una mascota, el solo pensar en el proceso fúnebre causa un gran dolor de cabeza. Con el fin de terminar con el dolor o vivir un duelo adecuado, las personas muy pocas veces ponen la atención necesaria al proceso funerario que ofrecen los cementerios o crematorios.

Debe ser fácilmente operable, es decir, toda su instrumentación debe encontrarse al nivel del piso, lo cual permite una operación y mantenimiento más seguro a los operadores. De esta manera se evitan riesgos como subirse a los techos calientes de los crematorios pisando tuberías, cables e instrumentos, que son un riesgo de caída y el daño consiguiente a los operadores.

Se debe realizar un análisis del equipo y sus componentes, esto con el fin de que cumplan con los aspectos normativos generales. Existen fabricantes extranjeros que instalan sus equipos, lo cual en muchos casos provoca problemas de tiempo en el proceso de cremación como el escurrimiento de grasas y líquidos corporales. Este problema se debe en gran parte a que no poseen una cámara de retención de gases para el control de emisiones así como tampoco cuentan con sistemas de plataformas y puertos de muestreo para medición de emisiones.

El proceso de incineración es llevado a cabo en un horno crematorio que trabaja a altas temperaturas (unos 850 °C) para conseguir la total desintegración del cuerpo.

Durante el proceso de cremación, órganos y otros tejidos son vaporizados y oxidados. Lo que queda en la retorta son pequeños fragmentos de hueso. Estos restos son metidos en otra máquina (cremulador), que los reduce las cenizas.

Las empresas que exploten hornos crematorios deben mantener un registro de incineraciones en el que se anoten todas y cada una de las incineraciones (fecha, servicio prestado e identidad del cadáver).

2.2.-Definición de las características del Crematorio Para Animales Domésticos en estudio.

El crematorio para animales domésticos deberá tener una temperatura de cremación de 850 °C a una carga máxima de 100 Kg.

El crematorio tiene las siguientes características:

1. Sistema de combustión con doble válvula de seguridad, control automático, control contra falla de flama, y control de protección térmica.

2. Tablero de control de las variables de operación del equipo.
3. Fuego lateral al cuerpo que aumenta la eficiencia de la combustión y la velocidad de cremación.
4. Quemadores ecológicos de alta eficiencia y baja generación de NOx.
5. Cámara secundaria integrada que elimina gases y partículas residuales.
6. Material refractario y aislante térmico con fibra cerámica.
7. Puerta de carga electromecánica revestida de material refractario, provista con mirilla.

- Dimensiones del crematorio

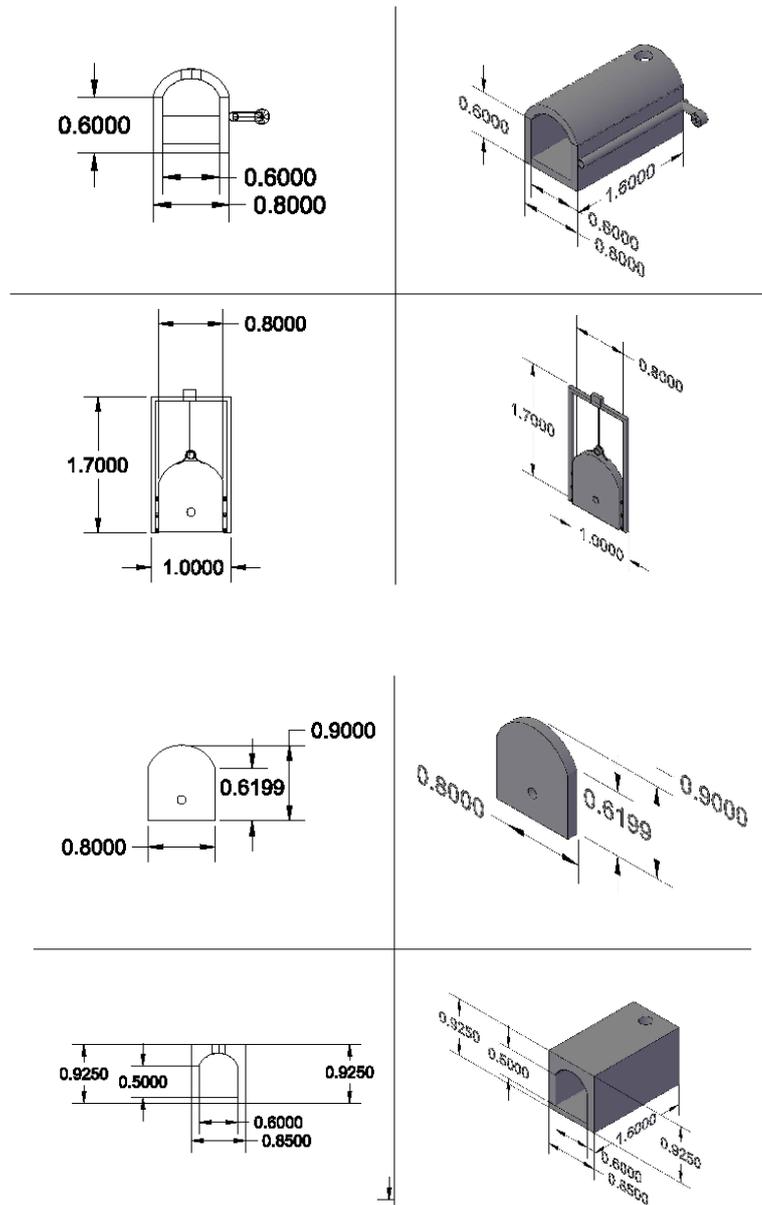


Figura 1. Dimensiones Puerta Frontal y Recubrimiento

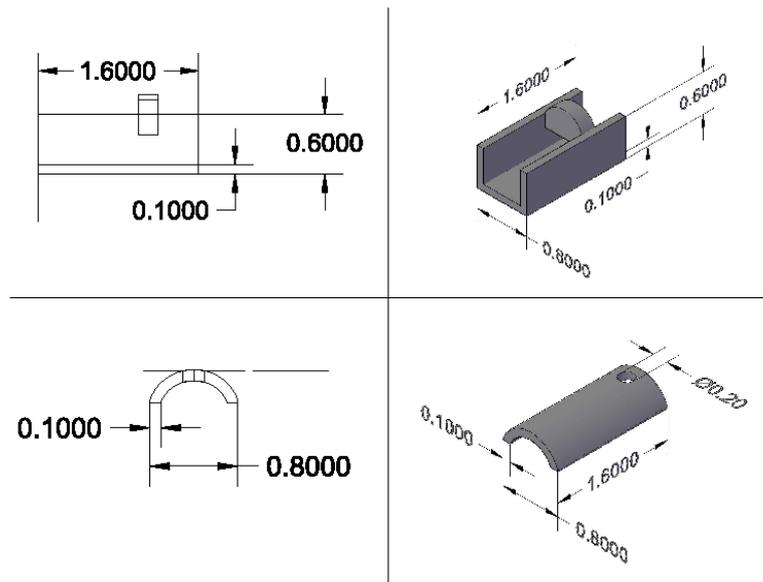


Figura 2. Dimensiones de la cúpula y divisor de cámaras

- **Dimensionamiento de cantidad y tipo de aislamiento**

Dado que en el horno crematorio de animales existirán temperaturas superiores a los 800 °C, el aislante deberá ser capaz de soportarlas sin deteriorarse y de además cumplir con la misión de aislar la temperatura para evitar pérdidas y almacenar el calor dentro de la cámara, según normativa la temperatura externa del crematorio no puede exceder los 60 °C, esto implica pérdidas de energía como se muestra a continuación.

Matemáticamente la eficiencia se calcula de la siguiente manera:

$$\eta = \frac{Q_{\text{ABSORBIDO}}}{Q_{\text{TOTAL}}} = \frac{Q_{\text{TOTAL}} - Q_{\text{PERDIDAS}}}{Q_{\text{TOTAL}}} = 1 - \frac{Q_{\text{PERDIDAS}}}{Q_{\text{TOTAL}}}$$

La pérdida por radiación se calcula a partir de la ley de Stefan-Boltzman que hace referencia a la cantidad de energía emitida o radiada por un cuerpo, de acuerdo a esta ley el calor radiado es proporcional a su temperatura absoluta elevada a la cuarta potencia.

$$P = \alpha K_B A T^4$$

Dónde:

α = Coeficiente que depende de la naturaleza del cuerpo, $\alpha=1$ para un cuerpo negro perfecto

A = Área de la superficie que radia

K_B = Constante de Stefan – Boltzmann con un valor de $5.67 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$

T = Temperatura del cuerpo

El cálculo del área del crematorio se lo hace por secciones para facilitararlo de la siguiente manera:

Área de base:

$$A_1 = 0.8 \times 1.6 = 1.28 \text{ m}^2$$

Área de paredes laterales (2):

$$A_2 = 0.6 \times 1.6 = 0.96 \text{ m}^2$$

$$A_2 = 2 \times 0.96 = 1.92 m^2$$

Área de pared posterior:

$$A_3 = (0.4 \times 0.6) + \frac{0.3^2 \times 3.1416}{2} = 0.16 m^2$$

Área de la cúpula:

$$A_4 = \frac{0.3 \times 2 \times 3.1416}{2} \times 1.6 = 1.51 m^2$$

Área de la puerta:

$$A_5 = (0.4 \times 0.6) + \frac{0.3^2 \times 3.1416}{2} = 0.16 m^2$$

Área total:

$$A_{total} = A_1 + A_2 + A_3 + A_4 + A_5 = 5.03 m^2$$

La relación de uso de cemento refractario esta dado por el fabricante en pies por esta razón se realiza la transformación a estas unidades teniendo

$$A_{total} = 54,14 ft^2$$

Aplicando la Ecuación de Stefan-Boltzman se tendria

$$A = 5.03 m^2$$

$$Pérdida por radiación = P1$$

$$P1 = 0.8 \left(\frac{5.57 \times 10^{-8} W}{m^2 K^4} \right) \times 5.03 m^2 \times 333.15 \text{ } ^\circ K$$

$$P1 = 2810.60 \text{ Watts}$$

El espesor de cemento refractario a usarse es de 3 pulgadas ya que cada pulgada de refractario a una temperatura de 1095 °C puede aislar 500 °C, es decir el calor en la primera pulgada estará a 1095 °C, en la segunda pulgada estará a (1095-500) 595 °C, a esa temperatura el cemento refractario puede aislar hasta 425 °C por cada pulgada, teniendo un resultante de (595-425) 170°C la última pulgada de refractario podrá aislar a 205 °C hasta 50 °C, en conclusión se espera una temperatura máxima de 60 °C en latas de estructura. Sin embargo se usara una capa de 1" de espesor de fibra de vidrio que pueda aislar este calor para evitar quemaduras en personal de operación del sistema, con esto se tendra temperaturas en carcasa inferiores a 40 °C.

Por las características seleccionadas de refractario se usara el compuesto en polvo de Harvisson Walker de procedencia americana con representación en el país.

Aplicando la recomendación del fabricante para dimensionamiento de cantidad de cemento a utilizarse se tiene que se debe usar 141 Lb/ft³, entonces

$$A_{total} = 54.14 \text{ ft}^2$$

$$\text{Altura o espesor } 3" = 0.25 \text{ ft}$$

$$\text{Volumen total} = A_{total} \times \text{Espesor}$$

$$\text{Volumen total} = 54.14 \times 0.25$$

$$\text{Volumen total} = 13.53 \text{ ft}^3$$

$$\text{Material necesario total} = 13.53 \text{ ft}^3 \times 141 \text{ Lb}$$

$$\text{Volumen total} = 1908.43 \text{ Lb}$$

Considerando que la presentación del cemento es sacos de 50 Lb se necesitaran 38 sacos, con la intención de evitar falta de este material por efectos de pérdidas en mezcla se dimensionaran 40 sacos. Para el proceso de instalación de cementos refractarios se tomara en cuenta lo siguiente:

Los hormigones a los que aquí nos referimos son definidos como el grupo de hormigones refractarios que tienen un fraguado con ligazón hidráulica. Se envían secos y desarrollan su resistencia cuando se mezclan con agua. Esta información no se refiere a los materiales especiales, tales como refractarios no conformados con ligazón fosfática, que algunas veces son llamados hormigones refractarios.

Estas instrucciones cubren los principios básicos aplicables a todos los hormigones. Hay folletos con las instrucciones individuales para cada producto y en el envase se da una información específica acerca de cada marca en particular.

- **No utilizar hormigones que se hayan deteriorado durante su almacenamiento. (MEDINA)**

Para que un hormigón refractario permanezca en buen estado el mayor tiempo posible, deberán tomarse las mismas precauciones que en el almacenamiento del cemento portland; en otras palabras, debe mantenerse completamente seco. No se almacenara donde pueda llover o donde hubiera goteras sobre los sacos. No deben almacenarse en suelo húmedo o de hormigón.

Cualquier hormigón refractario se convertirá, con el tiempo, en inadecuado para su uso aun en condiciones apropiadas de almacenamiento si exceden su vida útil que generalmente es de un año de su fabricación. Este periodo de tiempo se extiende en el caso de que existan las buenas condiciones de almacenamiento descritas en el párrafo anterior. En algunas ocasiones los hormigones que han sido almacenados bajo condiciones ideales con baja humedad relativa en el aire ambiente, están aún en buenas condiciones después de transcurrido dos veces el tiempo ya mencionado.

No es recomendable utilizar hormigones que contengan terrones o grumos. En los hormigones que han sido almacenados en pilas muy altas se formaran terrones en los sacos en la parte inferior, pero son vueltos fácilmente a su tamaño original de grano, presionándolos con los dedos, si el material no ha fraguado. Si se encuentran terrones duros, definitivamente el material ha fraguado convirtiéndose en inadecuado para su utilización.

Si el hormigón no fragua en el tiempo normal o desarrolla una resistencia pequeña, es probable que se haya estropeado durante su almacenamiento, aunque esto también puede ser causado por condiciones de temperaturas muy bajas o por contaminación. Es imposible regenerar el hormigón una vez

que se ha dañado durante el almacenamiento.

- **Utilizar el tipo de anclaje recomendado (MEDINA)**

Los tipos de refuerzos utilizados para el hormigón de construcción no son adecuados para las instalaciones refractarias. En el hormigón de construcción se utilizan varillas largas o mallas de acero soldadas, colocadas paralelamente a la superficie, dando buenos resultados, pues los cambios de temperatura raramente exceden de 38°C (100°F). Sin embargo, las condiciones son completamente diferentes con los hormigones refractarios, ya que están destinados a operar a temperatura mucho más altas. El acero dilata aproximadamente dos veces y media lo que el hormigón refractario por cada grado de temperatura y, por lo tanto, una varilla larga o una malla soldada expande mucho más que el refractario y en lugar de reforzar el hormigón, la expansión del metal causaría la rotura del mismo.

A través de muchos años de experiencia Harbison Walker Refractories ha desarrollado un sistema de anclajes (tanto de anclajes metálicos de una aleación adecuada como de anclajes refractarios) para soportar las condiciones de temperatura más diversas. Los anclajes metálicos son diseñados de tal forma que el calor pueda disiparse desde la parte caliente del anclaje hacia la coraza, evitando así un sobrecalentamiento de los mismos.

En el sistema de anclajes del horno crematorio de mascotas no se usan varillas continuas o mallas cuya expansión pudiera romper el hormigón

refractario, por lo que se utilizó unos anclajes en forma de “V” y en forma de ondas, para ayudar en la dilatación del metal, además de que los anclajes se encontraban 1 pulgada antes de la parte expuesta al calor, además en las puntas de los anclajes se colocó pedazos de tubería plástica para ayudar en la dilatación del metal y que no termine trizando las paredes de refractario.



Figura 3. Anclajes para sujeción de refractario

Se hacen excepciones a lo dicho cuando se tienen capas delgadas de hormigón trabajando a temperaturas inferiores a 425°C (800°F), ya que pueden anclarse con malla de alambre de acero o galvanizada. También los hormigones refractarios son anclados a menudo colocando malla hexagonal de acero hasta temperaturas tan altas como 650°C (1200° F) en servicios donde existe abrasión fuerte.



Figura 4. Anclajes en armado de crematorio de animales domésticos



Figura 5. Anclajes para sujeción de refractario con plástico

- **Impermeabilizado de moldes porosos y parte adyacente al hormigón colado (MEDINA)**

Es de mucha importancia recordar que un hormigón refractario desarrolla su resistencia y se endurece debido a su reacción entre el ligante hidráulico y el agua agregada para mezclarlo. De no agregarse suficiente agua, esta reacción no llega a ser completa y el hormigón refractario no desarrolla su resistencia total. Las cimbras de madera que no han sido impermeabilizadas o una pared porosa pueden absorber el agua que el hormigón necesita para desarrollar su liga hidráulica.

Un método para evitar que salga el agua de la mezcla del hormigón es cubrir el molde, cimbra o parte posterior con algún tipo de capa impermeable, como aceite, parafina fundida o pintura de aluminio. En algunas ocasiones es más conveniente usar una lámina impermeable de plástico como sub piso antes de vaciar el hormigón refractario.

Cuando no son posibles estos métodos para impermeabilizar una superficie vieja de refractario puede rociarse con agua hasta saturarla, no debiendo existir charcos cuando el hormigón sea vaciado.

- **Revolver todo el material del saco cuando se use una parte de él (MEDINA)**

Durante el transporte y manejo puede haber alguna segregación de

partículas finas y gruesas. Si se utiliza algo del material del saco sin premezclado, la parte utilizada puede no tener el porcentaje adecuado de agregado y material ligante, obteniéndose un bajo rendimiento. Por lo tanto, es necesario premezclar el hormigón cuando se vaya a utilizar parte del contenido del saco.

- **Evitar la contaminación del refractario (MEDINA)**

Si se introduce un material contaminante dentro del hormigón refractario durante el mezclado o su instalación, puede suceder:

- Que el hormigón refractario fragüe lenta o parcialmente.
- Que fragüe más rápidamente de lo que debía y no de tiempo suficiente para que quede instalado adecuadamente, y
- Que sea la causa de que el hormigón tenga baja resistencia.

Cualquier fuente de contaminación debe de eliminarse. Hay que mantener limpio el equipo de mezclado y manejo del hormigón. El cemento Portland, por ejemplo, contamina muchos hormigones refractarios. No se debe añadir ningún material extraño, pues nuestros hormigones refractarios han sido preparados cuidadosamente en la fábrica y no necesitan ningún agregado, excepto agua limpia. Algunos materiales que causan contaminación son: aceite, sal, azúcar, harina, bórax, otros cementos, morteros y algunos tipos de plásticos refractarios.

- **Emplear la cantidad correcta de agua. (MEDINA)**

Una cierta cantidad de agua es necesaria para desarrollar la ligazón hidráulica. Una cantidad menor de agua reducirá la resistencia. Un material demasiado seco, no reúne las condiciones necesarias para su manejo y es difícil compactarlo en una masa sólida que tenga la resistencia conveniente.

Por otro lado un exceso de agua, reduce la resistencia del hormigón refractario, igual que disminuye la resistencia del hormigón de cemento Portland ordinario. También, con una mezcla demasiado húmeda, puede haber segregación de los agregados y del ligante cuando se coloca el hormigón.

La prueba de lanzar al aire un puñado de hormigón una vez mezclado a una altura de unos 25mm una docena de veces, si se rompe en pedazos es porque está muy seco; y si se escurre entre los dedos es porque está demasiado húmedo. Lo correcto es cuando la bola se forma con la consistencia adecuada.

Las instrucciones en el envase indican aproximadamente la cantidad de agua necesaria y esta cantidad puede ajustarse con mayor precisión por medio de la prueba de la bola ya mencionada, con objeto de obtenerlas condiciones para trabajarlo. Puede haber una pequeña variación en la cantidad de agua necesaria de una carga de hormigón a otra. Tales factores, como el tipo y el tiempo de mezclado, pueden afectar a la cantidad de agua necesaria.

- **Mezclado apropiado. (MEDINA)**

Es importante, sobre todo, utilizar un equipo de mezclado adecuado. Nunca debe de mezclarse un hormigón refractario sobre un piso o un cuezo (FREEDITIONARY) o artesilla con escapes o vías de agua, donde parte del ligante pueda ser arrastrado con el agua que escapa.

Pueden mezclarse pequeñas cantidades a mano, en un cubo, carretilla, o por medio de un cuezo y una paleta de albañil.

Para el mezclado mecánico, se recomienda la mezcladora del tipo de paletas. Esta mezcladora también llamada mezcladora de mortero o yeso, tiene cuchillas sobre un eje de rotación horizontal y mezcla rápida y totalmente, desarrollando un buen resultado con la cantidad mínima de agua.

Aunque las mezcladoras del tipo de tambor se han utilizado extensamente con algunos hormigones refractarios, su acción de mezclado es menor que la de las mezcladoras de paletas. Este tipo de mezcladoras trabajan mejor para mezclas gruesas no plásticas, tales como hormigón de construcción ordinario. Algunos de los hormigones más adherentes, se pegan a los lados del tambor impidiendo una mezcla adecuada y que la carga se vacíe completamente. El tiempo de mezcla es, igualmente, tan importante como el uso del equipo adecuado. Si es hormigón refractario no es mezclado suficiente tiempo tendrá que agregarse agua para desarrollar el resultado adecuado para su instalación. Con una mezcladora de paletas, los hormigones refractarios pesados requieren de 2 a 3 minutos de mezclado. No

es prudente reducir el tiempo a menos de 2 minutos.

Los hormigones de peso ligero (aislantes) necesitan de una precaución adicional. Deben removerse durante el tiempo adecuado para que el agua y el hormigón queden uniformemente repartidos, ya que un tiempo de mezclado demasiado largo desintegra el agregado ligero, obteniéndose un mayor peso por metro cúbico cuando se instala y reduciéndose la eficiencia del aislante.

Cuando se mezcla a mano, el agua debe agregarse gradualmente. Si se hace con una máquina, la mayor parte del agua deberá ponerse primero en la mezcladora. Mientras se mezcla, se añade el resto del agua necesaria para desarrollar la consistencia adecuada a su utilización.

- **Instalar el hormigón dentro del tiempo recomendado. (MEDINA)**

La mayoría de los hormigones refractarios fraguan más rápidamente que los hormigones de construcción ordinarios. Deben de leer las instrucciones del envase para conocer el máximo de tiempo permitido desde que se empieza a agregar el agua hasta que el hormigón se ha instalado en el horno.



Figura 6. Fundición de refractario

Si transcurre un largo periodo de tiempo antes de su colocación, el hormigón refractario empieza a fraguar y pierde parte de su resistencia y, si se utiliza, no se obtendrá una buena instalación. Una vez que el hormigón refractario ha empezado a fraguar, no se debe agregar agua para volver a producir una consistencia apropiada, sino que debe tirarse esta carga y utilizar nuevo material.

Algunos hormigones refractarios endurecen unos cuantos minutos después del mezclado por formación de geles. Esta no es la acción del fraguado hidráulico y no perjudica al producto. Si el endurecimiento es causado por geles y no por fraguado, se puede obtener nuevamente una buena consistencia trabajable, simplemente removiendo de nuevo, sin agregar agua.



Figura 7. Encofrado para cúpula

- **Vibrado picado adecuados del hormigón refractario para eliminar bolsas de aire. (MEDINA)**

Un vibrado, apisonado o removido deficiente del hormigón, provoca oclusiones de aire quedan por resultado una estructura porosa con baja resistencia. Las bolsas de aire y cavidades deben eliminarse del material para obtener homogeneidad y una estructura resistente. Con una cuchara de albañil o pala, se trabaja bien para picar la mayoría de hormigones refractarios. Con el vibrador, es posible instalar fácilmente el hormigón cuando tiene la consistencia indicada por la prueba de la bola ya mencionada, obteniéndose muy buena resistencia.

Aunque la causa más frecuente de problemas es un insuficiente removido, también es perjudicial el vibrar o remover demasiado, pues se puede causar la segregación del ligante hacia la superficie o concentrarlo junto al vibrador si no se mueve este continuamente; si se retira el vibrador muy rápidamente puede quedar un orificio en el hormigón refractario. En el caso de hormigones ligeros, un exceso de vibrado puede comprimir o separa

el agregado, resultando un hormigón demasiado pesado y variando por lo tanto, su poder aislante. Como norma general, no debe utilizarse el vibrador con los hormigones refractarios aislantes.

- **No alisar las superficies para obtener acabado terso. (MEDINA)**

Algunas veces, el montador quiere un trabajo bonito alisando la superficie hasta obtener un acabado terso; esta hace que los finos lleguen a la superficie, sellándola y ocasionando un secado más lento, después de haber terminado el periodo de curado. (MEDINA) También se produce desprendimiento de polvo de la superficie cuando el horno se pone en marcha y, en casos extremos, la delgada capa de la superficie puede desprenderse.

Es mejor raspar la superficie o nivel utilizando un tablón de madera. No alisar para obtener una superficie tersa usando una paleta de acero.



Figura 8. Crematorio de animales domésticos refractario fundido

- **Evitar temperaturas extremas durante la instalación y mientras el hormigón refractario está desarrollando su liga hidráulica. (MEDINA)**

En la instalación del hormigón refractario, son perjudiciales, tanto las bajas como las altas temperaturas ambiente en que se realiza. Estas temperaturas, deben estar comprendidas entre 15 y 32 °C (60 a 90 °F).

A temperaturas más bajas, disminuye la velocidad a la que el hormigón refractario fragua y desarrolla su resistencia. A estas temperaturas, ligeramente superiores a la de congelación del agua, el tiempo de fraguado del hormigón aumenta más de dos veces en comparación con el normal.

Las temperaturas muy altas aumentan la velocidad de fraguado o endurecimiento del hormigón. Esto significa que habrá menor tiempo para el mezclado y colocación del material. Si el material está demasiado caliente en el momento de mezclarlo, puede ser necesario emplear agua fría para reducir la temperatura de la mezcla y prolongar el fraguado con el fin de que haya suficiente tiempo de instalarlo antes de que empiece a fraguar. Por esta razón es preferible no almacenar el hormigón cerca de los hornos o expuestos al sol.

- **No permitir que la superficie del hormigón se seque al aire en las 24 horas siguientes de la instalación. (MEDINA)**

No debe permitirse que el hormigón refractario se seque durante las

primeras 24 horas después de su instalación, ya que esto disminuye el agua que necesita para desarrollar su liga hidráulica. Además se produce desprendimiento de polvo de la superficie cuando se pone en operación el horno. Lo mismo ocurre cuando los moldes o parte posterior no son impermeables. Este periodo de curado debe de aumentarse en épocas frías para permitir que el hormigón refractario tenga el tiempo necesario de desarrollar su ligazón hidráulica.

Una manera de proteger la superficie del hormigón refractario de la evaporación es rociarlo, a intervalos regulares, con una fina llovizna de agua. Se esperara a que el hormigón refractario fragüe parcialmente para que el agua de rocío no arrastre el ligante. Cuando pueda frotarse la superficie del hormigón con el dedo y no manche, está suficientemente duro como para empezar el rocío. Los hormigones refractarios más ligeros no requieren el rociado tan pronto ni tan a menudo como los hormigones densos, pues se les ha agregado más agua para obtener la trabajabilidad adecuada para su instalación. En atmósferas calientes y secas, el rociado se requiere con más frecuencia. En general, es aconsejable rociar los hormigones densos cada 30 minutos a 1 hora, hasta que se termine el período de las 24 horas de curado.

Los siguientes programas de secado están basados en revestimientos de un componente para un espesor de 9" (229mm.) o menor.

- **Programa "A"**

Aumentar la temperatura de los gases caliente en contacto con el hormigón refractario a una velocidad no mayor a 100 °F (55 °C) por hora. A 250 °F y 500 °F (120 °C y 260 °C), la temperatura debe mantenerse un

mínimo de media hora por pulgada (25mm) de espesor de hormigón refractario.

- **Programa “B”**

Aumentar la temperatura de los gases calientes en contacto con el hormigón refractario a una velocidad no mayor de 75 °F (40 °C) por hora. A 250 °F, 500 °F, 1000 °F (120°, 260° y 540 °C), debe mantenerse la temperatura un mínimo de media hora por pulgada (25mm) de espesor de hormigón refractario.

- **Programa “C”**

Aumentar la temperatura de los gases calientes en contacto con el hormigón refractario a una velocidad no mayor de 50°F (28° C°) por hora. A 250°, 500 °F, 1000 °F, 1500 °F (120°, 260° y 540° y 815 °C), debe mantenerse la temperatura un mínimo de media hora por pulgada (25mm) de espesor de hormigón refractario.

- **Programa “D”**

Aumentar la temperatura de los gases calientes en contacto con el hormigón refractario a una velocidad no mayor de 30 °F (17° C°) por hora. A 250°, 500°F, 1000°F, 1500°F (120°, 260° y 540° y 815 °C), debe mantenerse

la temperatura un mínimo de una hora por cada pulgada (25 mm) de espesor de hormigón refractario.

- **Cálculo del calor perdido por las paredes.**

El material refractario utilizado ayuda en el aislamiento del calor de las cámaras del crematorio para animales domésticos, sin embargo existe un pequeño flujo de calor que atraviesa las paredes y se disipa en el ambiente, para calcular las pérdidas se puede utilizar la siguiente fórmula.

$$Q_{PP} = U * A * (T_b - T_{amb})$$

Donde:

- Q_{PP} = *Calor perdido por las paredes del crematorio de animales domésticos*
- A = *Área de las cámaras del crematorio de animales domésticos*
- T_b = *Temperatura media volumétrica*
- T_{amb} = *Temperatura ambiente*
- U = *Coficiente global de transferencia de calor*

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h_i} + \frac{e_{refra}}{k_{refra}} + \frac{e_{acero}}{k_{acero}} + \frac{e_{fibra}}{k_{fibra}} + \frac{e_{acero}}{k_{acero}} + \frac{1}{h_0}}$$

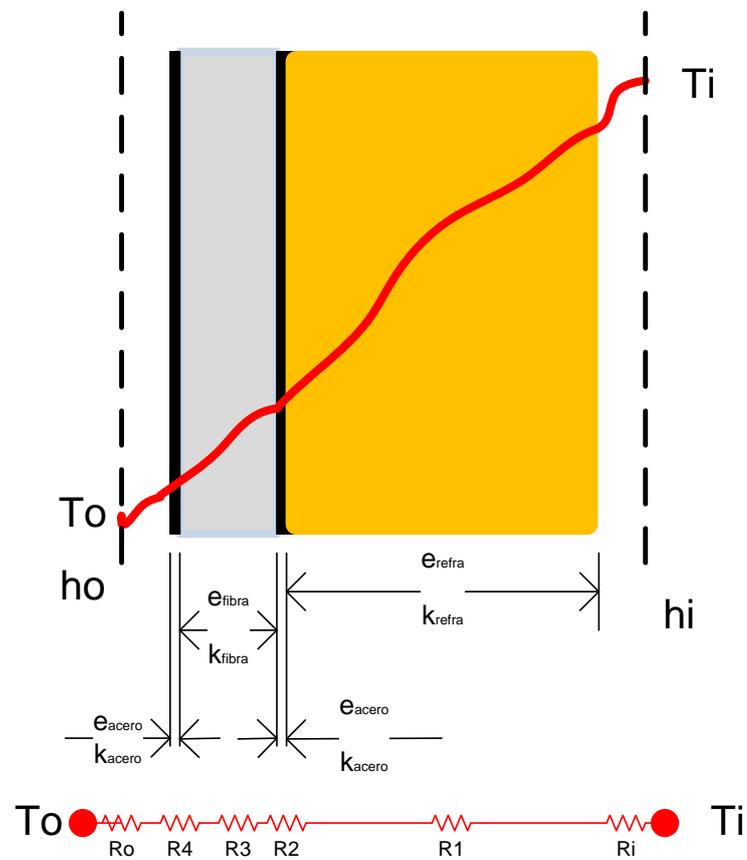


Figura 9. Pared compuesta y diagrama eléctrico equivalente del crematorio de animales domésticos (IBARRA JACOME, 2013)

De acuerdo al gráfico anterior se tiene los siguientes valores de espesores en la composición de la pared y las correspondientes conductividades térmicas de los materiales que componen la pared.

Tabla 1

Espesores de pared compuesta y conductividad térmica (Sustentables)

NOMBRE	Espesor (m)	Conductividad(w/m°C)	Material
e_{refra}	0.0762	1.08	Refractario
e_{fibra}	0.0254	0.033	Fibra cerámica
e_{acero}	0.003	50	Acero

Utilizando la fórmula de WATMUFF se calcula el coeficiente de convección externa h_o , así: (IBARRA JACOME, 2013)

$$h_0 = 2,8 + 3 * V_{aire} = 2,8 + 3 * 0,75 = 5,05 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

A continuación se calcula el coeficiente de convección interna, se debe calcular el número de Reynolds de la siguiente manera:

$$Re_{DH} = \frac{V * DH}{\gamma}$$

Dónde:

- Re_{DH} = número de Reynolds a Diámetro Hidráulico
- V = velocidad aire del proceso al interior del crematorio de

animales domésticos

- $DH =$ diámetro hidráulico calculado así:

$$DH = \frac{4 * A_T}{P} = \frac{4 * 5,03}{2,27} = 8,87 \text{ (m)}$$

- $\gamma =$ viscosidad cinemática del aire caliente a la temperatura media volumétrica (T_b) para este caso el aire estará a 800 °C y el valor es de $2,92 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$ (Olavide).

$$Re_{y_{DH}} = \frac{1,6 * 8,86}{2,92 \times 10^{-5}} = 485479,45$$

Para calcular el coeficiente de convección interno requerimos, el valor del número de Prandtl del aire a la temperatura media volumétrica (T_b) es:

$$T_b = \frac{T_{in} + T_{out}}{2} = \frac{800 + 14}{2} = 407^\circ\text{C}$$

$$\#Prandtl(800^\circ\text{C}) = \frac{2,92 \times 10^{-5}}{21,67 \times 10^{-6} \text{ (Manrique Valadez, 2005)}} = 13,47$$

Entonces:

$$\frac{h_i * DH}{k} = 0,023 * (Rey_{DH})^{0,8} * P_r^n$$

Dónde:

- h_i = coeficiente de convección interna
- DH = diámetro hidráulico del crematorio de animales domésticos
- Rey_{DH} = número de Reynolds a diámetro hidráulico
- P_r = número de Prandtl a T_b
- $n = 0,3$ por enfriamiento del fluido
- k = conductividad térmica del aire a T_b (Canaria)

$$\frac{h_i * 8,86}{0,00643} = 0,023 * (485479,45)^{0,8} * (13,47)^{0,3}$$

$$h_i = 1,28 \left(W/m^2 \cdot ^\circ C \right)$$

Ahora determinar el coeficiente global de transferencia de calor:

$$U = \frac{1}{\frac{1}{1,28} + \frac{0,0762}{1,08} + \frac{0,003}{50} + \frac{0,0254}{0,033} + \frac{0,003}{50}}$$

$$U = 0,617 \left[\frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C} \right]$$

Ahora se puede calcular el calor perdido por las paredes, así:

$$Q_{PP} = 0,617 * 5,03 * (407 - 14)$$

$$Q_{PP} = 1219,68[W]$$

CAPÍTULO III

QUEMADORES

3.1.- Generalidades

Un quemador es un dispositivo para quemar combustible líquido, gaseoso o ambos (excepcionalmente también sólido) y producir calor generalmente mediante una llama. Habitualmente va asociado a una caldera o un generador para calentar agua o aire, pero también se usa en procesos industriales para calentar cualquier sustancia.

En función de su tamaño, los puede haber desde uno como un encendedor de cigarrillos para calentar una probeta hasta uno gigantesco capaz de producir 30.000 kW o más. El combustible usado puede ser

gaseoso, generalmente gas natural, butano, propano, etc.; líquido, generalmente gasóleo (también fuel) o una combinación de ambos (gas y gasóleo), en cuyo caso se denomina quemador mixto.

Los hay atmosféricos, que producen la llama a presión ambiente, y con soplante, donde un ventilador se encarga de aumentar la presión del aire necesario para la combustión, lo que hace que se pueda quemar más cantidad de combustible y que el rendimiento sea superior. En algunos países del Este, como Polonia y Ucrania, también se solía mezclar polvo de carbón con gas, para aumentar el poder calorífico del combustible, pero no es norma habitual hoy en día.

3.2.- Tipos de Quemadores.

Normalmente se pueden dividir en tres grandes categorías. Estas son: manuales, semiautomáticos y totalmente automáticos. Pero también depende si se usan con gas, diesel, petróleo, gasóleo o combustóleo. Pueden ser verticales u horizontales. También existen los que son totalmente ecológicos. Los cuales ahora están de moda, ya que en estos días ya existen más personas que tienen una consciencia social ecológica, y buscan que todos sus servicios sean totalmente ecológicos.



Figura 10. Quemador manual (Amarilla)



Figura11. Quemador semiautomático (BECKETT)

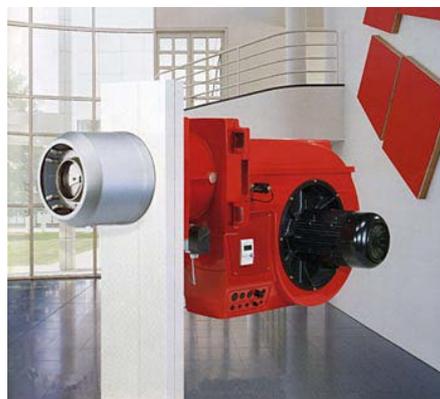


Figura 12. Quemador automático (WEISHAUPT)

- **Principio de funcionamiento con combustible líquido**

Una bomba de gasoil se encarga de someter el combustible líquido a una elevada presión que, al introducirlo por un tubo hacia una boquilla con un orificio muy pequeño, hace que salga pulverizado (como un aerosol) y, por efecto Venturi, se mezcla con aire, que un ventilador se encarga de introducir en el hogar de la caldera. La ignición se produce por medio de unos electrodos entre los que salta un reguero de chispas.



Figura 13. Ángulos aspersión tobera combustible líquido (CYSSCO)



Figura 14. Tobera estructura interna (CYSSCO)



Figura 15. Quemador Baltur TBL60P



Figura 16. Tobera y electrodos de un quemador a diesel

- **Principio de funcionamiento con combustible gaseoso**

En este proceso no es necesario convertir el líquido en gas. Se introduce directamente el gas mezclado con el aire en el hogar y, mediante una chispa, se prende la llama. En este sistema hay más dispositivos de seguridad porque, al contrario de lo que ocurre con el gasóleo, el gas sí arde en condiciones ambientales. En cambio, en el caso del gasóleo es necesario calentarlo o someterlo a presión para que arda.



Figura 17. Quemador de gas

- **Quemadores de potencia variable**

Hay dos tipos principales: quemador con etapas y quemador modulante:

Quemador de etapas: este quemador puede hacer llama de varios tamaños, dejando pasar más o menos combustible. El más sencillo es de tres etapas: todo-medio-nada, es decir que produce una llama mitad de la que es capaz de producir en condiciones de plena potencia, y otros de más etapas, aunque no suele tener más de cuatro: todo-dos tercios-un tercio-nada. Cuando se requiere mayor variación se recurre al siguiente.

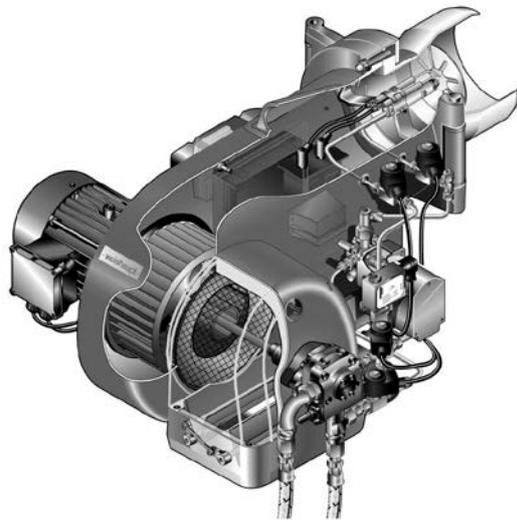


Figura 18. Quemador Weishaupt de 2 etapas (WEISHAUPT)

Quemador modulante: En este quemador, tanto para combustibles líquidos como gaseosos, puede modularse la potencia (el tamaño) de la llama por un sistema electrónico, que regula en función de las necesidades de calor, necesidades que conoce por una sonda situada en la conducción de retorno del sistema de calefacción; a menos temperatura, mayor potencia habrá que dar a la llama.

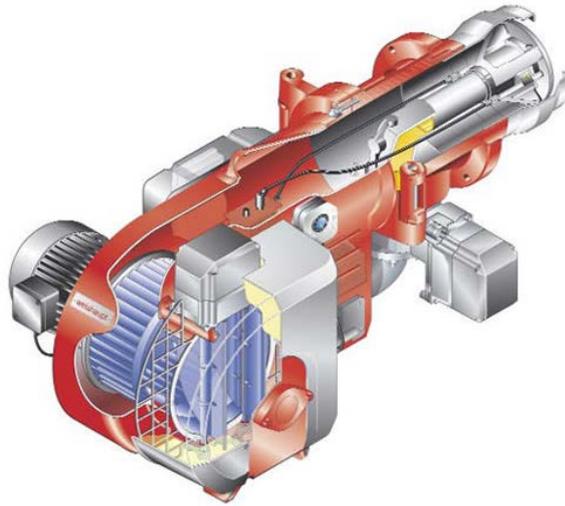


Figura 19. Quemador Weishaupt modulante

Debido a la limpieza de los gases y a que el combustible ya está atomizado antes de entrar al quemador, el proceso de combustión no requiere una gran preparación previa. Existen un gran número de tipos de quemadores para gases.

De todos los combustibles es el que se quema con menor exceso de aire, lo que permite obtener mayores rendimientos por ser el combustible que más hidrógeno contiene por átomo de carbono y estar exento de otro tipo de impurezas, es el que menos contaminación atmosférica produce. Los quemadores deben de contar con protecciones que puedan parar la producción en caso de una falla en la flama, por medio de una varilla detectora o de una fotocelda. Éstos también deben de tener reguladores de potencia para poder modular el funcionamiento del quemador.

Los quemadores que ocupan gas tienen una recirculación interna de los gases de combustión, los cuales generan una reducción del índice de óxidos de nitrógeno. En cambio los que funcionan con gasóleo aparte de la recirculación interna de los gases, también gasifican el combustible para que la combustión sea más rápida. La “llama libre” es un proceso que produce y estabiliza la llama a algunas decenas de centímetros de la cabeza del quemador. Y lo mejor es que reduce el índice de residuos no quemados sólidos y el diámetro de la llama de manera considerable.

3.3.- Definición de las características del Quemador a utilizar

Existen varios criterios para la elección de un quemador, entre los más importantes se encuentran:

- **Tipo de combustible**

Para la cremación de residuos orgánicos la mejor opción es gas, porque los residuos de la combustión no contienen mucho particulado de CO, lo que ayuda a reducir la contaminación ambiental.

- **Dimensionamiento**

El dimensionamiento va a depender mucho de la carga a cremar y de la temperatura que se necesita alcanzar, en nuestro caso será un cadáver animal de aproximadamente máximo 100 Kg.

- **Funcionamiento**

Se necesita un quemador de etapas ya que al tratarse de gas disponen de 2 llamas lo que permite controlar fácilmente la potencia del quemador.

- **Respaldo de una Marca**

Este punto es de suma importancia porque al tener un representante en el país, se dispondrá de un stock amplio e inmediato de repuestos y asesoría técnica de requerirla.

- **Costos**

El costo es muy importante, esto nos permitirá diseñar un equipo competitivo en precio y calidad, ya que el objetivo es la comercialización y se debe competir con equipos del extranjero.

La capacidad máxima del crematorio de mascotas será de 100 Kg, la temperatura ambiente en el lugar donde se lo construirá es de 14 °C, con estos datos se puede calcular el poder calorífico necesario para la cámara principal, así:

$$Q = mC_p\Delta T$$

Q: Cantidad de Calor recibido

C_p: Calor Específico

ΔT: Temperatura final – Temperatura Inicial

Para obtener un cálculo bastante aproximado se debe considerar que el calor específico del cadáver de la mascota es igual al calor específico del agua, ya que la mayor parte del cadáver está constituido de agua. El peso máximo de carga del horno de cremación de mascotas es de 100 Kg.

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$m = 100Kg = 220 lb$$

$$C_{p(\text{agua})} = 1 \frac{Kcal}{^\circ F Kg}$$

Tabla 2.

Calor específico y capacidad calorífica de algunos materiales

Material	Calor específico Kcal/kg °F	Densidad kg/m ³	Capacidad calorífica volumétrica Kcal/m ³ °F
Agua	1	1000	1000
Acero	0,12	7850	950
Tierra seca	0,44	1500	660
Granito	0,19	2645	529
Madera de roble	0,57	750	430
Ladrillo	0,20	2000	400
Madera de pino	0,6	640	384
Piedra arenisca	0,17	2200	374
Piedra caliza	0,22	2847	484

$$\Delta T = (T_{final} - T_{inicial}) = 900 \text{ °C} - 14 \text{ °C} = 886 \text{ °C} = 1626,8 \text{ °F}$$

$$Q = mC_p\Delta T$$

$$Q = 100 \text{ Kg} \left(1 \frac{\text{Kcal}}{^\circ\text{F Kg}} \right) (1626,8 \text{ } ^\circ\text{F})$$

$$Q = 162.880 \text{Kcal} = 584.739,92 \text{ BTU}$$

Por dimensionamiento frente a las opciones del mercado con respaldo local se utilizara un quemador de 2 etapas a GLP 110 Volts de capacidad máxima de 650.000 BTU.

Por definición del diseño el quemador de la cámara de post-combustión debe poder generar por lo menos el 50% del poder calorífico del quemador de la cámara principal, así se tiene:

$$Q_{\text{Post combustión}} = 292.369,96 \text{ Btu}$$

Por dimensionamiento frente a las opciones del mercado con respaldo local se utilizara un quemador de 2 etapas a GLP 110 Volts de capacidad máxima de 350.000 BTU.

Los quemadores a utilizar en el crematorio de animales domésticos son de la Marca Beckett, estos quemadores son de origen Americano, utilizan GLP para su operación y tienen las siguientes características:

Tabla 3

Quemadores del horno crematorio de mascotas

QUEMADOR	CAPACIDAD CALORIFICA (Btu)	CONSUMO (Kg/h)	
CAMARA PRINCIPAL	Beckett SF	210.000 a 650.000	5.9 a 18.8
			<ul style="list-style-type: none"> • Motor 1/4 hp, 3450 rpm. • Reset manual de sobrecarga. • Alimentación: 120 volts AC, 60Hz, single phase • Arco de Encendido 10,000 V. /23 ma. • Corriente Nominal 7.1 amps
CAMARA POST COMBUSTION	Beckett AF	75,000 a 350,000	2.17 a 10.2
			<ul style="list-style-type: none"> • Motor: 3450 rpm. • Reset manual de sobrecarga • Alimentación: 120 V./60Hz./1 fase • Arco de Encendido 10,000 V. /23 ma. • Corriente Nominal 5.8 amps.



Figura 20. Quemador Beckett

Estos quemadores disponen de:

Encendido por arco eléctrico, mediante un transformador se logra tener un arco eléctrico con 10.000,00 voltios en la punta del quemador para el encendido del mismo, para lo que se utiliza un electrodo denominado como Electrodo de Ignición.

La detección de llama se lo realiza a través de un electrodo de ionización. Durante la quema de un compuesto orgánico, son formados varios iones y como consecuencia, la flama resultante se hace conductora de electricidad. El gas de arrastre saliendo de la columna cromatografía es mezclado con H₂ y quemado con aire u O₂. La flama resultante se queda contenida entre dos electrodos, polarizados por un voltaje constante. Como la flama de H₂ forma pocos iones, este es un pésimo conductor eléctrico y

casi ninguna corriente pasa entre los electrodos. Al eluir un compuesto orgánico, este es quemado y son formados iones en la flama, que pasa a conducir corriente eléctrica. La corriente eléctrica resultante, del orden de pA, es amplificada y constituye la señal cromatografía.

El motor del quemador está conectado a una hélice tipo jaula de ardilla capaz de proveer la cantidad de aire necesaria para la combustión, en el caso particular de los quemadores a usarse se tiene:

Quemador beckett SF para GLP hasta 22.56 Kg aire por hora a una presión máxima de 5 mBar, considerando la densidad del aire a 20 °C (1.15 kg/m³) el quemador tiene la capacidad de desplazar 26 m³ de aire a 5 mBar por hora o lo que es lo mismo 0,43 m³/min o 15.18 CFM

Quemador beckett AF para GLP hasta 12.25 Kg aire por hora a una presión máxima de 5 mBar, considerando la densidad del aire a 20 °C (1.15 kg/m³) el quemador tiene la capacidad de desplazar 14 m³ de aire a 5 mBar por hora o lo que es lo mismo 0,23 m³/min o 8.12 CFM

El control del flujo del GLP está dado por sistemas de electroválvulas aptas para su operación en gases combustibles como el GLP, el material de empaque de estas válvulas es de Viton, las válvulas son normalmente cerradas por seguridad en caso de una pérdida de energía, responden al siguiente esquema de operación.

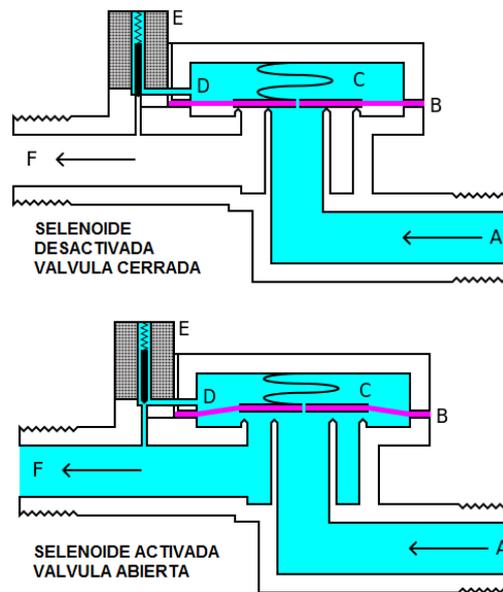


Figura 21. Esquema Electroválvula

Como se aprecia en la figura se muestra el funcionamiento de este tipo de válvula. En la parte superior se observa la válvula cerrada. El GLP bajo presión entra por A. B es un diafragma elástico de Viton y tiene encima un resorte que le empuja hacia abajo con fuerza débil. La función de este resorte no nos interesa por ahora y se logra ya que la válvula no depende de él para mantenerse cerrada. El diafragma tiene un diminuto orificio en el centro que permite el paso de un pequeño flujo de GLP. Esto hace que el GLP llene la cavidad C y que la presión sea igual en ambos lados del diafragma. Mientras que la presión es igual a ambos lados, se puede ver que actúa en más superficie por el lado de arriba que por el de abajo por lo que presiona hacia abajo sellando la entrada. Cuanto mayor sea la presión de entrada, mayor será la fuerza con que cierra la válvula.

El conducto D Hasta ahora estaba bloqueado por el núcleo del solenoide E al que un muelle empuja hacia abajo. Si se activa el solenoide, el núcleo sube y permite pasar el GLP desde la cavidad C hacia la salida con lo cual disminuye la presión en C y el diafragma se levanta permitiendo el paso directo de GLP desde la entrada A a la salida F de la válvula. Esta es la situación representada en la parte inferior de la figura.

Si se vuelve a desactivar el solenoide se vuelve a bloquear el conducto D y el muelle situado sobre el diafragma necesita muy poca fuerza para que vuelva a bajar ya que la fuerza principal la hace el propio fluido en la cavidad C.

De esta explicación se deduce que este tipo de válvula depende para su funcionamiento de que haya mayor presión a la entrada que a la salida y que si se invierte esta situación entonces la válvula abre sin que el solenoide pueda controlarla, por esta razón es muy importante verificar el sentido de flujo de la válvula antes de instalarla y como se vio en su operación el agujero es diminuto por lo que puede taponarse fácilmente, por esto es indispensable la instalación de un filtro de malla, para nuestro caso se usará filtros de 100 micrones.

Por normativa de la UL americana y la NFPA (national fire prevention association) se deberá instalar válvulas duales o en su defecto usar válvulas en redundancia, en el caso específico de quemadores Beckett se usan 2 válvulas de ½" cuerpo de bronce asiento de viton bobina de 110 volts AC, una de seguridad y una de operación, adicionalmente Beckett usa una

válvula de ¼" cuerpo en bronce, asiento de viton bobina de 110 volts AC para la llama baja de operación.

- **Porque utilizar GLP (CADIGAS)**

El Gas Licuado de Petróleo (GLP) es una mezcla de hidrocarburos de petróleo los cuales son gaseosos a la temperatura y presión ambientales normales. Esta mezcla de gases puede ser licuada aplicándole una presión moderada para facilitar su transporte y almacenaje. El GLP en forma líquida es 250 veces más denso que en la forma gaseosa. El GLP se deriva principalmente del gas natural o de los gases de la refinación de petróleo. La composición del GLP puede ser marcadamente diferente dependiendo de donde provenga. El GLP comercial contiene una mezcla de gases principalmente propano y butano o sus derivados. Adicionalmente, ambos productos pueden contener algunos componentes livianos (etanos) y pesados (pentanos).

El GLP para el uso estándar de calefacción y para propósito de uso doméstico generalmente consiste en una mezcla de propano comercial y butano comercial.

El propano comienza a evaporarse por encima de los -45 °C por lo que es el gas más versátil para uso general. El butano comienza a evaporarse por encima de los -2°C y en ambientes fríos se requiere una mezcla de propano/butano ya que el butano no se evapora tan rápidamente como el propano. En climas cálidos la composición (propano/butano) no es muy crítica para uso doméstico. Sin embargo, debido a la propiedad de mejor

evaporación el propano es el componente gaseoso preferido particularmente para el uso industrial donde se puede requerir una alta capacidad de evaporación rápida. Por otro lado el butano es un 12% más pesado (denso) que el propano, por lo que es posible transportar y almacenar más butano (en peso y por lo tanto energía térmica) para un volumen líquido dado.

La composición y especificaciones del GLP comercial varían en función de la disponibilidad y las condiciones climáticas prevalecientes.

- **Combustión (CADIGAS)**

El valor calorífico del GLP por unidad de masa es más alto que el de la gasolina o el gasoil. Sin embargo, debido a su baja densidad (casi dos veces más liviana que el agua) en base a volumen tiene un valor calorífico menor, lo cual es una desventaja. El GLP consiste casi en su totalidad de carbono e hidrógeno e impurezas no significativas. Para el propano comercial el total de aire requerido es alrededor de 24 volúmenes por volumen de gas y el contenido de dióxido de carbono resultante del proceso de combustión es de 13.8%. Para el butano el requerimiento de aire es alrededor de 30 volúmenes por volumen de gas y el dióxido de carbono resultante es de 14.1%.

- **Seguridad y Almacenamiento (CADIGAS)**

La temperatura espontánea de ignición para el GLP, es decir la temperatura a la cual el GLP en presencia de aire se enciende sin necesidad de chispas ni llamas, es generalmente más alta que otro tipo de combustibles líquidos como la gasolina, el kerosene y el gasoil.

EL GLP es incoloro e inodoro. Por lo que para detectar cualquier escape se le añade un químico especial "agente odorante" que le da al GLP un olor particular desagradable. Para uso doméstico el GLP se distribuye en cilindros de metal de varios volúmenes. Como combustible para vehículos se utilizan tanques diseñados especialmente para esto, y se colocan generalmente en el baúl de los automóviles.

Los estándares de diseño, manejo y transporte de los cilindros de GLP se basan generalmente en que el cilindro se usará en el servicio de propano comercial, esto provee un margen de seguridad en caso de que se almacenen en los cilindros mezclas de propano y butano y también en caso de errores en las operaciones de llenado de los cilindros. En los países donde solamente se permite el uso del butano comercial, los estándares de seguridad para los cilindros pueden especificarse para ese servicio exclusivamente, requiriendo por lo tanto recipientes capaces de soportar presiones menores que los de propano comercial.

Los cilindros no se llenan en su totalidad con GLP líquido, para dar espacio para expansión de los vapores. En los cilindros domésticos que

contienen mezclas de propano y butano, puede ocurrir una segregación del butano el cual es más pesado que el propano. Esto puede afectar la eficiencia de la combustión haciéndola menos óptima, ya que la mezcla de gas se hace más densa y necesita más aire para encender el producto que está en el fondo del cilindro. Esto es un inconveniente para los usuarios industriales. Además, un alto contenido de butano hace que quede más producto en el cilindro cuando se envía de nuevo a llenar, y por lo tanto resulta menos atractivo para el consumidor.

- **GLP como Combustible para Transportación (CADIGAS)**

Como combustible para los automóviles, el GLP es una alternativa versus gasolina y gasoil. Hay 5.5 millones de vehículos transitando en 38 países que usan GLP. Para el uso automotriz su octanaje se compara bien con el de la calidad de la gasolina premium o es quizás mejor (con un octanaje entre 95 y 100 RON). La combustión del GLP es casi libre de contaminación y por esto se ha preferido, sobre todo en ciudades muy habitadas para reducir la cantidad de contaminación del aire localizada.

- **Otros usos (CADIGAS)**

El GLP es un combustible muy versátil así como la materia prima para productos químicos. Además de su uso doméstico y automotriz, también se utiliza como solvente, como propelente, para acondicionadores de aire, secado, refrigeración.

También es ampliamente utilizado como combustible para aplicaciones industriales.

- **En Ecuador el GLP no contiene H₂S (CADIGAS)**

En un sistema de incineración o cremación se debe suministrar aire adicional para la combustión, este aire está en función del poder calorífico que se puede obtener de la grasa del cuerpo del animal a ser incinerado, para efectos de dimensionamiento se consideró que el animal tenga hasta un 25% de grasa corporal.

El poder calorífico de la grasa animal es un valor variable frente a la alimentación que haya tenido el mismo, sin embargo se tomara como referencia el valor de 387 Kcal/kg.

En base a lo anteriormente expuesto el poder calorífico en un animal de 100 Kg será de 9.675 Kcal, la densidad de la grasa a punto de solución es aproximadamente 0.67 Kg/ltz.

El motor que se uso es un motor de 1 HP acoplado a una hélice helicoidal de baja presión con ingreso graduable a una presión máxima de 5 mBar con un caudal máximo de 25 m³ por hora, lo que equivale a 0.4 m³ por minuto, en nuestro caso particular considerando el poder calorífico de la grasa se necesita sobre inyectar un volumen de 0.23 m³ por minuto para lograr una combustión completa, es decir, la graduación de apertura de aire de ingreso deberá esta aproximadamente en la mitad, la correcta calibración del ingreso de aire se lograra tras un análisis de gases

Existe un sistema de control que comanda el accionamiento o corte de electroválvulas, transformador y motor, para este caso se utiliza un control de la marca Siemens modelo LGA52.150B17, el controlador verificara la presencia de fuego en el quemador, la misma será receptada y aceptada solo cuando ha pasado el proceso de prepurga y se han abierto las válvulas de paso de combustible, caso contrario se presentara la señal de alarma y bloqueara el dispositivo, otra función importante del control de fuego es la secuencia de arranque, la misma se iniciara solo y solo si la llamada cadena de seguridad está cerrada, la secuencia de arranque consiste en encender el motor del ventilador por un periodo propio del controlador, en este caso de 15 segundos, en donde fluirá aire por la cámara de combustión con la intención de eliminar gases combustibles que puedan haber permanecido en cámara, luego de eso, se activara el transformador de encendido para eliminar la posibilidad de ligeras fugas durante el proceso de pre purga, una vez cumplido este tiempo se activara la electroválvula de flujo de GLP y permanecerá encendida por un periodo de 5 segundos a menos que el sensor de ionización detecte la presencia de llama.

La llamada cadena de seguridad son la serie de elementos de control que activaran o desactivaran el quemador en función de la temperatura o demás variables que se toman en cuenta como permisivas, como son

- El quemador no enciende si la puerta frontal está abierta
- La temperatura máxima en la cámara principal es 850 °C
- La temperatura máxima en la cámara secundaria o de postcombustión es 1000 °C
- El sistema tiene un botón de paro de emergencia
- El sistema tiene un sistema de encendido y apagado manual
- El sistema no arrancara si el motor de sobre inyección de aire no está encendido

CAPÍTULO IV

TECNOLOGÍAS DE CONTROL INDUSTRIAL

4.1.- Generalidades

Los procesos industriales exigen el control de la fabricación de los diversos productos obtenidos. Los procesos son muy variados y abarcan muchos tipos de productos. En todos estos procesos es absolutamente necesario controlar y mantener constantes algunas magnitudes, tales como presión, caudal, nivel, temperatura, conductividad, humedad, etc. Los instrumentos de medición y control permiten el mantenimiento y regulación de estas magnitudes en condiciones más ideales que las que el propio operador podría realizar.

En los inicios de la era industrial, el operario llevaba a cabo un control manual de estas variables, utilizando sólo instrumentos simples, manómetros, termómetros, válvulas manuales, etc., control que era suficiente por la relativa simplicidad de los procesos. Sin embargo, la gradual complejidad con que estos se han desarrollado, ha exigido su automatización progresiva por medio de los instrumentos de control. Estos instrumentos han ido liberando al operario de su función de actuación física directa en la planta y al mismo tiempo le han permitido una labor única de supervisión y de vigilancia del proceso desde centros de control, situados en el mismo proceso o bien en salas aisladas separadas del mismo.

Asimismo, gracias a los instrumentos de control, ha sido posible fabricar productos complejos en condiciones aceptables de calidad y características, condiciones que al operario le serían imposibles o muy difíciles de conseguir, realizando un control manual.

- **Proceso:**

Es una operación donde varía por lo menos una característica física o química de un determinado material, en el caso particular del crematorio de animales domésticos, el proceso es cremación del cadáver del animal doméstico y la combustión del gas.

- **Sistema:**

Un sistema es una combinación de componentes que actúan juntos y realizan un objetivo determinado. Un sistema no necesariamente es físico, puesto que este concepto se puede aplicar a fenómenos abstractos, como es el caso de sistemas económicos o administrativos, aunque en este proyecto sólo se tratarán sistemas físicos, como es la descomposición del cadáver de un animal mediante temperatura.

Básicamente un sistema consta de una entrada y una salida, pero en general los sistemas presentan varias entradas y una o varias salidas.

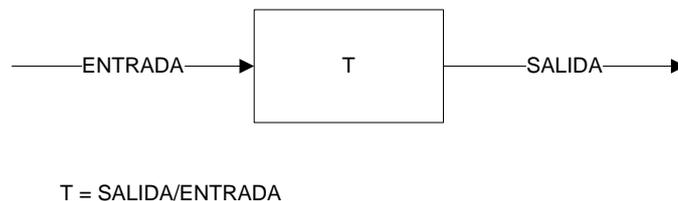


Figura 22. Ganancia o función de transferencia del sistema

En el crematorio de animales domésticos un control de temperatura se encargara de encender un quemador y dependiendo de la temperatura de la cámara incrementara o reducirá la potencia del quemador incluso pudiendo apagar el quemador si la temperatura de cámara supera la solicitada por el operador.

- **Planta:**

Una planta puede ser una parte de un equipo, tal vez un conjunto de las partes de una máquina que funcionan juntas, el propósito de la cual es ejecutar una operación particular. Se llamará en adelante planta a cualquier objeto físico que se va a controlar, por ejemplo un dispositivo mecánico, un horno de calefacción, un reactor químico, en el crematorio de animales domésticos la planta son los quemadores tanto de la cámara principal como el de la cámara de postcombustión.

Si bien la planta es un caso particular de sistema, se denomina a la entrada variable manipulada y a la salida variable controlada, por lo que se puede decir que la variable controlada es igual a la variable manipulada por la función transferencia de la planta. Dicho de otra manera, modificando a la variable manipulada se puede modificar a la variable controlada. Nuestra variable manipulada es la temperatura de cada una de las cámaras y la variable controlada es el encendido de los quemadores.

- **Perturbaciones:**

Una perturbación es una señal desconocida y de carácter aleatorio, que tiende a modificar, en forma indeseada, el valor de la salida de un sistema. Si la perturbación se genera dentro del sistema se denomina interna, en tanto que una externa se produce fuera del sistema y es una entrada. En el crematorio de animales domésticos existen las perturbaciones dadas

principalmente por la composición del cadáver, esto es el pelaje, grasa o incluso químicos residuales de tratamientos químicos presentes.

En la figura a continuación se muestra un modelo de cómo influyen las perturbaciones en el sistema.

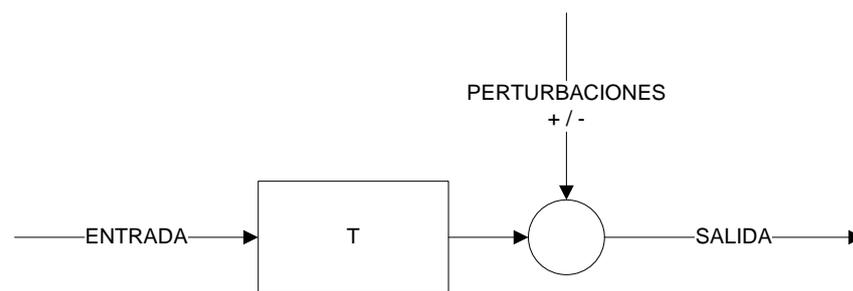


Figura 23. Sistema influido por perturbaciones

Del diagrama puede observarse que la salida no depende solamente de la entrada, sino que también de las perturbaciones, por lo que se puede decir que las mismas representan una nueva entrada al sistema, de la cual no se tiene ningún conocimiento, por su carácter aleatorio e impredecible, tan impredecible como puede ser el clima afectado por la humedad y temperatura a las que el crematorio de animales domésticos deba operar.

- **Control:**

El control consiste en medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar una desviación del valor medido a partir del valor deseado, el control en el

crematorio de animales domésticos se lo realizará en base a la temperatura de cada cámara.

La temperatura de las cámaras es fundamental controlarla por 2 motivos, en la cámara principal es importante asegurar la cremación total del cadáver y en la cámara de postcombustión eliminar todos los olores y restos material particulado, pero además es fundamental precautelar la integridad del refractario por trabajar el equipo a temperaturas demasiado elevadas.

Los pasos a realizar para llevar a cabo el control de un sistema se representan en el siguiente diagrama de flujo:

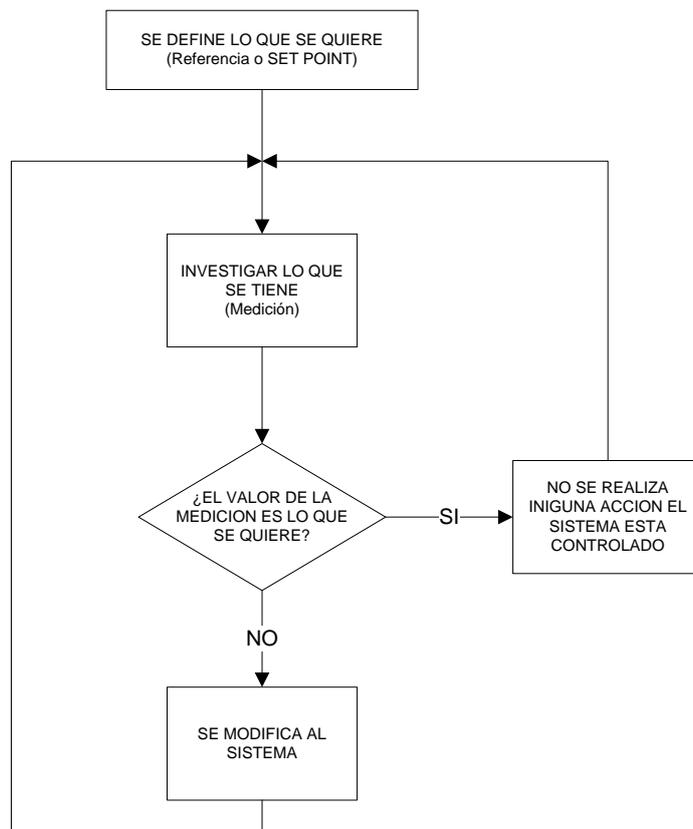


Figura 24. Pasos para un control

- **Medida:**

Es establecer la magnitud, en el correspondiente sistema de unidades y con la correspondiente incertidumbre, en el horno crematorio de mascotas las unidades son de temperatura en grados centígrados.

- **Clasificación de los instrumentos**

- **En función de su indicación:**

Instrumentos ciegos: No tienen indicación visible de la variable. Son ejemplo de tal clasificación los instrumentos de alarma, tales como los presostatos y termostatos, así como los transmisores sin indicación, en el crematorio de animales domésticos existen sensores de presencia de llama, sensor de flujo de gas, paro de emergencia, fin de carrera de apertura de puerta.

Instrumentos indicadores: Disponen de un índice y una escala graduada en la que puede leerse el valor de la variable. según la amplitud de la escala se dividen en concéntricos y excéntricos. Existen también indicadores digitales que muestran la variable en forma numérica a través de dígitos, el crematorio de animales domésticos dispondrá de 2 controles donde se visualice la temperatura en indicadores digitales de las temperaturas de cámara.

Instrumentos registradores: Almacenan con trazo continuo o puntos el valor de la variable, pueden ser circulares o de gráfico rectangular. Actualmente se utilizan registros en memoria no volátil o medios magnéticos, donde la visualización se puede realizar a través de la pantalla de una PC con la opción de obtener una impresión, el crematorio de animales domésticos dispondrá de controles que almacenen la temperatura deseada y los parámetros de control.

- **De acuerdo a su función en el sistema de control:**

Elementos primarios: Son los que están en contacto con la variable y utilizan o absorben energía del medio, para dar al sistema de medición una indicación en respuesta a la variación de la variable que se está midiendo. Son ejemplos de elementos primarios placa orificio, termoresistencia, bulbo y capilar, diafragma, flotador, en el crematorio de animales domésticos los elementos primarios son 2 termocuplas tipo K que censaran la temperatura, se necesita que sean tipo K porque este tipo de termocuplas resisten 1372 °C.

Controladores: Comparan la variable medida con el valor deseado (SET-POINT) y ejercen una acción correctiva de acuerdo con la diferencia o desviación (error), para el crematorio de animales domésticos se dispondrá de 2 controles de temperatura ON/OFF y PID.

Elemento final de control: Recibe la señal del controlador, variable correctora, y modifica la variable manipulada. Son ejemplos de elemento

final de control las válvulas con servomotor neumático o eléctrico, las electroválvulas, relés, contactores, controles de potencia, variadores de velocidad de motores, en el horno crematorio de mascotas los elementos finales de control serán los quemadores de la cámara principal y la cámara de postcombustión y a través de los quemadores estarán controladas electroválvulas transformadores y motores.

- **En función de la variable de proceso:**

De acuerdo con la variable de proceso, los instrumentos se dividen en instrumentos de presión, nivel, temperatura, caudal, conductividad, posición, etc. Esta clasificación corresponde específicamente al tipo de señal medida, independientemente del sistema empleado en la conversión del sistema de proceso, en el horno crematorio de mascotas la variable de proceso es la temperatura.

4.2.- Características del control a utilizar

Para el crematorio de animales domésticos se requiere 2 tipos de controles, el primero que se encargue de la operación de cada quemador, para el ciclo de encendido, ventilador de aire forzado, presencia de llama y potencia de combustión.

El segundo tipo de control se encargara de utilizar cada quemador de acuerdo a la temperatura seteada por el usuario para la cámara principal. La

temperatura de la cámara de postcombustión será de máximo 1000 °C para precautelar la integridad del refractario, de superar esta temperatura la cámara de postcombustión, se debe apagar los quemadores.

El control de temperatura para el quemador de la cámara principal debe funcionar en modo ON/OFF, ya que se encarga de la destrucción del cadáver y eso lo obliga a estar la mayor parte del tiempo encendido. Al contrario el quemador de la cámara de postcombustión requiere un control PID ya que los gases que llegan a esta cámara ya están a una gran temperatura, por lo que el control debe ser más fino y controlado para evitar la sobretemperatura de la cámara.

El crematorio de animales domésticos requiere una entrada adicional de aire mediante un blower para mejorar la combustión, como finalidad es evitar el exceso de material particulado y/o malos olores presentes por la grasa del cuerpo y el pelaje, adicionalmente cámara de postcombustión acaba de eliminar cualquier rastro de material particulado y/o malos olores.

Los ventiladores de los quemadores deben permanecer siempre encendidos independientemente de que el quemador este generando fuego, con esto el aire que ingresa mantiene a salvo las puntas de los quemadores, ya que las temperaturas generadas al interior de las cámaras podrían destruirlas.

La puerta de la cámara principal no debe abrirse a temperaturas altas por lo que debe estar controlada por el mismo control de temperatura del

quemador principal, con la finalidad de que el quemador se apague automáticamente si el operador debe abrir la puerta, previamente a confirmar la temperatura a la que se encuentra la cámara principal.

4.3.- Ventajas.

- **CONTROL ON/OFF**

- La forma más simple de control.
- Subida de temperatura rápida y apagado rápido en la cámara principal, esta cámara requiere mucha temperatura hasta lograr la destrucción del cadáver, además de que el aire adicional para la combustión ingresa en esta cámara.
- El funcionamiento del quemador de la cámara principal estará condicionado a la temperatura de la cámara de postcombustión.

- **CONTROL PID**

- Control más preciso para la cámara de postcombustión, esto es muy importante porque se cuida la durabilidad del refractario.
- Nos permitirá optimizar el consumo de combustible en la cámara de postcombustión.

4.4.- Desventajas.

- **CONTROL ON/OFF**

- Posible sobrepaso de temperatura por calor residual en la cámara principal, pero el ingreso de aire adicional ayudara a no sobrepasar la temperatura máxima de la cámara principal.

- **PID**

- Mayor desgaste de las partes mecánicas de los quemadores.
- El proceso varía mucho dependiendo del tipo de cadáver de la mascota, por la cantidad de grasa y pelaje, incluso químicos posiblemente presentes por tratamientos médicos.

CAPÍTULO V

SISTEMA DE CONTROL.

5.1.- Definición de las variables de CONTROL.

Un sistema electrónico es un conjunto de circuitos que interactúan entre sí para obtener un resultado. Una forma de entender los sistemas electrónicos consiste en dividirlos en las siguientes partes:

Entradas o Inputs –Sensores (o transductores) electrónicos o mecánicos que toman las señales (en forma de temperatura, presión, etc.) del mundo físico y las convierten en señales de corriente o voltaje. Ejemplo: El termopar, la foto resistencia para medir la intensidad de la luz, etc.

Circuitos de procesamiento de señales – Consisten en artefactos electrónicos conectados juntos para manipular, interpretar y transformar las señales de voltaje y corriente provenientes de los transductores.

Salidas u Outputs – Actuadores u otros dispositivos (también transductores) que convierten las señales de corriente o voltaje en señales físicamente útiles. Por ejemplo: un display que nos registre la temperatura, un foco o sistema de luces que se encienda automáticamente cuando esté oscureciendo.

Básicamente son tres etapas: La primera (transductor), la segunda (circuito procesador) y la tercera (circuito actuador).

Es la representación de un fenómeno físico o estado material a través de una relación establecida; las entradas y salidas de un sistema electrónico serán señales variables. En electrónica se trabaja con variables que toman la forma de tensión o corriente estas se pueden denominar comúnmente señales. Las señales primordialmente pueden ser de dos tipos:

Variable analógica– Son aquellas que pueden tomar un número infinito de valores comprendidos entre dos límites. La mayoría de los fenómenos de la vida real dan señales de este tipo. (presión, temperatura, etc.), en el crematorio de animales domésticos la variable analógica es la temperatura.

Variable digital– También llamadas variables discretas, entendiéndose por estas, las variables que pueden tomar un número finito de valores. Por ser de fácil realización los componentes físicos con dos estados diferenciados, es este el número de valores utilizado para dichas variables, que por lo tanto son binarias. Siendo estas variables más fáciles de tratar (en lógica serían los valores V y F) son los que generalmente se utilizan para relacionar varias variables entre sí y con sus estados anteriores, en el crematorio de animales domésticos las variables digitales se encargan de los actuadores y de las señales de alarma, adicionalmente son señales que habilitan o detienen la operación.

5.1.1.- Variables de Entrada y Salida.

Cuadro 1.

Variables entrada y salida

	VARIABLE	TIPO
Temperatura Cámara Principal	Analógica	Entrada
Temperatura Cámara Postcombustión	Analógica	Entrada
Encendido Quemador Principal	Digital	Salida
Encendido Quemador Postcombustión Primera Llama	Digital	Salida
Encendido Quemador Postcombustión Segunda Llama	Digital	Salida
	CONTINUA	

Encendido Blower	Digital	Entrada
Fin de carrera Puerta Crematorio	Digital	Entrada

5.1.2.- Lógica de Control

El proceso de diseño lógico es una tarea compleja. La mayor creatividad en el diseño de sistemas digitales lo constituye el proceso de formulación del algoritmo adecuado expresado mediante un flujograma para describir la operación del sistema digital.

La información binaria encontrada en un sistema digital puede estar constituida por datos o información de control y estado. Los datos son elementos discretos de información que se manipulan por microoperaciones elementales como sumar, incrementar, etc., en el procesador de datos del sistema bajo el mando y supervisión de la unidad de control. La información de control suministra las señales de mando adecuadas para especificar la secuencia en que se deben ir ejecutando las microoperaciones en el procesador de acuerdo con el algoritmo establecido.

La información de estado son señales generadas por el procesador de datos hacia la unidad de control para indicarle a esta última el estado en que se encuentra el procesador de datos del sistema. La unidad de control chequea estas señales de estado y de acuerdo al valor que tenga la misma toma la decisión de cuál es la siguiente microoperación que debe ordenar ejecutar.

En la siguiente figura se observa el diagrama funcional general de un sistema digital para el procesamiento de información. En el mismo se puede observar que a la unidad de control llegan tanto las señales de estado como también señales externas al sistema que igualmente condicionan la siguiente microoperación que debe ser ejecutada.

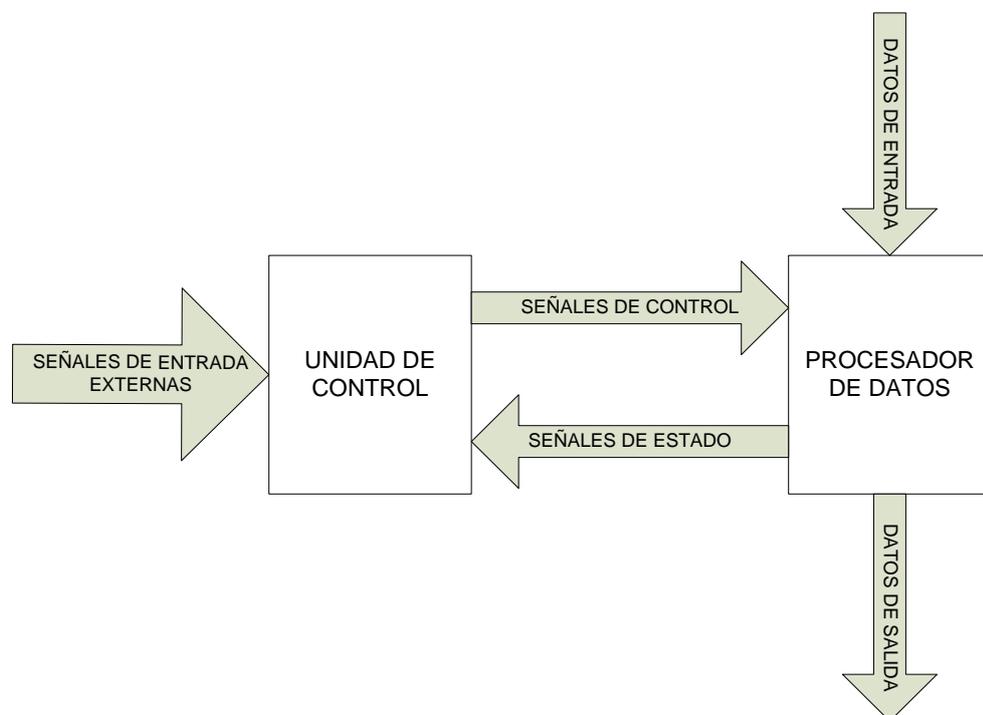


Figura 25. Sistema Digital

De acuerdo con lo anterior, las preguntas en el flujograma del sistema digital se identifican con una señal de entrada externa o una señal de estado. Estas señales determinan por tanto el estado siguiente que tendrá la unidad de control en su diagrama de estados y por consiguiente las microoperaciones que serán ejecutadas.

El crematorio de animales domésticos requiere 2 controles, el primero para la cámara principal será de tipo ON/OFF y el de la cámara de postcombustión será de tipo PID.

- **Control Cámara Principal**

La salida del controlador ON-OFF, o de dos posiciones, solo puede cambiar entre dos valores al igual que dos estados de un interruptor. El controlador no tiene la capacidad para producir un valor exacto en la variable controlada para un valor de referencia dado pues el controlador produce una continua desviación del valor de referencia.

La acción del controlador de dos posiciones tiene un simple mecanismo de construcción, por esa razón este tipo de controladores es de los de más amplio uso, y comúnmente utilizados en sistemas de regulación de temperatura. Los controladores mecánicos de dos posiciones normalmente poseen algo de histéresis, por el contrario los controladores electrónicos usualmente funcionan sin histéresis. La histéresis está definida como la diferencia entre los tiempos de apagado y encendido del controlador.

El usar un controlador de acción de dos posiciones da como resultado una oscilación de la variable controlada. Para determinar la regulación del controlador, son importantes los parámetros amplitud y período de tiempo de la oscilación. La oscilación depende de muchos factores, el período de tiempo está en función del tiempo muerto del sistema y la posible histéresis del controlador. La histéresis también está directamente influenciada por la

amplitud de la oscilación la cual es adicionalmente dependiente de los valores del factor de histéresis y la magnitud del escalón en la variable de entrada.

- **Control Cámara Postcombustión**

Un PID es un mecanismo de control por realimentación que calcula la desviación o error entre un valor medido y el valor que se quiere obtener, para aplicar una acción correctora que ajuste el proceso. El algoritmo de cálculo del control PID se da en tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional determina la reacción del error actual. El Integral genera una corrección proporcional a la integral del error, esto nos asegura que aplicando un esfuerzo de control suficiente, el error de seguimiento se reduce a cero. El Derivativo determina la reacción del tiempo en el que el error se produce. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar al proceso utilizando un elemento de control como la posición de una válvula de control o la energía suministrada a un calentador, por ejemplo. Ajustando estas tres variables en el algoritmo de control del PID, el controlador puede proveer un control diseñado para lo que requiera el proceso a realizar. La respuesta del controlador puede ser descrita en términos de respuesta del control ante un error, el grado el cual el controlador llega al "set point", y el grado de oscilación del sistema. El uso del PID para control no garantiza control óptimo del sistema o la estabilidad del mismo. Algunas aplicaciones pueden solo requerir de uno o dos modos de los que provee este sistema de control. Un controlador PID puede ser llamado también PI, PD, P o I en la ausencia de las acciones de control respectivas. Los controladores PI son particularmente comunes, ya que la acción derivativa es muy sensible al ruido, y la ausencia del proceso integral puede evitar que se alcance al valor deseado debido a la acción de control.

- **Funcionamiento**

Para el correcto funcionamiento de un controlador PID que regule un proceso o sistema se necesita, al menos:

- Un sensor, que determine el estado del sistema (termómetro, caudalímetro, manómetro, etc).
- Un controlador, que genere la señal que gobierna al actuador.
- Un actuador, que modifique al sistema de manera controlada (resistencia eléctrica, motor, válvula, bomba, etc).

El sensor proporciona una señal analógica o digital al controlador, la cual representa el punto actual en el que se encuentra el proceso o sistema. La señal puede representar ese valor en tensión eléctrica, intensidad de corriente eléctrica o frecuencia. En este último caso la señal es de corriente alterna, a diferencia de los dos anteriores, que también pueden ser con corriente continua.

El controlador lee una señal externa que representa el valor que se desea alcanzar. Esta señal recibe el nombre de punto de consigna (o punto de referencia), la cual es de la misma naturaleza y tiene el mismo rango de valores que la señal que proporciona el sensor. Para hacer posible esta compatibilidad y que, a su vez, la señal pueda ser entendida por un humano, habrá que establecer algún tipo de interfaz (HMI-Human Machine Interface), son pantallas de gran valor visual y fácil manejo que se usan para hacer más intuitivo el control de un proceso.

El controlador resta la señal de punto actual a la señal de punto de consigna, obteniendo así la señal de error, que determina en cada instante la

diferencia que hay entre el valor deseado (consigna) y el valor medido. La señal de error es utilizada por cada uno de los 3 componentes del controlador PID. Las 3 señales sumadas, componen la señal de salida que el controlador va a utilizar para gobernar al actuador. La señal resultante de la suma de estas tres se llama variable manipulada y no se aplica directamente sobre el actuador, sino que debe ser transformada para ser compatible con el actuador utilizado.

Las tres componentes de un controlador PID son: parte Proporcional, acción Integral y acción Derivativa. El peso de la influencia que tienen cada una de estas partes en la suma final, viene dado por la constante proporcional, el tiempo integral y el tiempo derivativo, respectivamente. Se pretenderá lograr que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo posible los efectos de las perturbaciones.

- **Control Proporcional**

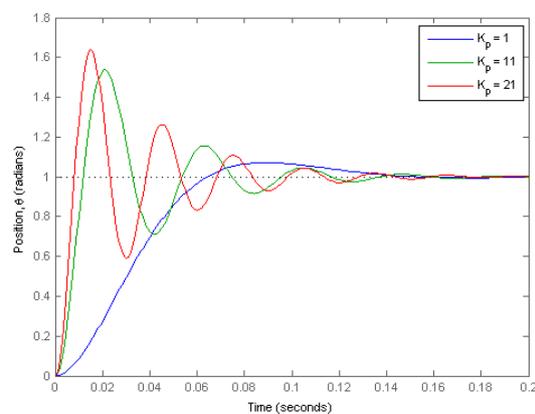


Figura 26. Control Proporcional

La parte proporcional consiste en el producto entre la señal de error y la constante proporcional para lograr que el error en estado estacionario se aproxime a cero, pero en la mayoría de los casos, estos valores solo serán óptimos en una determinada porción del rango total de control, siendo distintos los valores óptimos para cada porción del rango. Sin embargo, existe también un valor límite en la constante proporcional a partir del cual, en algunos casos, el sistema alcanza valores superiores a los deseados. Este fenómeno se llama sobreoscilación y, por razones de seguridad, no debe sobrepasar el 30%, aunque es conveniente que la parte proporcional ni siquiera produzca sobreoscilación. Hay una relación lineal continua entre el valor de la variable controlada y la posición del elemento final de control. La parte proporcional no considera el tiempo, por lo tanto, la mejor manera de solucionar el error permanente y hacer que el sistema contenga alguna componente que tenga en cuenta la variación respecto al tiempo, es incluyendo y configurando las acciones integral y derivativa.

La fórmula del proporcional está dada por:

$$P_{sal} = K_p e(t)$$

- **Control Integral**

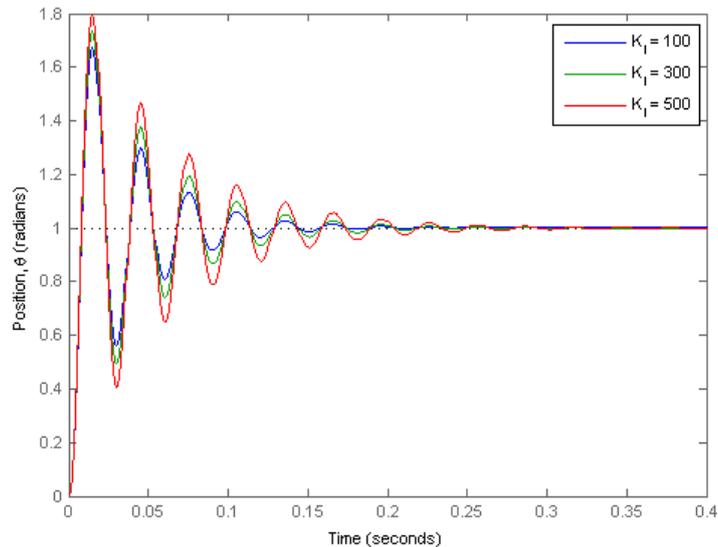


Figura 27. Control Integral

El modo de control Integral tiene como propósito disminuir y eliminar el error en estado estacionario, provocado por el modo proporcional. El control integral actúa cuando hay una desviación entre la variable y el punto de consigna, integrando esta desviación en el tiempo y sumándola a la acción proporcional. El error es integrado, lo cual tiene la función de promediárselo o sumarlo por un período determinado; Luego es multiplicado por una constante I. Posteriormente, la respuesta integral es adicionada al modo Proporcional para formar el control P + I con el propósito de obtener una respuesta estable del sistema sin error estacionario.

El modo integral presenta un desfase en la respuesta de 90° que sumados a los 180° de la retroalimentación (negativa) acercan al proceso a tener un retraso de 270° , luego entonces solo será necesario que el tiempo

muerto contribuya con 90° de retardo para provocar la oscilación del proceso, la ganancia total del lazo de control debe ser menor a 1, y así inducir una atenuación en la salida del controlador para conducir el proceso a estabilidad del mismo. Se caracteriza por el tiempo de acción integral en minutos por repetición. Es el tiempo en que delante una señal en escalón, el elemento final de control repite el mismo movimiento correspondiente a la acción proporcional.

El control integral se utiliza para obviar el inconveniente del offset (desviación permanente de la variable con respecto al punto de consigna) de la banda proporcional.

La fórmula del integral está dada por:

$$I_{sal} = K_i \int_0^t e(\tau) d\tau$$

- **Control Derivativo**

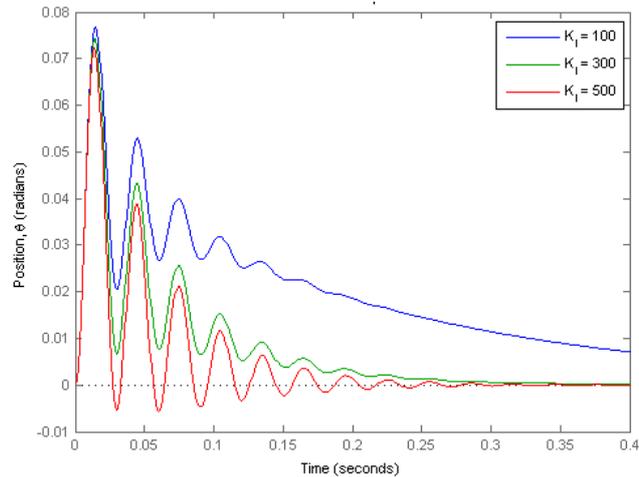


Figura 28. Control Derivativo

La acción derivativa se manifiesta cuando hay un cambio en el valor absoluto del error; (si el error es constante, solamente actúan los modos proporcional e integral). El error es la desviación existente entre el punto de medida y el valor consigna, o "Set Point". La función de la acción derivativa es mantener el error al mínimo corrigiéndolo proporcionalmente con la misma velocidad que se produce; de esta manera evita que el error se incremente.

Se deriva con respecto al tiempo y se multiplica por una constante D y luego se suma a las señales anteriores ($P+I$). Es importante adaptar la respuesta de control a los cambios en el sistema ya que una mayor derivativa corresponde a un cambio más rápido y el controlador puede responder acordeamente.

La fórmula del derivativo está dada por:

$$D_{sal} = K_d \frac{de}{dt}$$

El control derivativo se caracteriza por el tiempo de acción derivada en minutos de anticipo. La acción derivada es adecuada cuando hay retraso entre el movimiento de la válvula de control y su repercusión a la variable controlada.

Cuando el tiempo de acción derivada es grande, hay inestabilidad en el proceso. Cuando el tiempo de acción derivada es pequeño la variable oscila demasiado con relación al punto de consigna. Suele ser poco utilizada debido a la sensibilidad al ruido que manifiesta y a las complicaciones que ello conlleva.

El tiempo óptimo de acción derivativa es el que retorna la variable al punto de consigna con las mínimas oscilaciones

La acción derivada puede ayudar a disminuir el rebasamiento de la variable durante el arranque del proceso. Puede emplearse en sistemas con tiempo de retardo considerables, porque permite una repercusión rápida de la variable después de presentarse una perturbación en el proceso.

- **Significado de las constantes**

P constante de proporcionalidad: se puede ajustar como el valor de la ganancia del controlador o el porcentaje de banda proporcional. Ejemplo: Cambia la posición de la válvula proporcionalmente a la desviación de la variable respecto al punto de consigna. La señal P mueve la válvula siguiendo fielmente los cambios de temperatura multiplicados por la ganancia.

I constante de integración: indica la velocidad con la que se repite la acción proporcional.

D constante de derivación: hace presente la respuesta de la acción proporcional duplicándola, sin esperar a que el error se duplique. El valor indicado por la constante de derivación es el lapso de tiempo durante el cual se manifestará la acción proporcional correspondiente a 2 veces el error y después desaparecerá. Ejemplo: Mueve la válvula a una velocidad proporcional a la desviación respecto al punto de consigna. La señal I va sumando las áreas diferentes entre la variable y el punto de consigna repitiendo la señal proporcional según el tiempo de acción derivada (minutos/repetición).

Tanto la acción Integral como la acción Derivativa, afectan a la ganancia dinámica del proceso. La acción integral sirve para reducir el error estacionario, que existiría siempre si la constante K fuera nula. Ejemplo: Corrige la posición de la válvula proporcionalmente a la velocidad de cambio

de la variable controlada. La señal d es la pendiente (tangente) por la curva descrita por la variable.

La salida de estos tres términos, el proporcional, el integral, y el derivativo son sumados para calcular la salida del controlador PID. Definiendo $y(t)$ como la salida del controlador, la forma final del algoritmo del PID es:

$$y(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt}$$

Por tener una exactitud mayor a los controladores proporcional, proporcional derivativo y proporcional integral se utiliza en aplicaciones más cruciales tales como control de presión, flujo, fuerza, velocidad, en muchas aplicaciones química, y otras variables. Además es utilizado en reguladores de velocidad de automóviles (control de cruceo o cruise control), control de ozono residual en tanques de contacto.

El objetivo de los ajustes de los parámetros PID es lograr que el bucle de control corrija eficazmente y en el mínimo tiempo los efectos de las perturbaciones; se tiene que lograr la mínima integral de error. Si los parámetros del controlador PID (la ganancia del proporcional, integral y derivativo) se eligen incorrectamente, el proceso a controlar puede ser inestable, por ejemplo, que la salida de este varíe, con o sin oscilación, y está limitada solo por saturación o rotura mecánica. Ajustar un lazo de control significa ajustar los parámetros del sistema de control a los valores

óptimos para la respuesta del sistema de control deseada. El comportamiento óptimo ante un cambio del proceso o cambio del "setpoint" varía dependiendo de la aplicación. Generalmente, se requiere estabilidad ante la respuesta dada por el controlador, y este no debe oscilar ante ninguna combinación de las condiciones del proceso y cambio de "setpoints". Algunos procesos tienen un grado de no linealidad y algunos parámetros que funcionan bien en condiciones de carga máxima no funcionan cuando el proceso está en estado de "sin carga". Hay varios métodos para ajustar un lazo de PID. El método más efectivo generalmente requiere del desarrollo de alguna forma del modelo del proceso, luego elegir P, I y D basándose en los parámetros del modelo dinámico. Los métodos de ajuste manual pueden ser muy ineficientes. La elección de un método dependerá de si el lazo puede ser "desconectado" para ajustarlo, y del tiempo de respuesta del sistema. Si el sistema puede desconectarse, el mejor método de ajuste a menudo es el de ajustar la entrada, midiendo la salida en función del tiempo, y usando esta respuesta para determinar los parámetros de control.

Si el sistema debe mantenerse online, un método de ajuste consiste en establecer primero los valores de I y D a cero. A continuación, incremente P hasta que la salida del lazo oscile. Luego establezca P a aproximadamente la mitad del valor configurado previamente. Después incremente I hasta que el proceso se ajuste en el tiempo requerido (aunque subir mucho I puede causar inestabilidad). Finalmente, incremente D, si se necesita, hasta que el lazo sea lo suficientemente rápido para alcanzar su referencia tras una variación brusca de la carga.

Un lazo de PID muy rápido alcanza su setpoint de manera veloz, un lazo de PID no tan rápido alcanza su setpoint de manera no tan veloz. Algunos sistemas no son capaces de aceptar este disparo brusco; en estos casos se

requiere de otro lazo con un P menor a la mitad del P del sistema de control anterior.

5.1.3.- Alarmas.

Las alarmas para el horno crematorio de mascotas serán las siguientes:

- Alarma de apertura de compuerta. Esta alarma es muy importante pues restringe el encendido de los quemadores si la puerta está abierta y tampoco permite abrir la puerta si la temperatura de la cámara principal es mayor a la seteada para esa cámara por el operador.
- Alarma de mal funcionamiento de Quemador. Es una alarma muy importante, se puede activar por falta de gas y pérdida de llama.

5.2.- Diseño del controlador

5.2.1.- Definición de la tecnología a utilizarse

La medición y el control en la industria son muy importantes, tanto desde el punto de vista del funcionamiento correcto del proceso como de la consideración del balance adecuado entre costes y producto final (relación calidad/precio). El control automático de procesos industriales es hoy en día una actividad multidisciplinar, en la que hay que tener en cuenta aspectos técnicos (electrónica, informática de sistemas, etc.), científicos (investigación

de nuevos criterios y materiales, etc.) y económicos(mejora de los márgenes comerciales sin perder calidad y competitividad).

Los sistemas de control sofisticados del tipo de los instalados mediante complejos elementos de instrumentación, no se han creado de la noche a la mañana, aunque el auge que vive actualmente así lo pueda parecer. Son el resultado de más de cien años de trabajo de fabricantes y usuarios, quienes no han de dejado de buscar las mejores soluciones al control industrial automatizado (Álcala).

Estos esfuerzos aportaron algunos tipos de control, de acuerdo a la tecnología disponible en cada época. Las soluciones que se mostraron efectivas, han sobrevivido y, por tanto, evolucionado, proporcionando de este modo a los usuarios de hoy un abanico de posibilidades donde elegir las necesidades que se plantean al control automatizado de procesos y todo lo que significa su implantación.

En la figura 29. se aprecia las diferentes soluciones tecnológicas a un problema de control automatizado, pudiéndose distinguir en ellas, de izquierda a derecha, la evolución que han ido teniendo de acuerdo al desarrollo de las tecnologías en los diferentes instantes. Este esquema no debe interpretarse como que la tecnología eléctrica haya reemplazado totalmente a la fluídica, ni que la primera haya sido desbancada por la solución programada, tan sólo como que se está produciendo un complemento entre todas, que poco a poco irá situando a cada una de ellas en el papel que le corresponde.

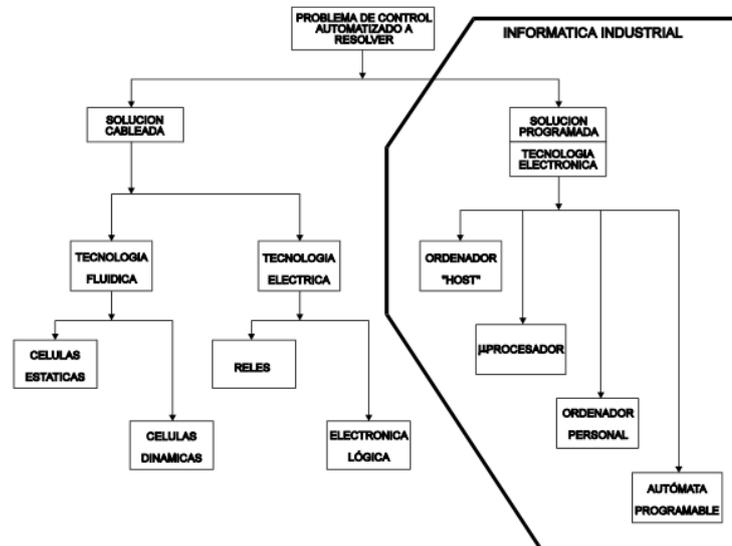


Figura 29. Principales soluciones tecnológicas a un problema de control automatizado

Lo que no cabe duda es que el papel “dirigente” en cualquier solución a un problema de automatización correrá a cargo de la informática industrial y que el microprocesador, en cualquiera de sus formas o versiones, irá copando posiciones relevantes hasta estar presente en todos los niveles que constituyen un control distribuido.

En todo caso, independientemente del tipo de control utilizado, los objetivos del control de procesos pueden resumirse en:

- Operar el proceso en forma segura y estable.
- Diseñar sistemas de control que el operador pueda vigilar, comprender y, cuando sea necesario, manipular en forma selectiva.
- Evitar desviaciones importantes respecto a las especificaciones de productos durante las perturbaciones.

- Permitir que el operador cambie un valor deseado o punto de consigna (valor de referencia) sin perturbar indebidamente otras variables controladas.
- Evitar cambios considerables y rápidos en variables manipuladas que podrían incumplir restricciones de operación, o perturbar unidades integradas o situadas en escalafones inferiores.
- Operar el proceso en forma congruente con los objetivos de calidad de cada producto. Así, las desviaciones en la calidad podrían ser menos permisivas (mucho más costosas) en un producto que en otro.
- Controlar las cualidades del producto en valores que maximicen su utilidad cuando se consideren índices y valores de productos y además, minimicen el consumo de energía.

El controlador que se ha definido para usar es un Control Marca Watlow Modelo PM6C 1CCC-AAAAAA con opción para trabajar con una termocupla Tipo K revestida con una funda o termopozo de porcelana que soporte las temperaturas de la cámara sin deteriorar el material, la termocupla tipo K es el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura.

Normalmente las termocuplas industriales se consiguen en capsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está la unión y en el otro el terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal) (ARIAN).

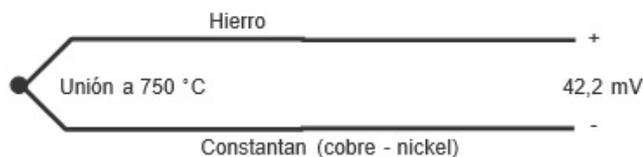


Figura 30. Termocupla tipo J

Existen una infinidad de tipos de termocuplas, pero casi el 90% de las termocuplas utilizadas son del tipo J o del tipo K.

Las termocuplas tipo J se usan principalmente en la industria del plástico, goma (extrusión e inyección) y fundición de metales a bajas temperaturas (Zamac, Aluminio).

La termocupla K se usa típicamente en fundición y hornos a temperaturas menores de 1300°C, por ejemplo fundición de cobre y hornos de tratamientos térmicos.

Tc	Cable + Aleación	Cable - Aleación	°C	Rango (Min, Max) mV	Volts Max
J	Hierro	cobre/nickel	(-180, 750)	42.2	
K	Nickel/cromo	Nickel/aluminio	(-180, 1372)	54.8	
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20.8	
R	87% Platino 13% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	21.09	
S	90% Platino 10% Rhodio	100% Platino	(0, 1767)	18.68	
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13.814	

Figura 31. Tipos de termocuplas

La dependencia entre el voltaje entregado por la termocupla y la temperatura no es lineal (no es una recta), es deber del instrumento electrónico destinado a mostrar la lectura, efectuar la liberalización, es decir tomar el voltaje y conociendo el tipo de termocupla, ver en tablas internas a que temperatura corresponde este voltaje

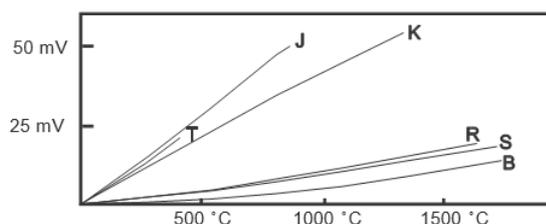


Figura 32. Termocuplas Voltaje vs Temperatura

El principal inconveniente de las termocuplas es su necesidad de "compensación de cero". Esto se debe a que en algún punto, habrá que empalmar los cables de la termocupla con un conductor normal de cobre.

En ese punto se producirán dos nuevas termocuplas con el cobre como metal para ambas, generando cada una un voltaje proporcional a la temperatura de ambiente (T_a) en el punto del empalme.

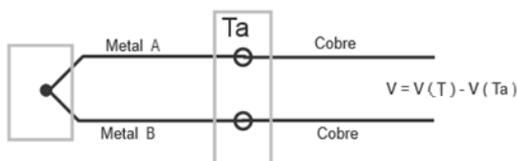


Figura 33. Empalme de cables a termocupla

Antiguamente se solucionaba este problema colocando los empalmes en un baño de hielo a cero grados para que generen cero voltaje ($T_a=0$ y luego $V(T_a)=0$).

Actualmente todos los instrumentos modernos miden la temperatura en ese punto (mediante un sensor de temperatura adicional) y la suman para crear la compensación y obtener así la temperatura real.

Las termocuplas K están hechas con cromel (cromo-aluminio) y alumel (aluminio-nickel) ambos de color plateado brillante pero el alumel es levemente magnético por su contenido de nickel.



Figura 34. Termocupla K en cámara principal



Figura 35. Termocupla K en cámara de postcombustión

- **Control de fuego**

Los quemadores del horno crematorio de mascotas requieren un control que se encargue de:

1. Encendido de ventilador
2. Generar una chispa
3. Apertura de electroválvulas de gas
4. Detección de llama
5. Operación entre primera llama (baja potencia) y segunda llama (alta potencia)
6. Detección de falla de operación

El horno crematorio de mascotas debe ser diseñado e implementado tomando en cuenta que debe ser comercializado, para lo cual debe cumplir las siguientes características:

1. Un tablero de fácil manejo
2. Mostrar valores reales de temperatura en las cámaras
3. Soportar ciclos de trabajo de alta demanda, equiparables con ambientes industriales
4. Respaldo técnico en funcionamiento y repuestos inmediato

Por estos motivos se decidió utilizar un control comercial especializado en el control de fuego de quemadores, como es el SIEMENS LGA52.150B17. La serie LGA son usados para el encendido y supervisión de quemadores a gas de pequeña y mediana capacidad.



Figura 36. Control de fuego Siemens LGA52.150B17

Tabla 4

Características Control de Fuego LGA52.150B17

Voltaje Alimentación	AC 110 V-15%...AC 110 V+10%
Frecuencia	50...60 Hz \pm 6%
Potencia nominal	3 VA
Corriente en terminal 1	Max. 5A
Terminales 4 y 8	Max. 4 A
Terminales 6,7 y 9	Max. 2 A
Terminales 5 y 10	Max. 1 A
Fusible externo	Max. 10 A
Grado de protección	IP40
Peso	Aprox. 180 gr

Tabla 5

Condiciones operación Control de Fuego LGA52.150B17

Operación	DIN EN 60 721-3-2
Condiciones Climáticas	Class 3K5
Condiciones Mecánicas	Class 3M2
Rango de Temperatura	-20°C...+60°C
Humedad	<95% H.R.

- La secuencia de operación del control de fuego en segundos, es:

Tabla 6

Secuencia de operación LGA52.150B17

	AC 100...110 V	LGA52.150B17
t1	Tiempo de depurga	13 aproximadamente
t3'	Tiempo de preignición con el inicio de TSA	Máximo 5
TSA	Tiempo de seguridad de ignición	5
TSAmax	Tiempo máximo de seguridad de ignición	10
t4	Intervalo entre la BV1-BV2	18 aproximadamente

- Z transformador de ignición

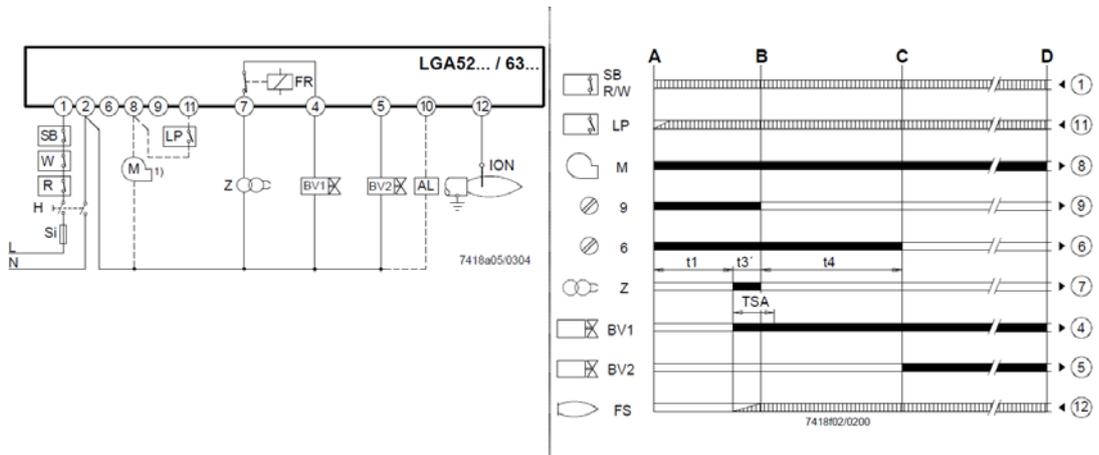


Figura 38. Secuencia de funcionamiento LGA52.150B17

-  requiere señales de entrada
-  señales de control de salida del quemador
- A inicio de la secuencia
- B tiempo de establecimiento de la llama
- C operación
- D apagado por R

5.2.2.- Protecciones Eléctricas.

Las protecciones eléctricas del sistema fueron dimensionadas en base a las cargas nominales de cada uno de los componentes que intervienen en el proceso de cremación, para esto se usó breakers de acción rápida por dilatación de conductores

Para nuestro caso en particular se utilizaron:

- Fusibles de acción rápida en cada fase de 30 Amp
- Breaker general 20 Amps 2 fases

5.2.3.- Normas de Diseño.

La normativa que se necesita aplicar en este proyecto se basa en calidad sobre los ambientes de operación del equipo las características son:

Temperatura de operación 50 °C, el tablero se encuentra alejado del equipo, sin embargo los controles de fuego en los quemadores no están expuestos a más de 50 °C gracias al aislamiento térmico del equipo.

Exposición a polvo es moderada ya que el equipo se encuentra resguardado bajo techo en cuanto a la humedad relativa en el sector tiene un promedio del 35%.

CAPÍTULO VI

INTEGRACIÓN DEL SISTEMA Y PRUEBAS.

6.1.- Caracterización de funcionamiento del controlador

El sistema consta de 2 controladores de temperatura con 2 salidas, el primer controlador estará conectado a una termocupla tipo K inmersa en la cámara principal de combustión, la temperatura máxima en esta cámara es de 850 °C, este valor será fijado en un control tipo ON-OFF que prenda y apague el quemador principal, para este caso se usara una histéresis de 10°C, la segunda salida se usara como una alarma para que no se pueda abrir la puerta del horno en temperaturas altas, de necesitar abrir la puerta el operador lo podrá hacer, bajando el setpoint del control de temperatura, en lo posible se debe evitar abrir la puerta puesto que pueden ocurrir daños al

refractario y quemaduras al personal de operación del horno crematorio de mascotas, la tercera salida del controlador en este caso no se usara.

En el segundo controlador que está conectado a una termocupla tipo K inmersa en la cámara de postcombustión se debe mantener una temperatura no menor de 900 °C con la intención de eliminar los residuos de combustión así como reducir las emisiones contaminantes, para esto se usara la primera salida del controlador como un control ON-OFF que controlara la temperatura máxima en esta cámara con una histéresis de 20 °C, en el caso de una sobret temperatura apagara el quemador, la segunda salida del controlador usando un control PID activara o desactivara la segunda llama del quemador con la intención de obtener una temperatura estable, al ser nuestro actuador una electroválvula se configura la salida del controlador en tipo PWM (pulse wave modulator) o modulación por ancho de pulso, es decir, el controlador activara la segunda llama del quemador por tiempos dados por el control PID en función de la temperatura; la tercera salida del controlador esta como una redundancia de seguridad por sobre temperatura graduada a 950 °C en caso de una falla mecánica o eléctrica de la primera salida.

- Dimensiones del modelo (PM6) para DIN de 1/16

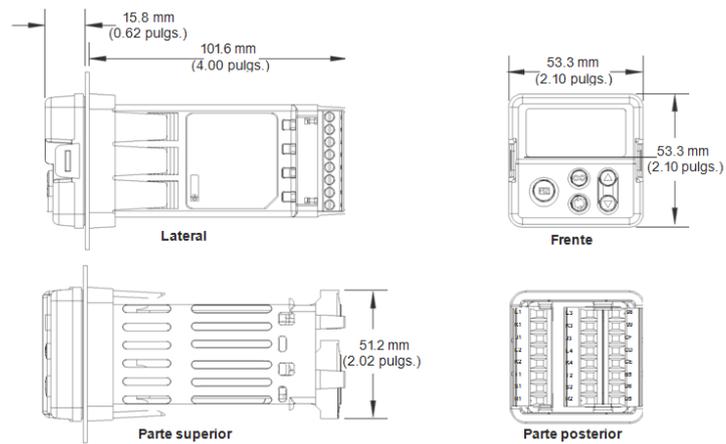


Figura 39. Control de temperatura Watlow

- Montaje y desmontaje del controlador PM EZ-ZONE PM (PM6 & PM8 se muestran a continuación)

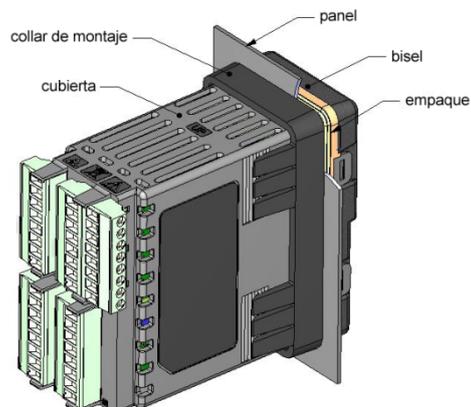


Figura 40. Montaje control de temperatura Watlow

1. Haga la abertura del tablero usando las dimensiones de la plantilla de montaje, inserte la caja de ensamble dentro de la abertura del panel.

2. Mientras presiona firmemente la caja de ensamble contra el panel, deslice el collar de montaje sobre la parte posterior del controlador. Si la instalación no requiere un sello NEMA 4X, simplemente deslícelo hasta que el empaque quede comprimido.

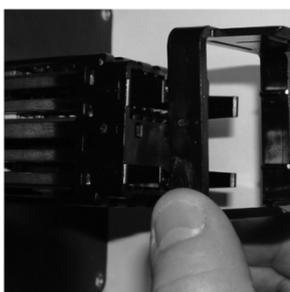


Figura 41. Deslice el collar de montaje sobre la parte posterior del controlador .

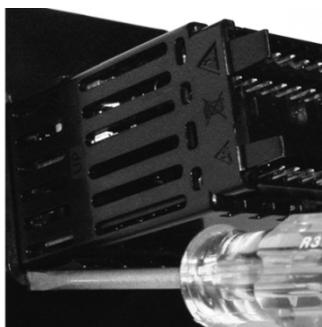


Figura 42. La punta del destornillador en una de las esquinas del ensamble del collar de montaje

3. Para un sello NEMA 4X (UL50, IP66), de forma alternativa, empuje con la punta de un destornillador cada una de las cuatro esquinas del ensamblaje del collar de montaje. Aplique presión al frente del controlador al mismo tiempo que empuja con el destornillador. No tema aplicar suficiente presión para instalar adecuadamente el controlador. El sistema de sello se comprime más haciendo que el collar de montaje se ajuste al panel frontal. Si puede mover el controlador hacia adelante y hacia atrás en la abertura, no consigue un sellado adecuado. Las lengüetas a cada lado del collar de montaje poseen dientes que se enganchan en las salientes que se encuentran en los lados del controlador. Cada diente está escalonado a diferente profundidad del frente así que solamente una de las lengüetas, de cada lado, se engancha con las salientes por vez.

- **Definiciones de terminales para ranura C**

Ranura C	Función de terminales	Configuración
98 99	Entrada de energía: CA o CC+ Entrada de energía: ca o cc-	todas
CC CA CB	EIA-485 común para Bus estándar o Modbus RTU EIA-485 T-/R- para Bus estándar o Modbus RTU EIA-485 T+/R+ para Bus estándar o Modbus RTU	Bus estándar o Modbus PM _____ [1] _____
CF CD CE	EIA-485 común de Bus estándar EIA-485 T-/R- de Bus estándar EIA-485 T+/R+ de Bus estándar	PM _____ [A,D,2,3,5] _____
B5 D6 D5	Común de entrada-salida digital Entrada o salida digital 6 Entrada o salida digital 5	PM __ [2] __ - _____ PM __ [4] __ - _____

Figura 43. Terminales ranura C control Watlow

Vista posterior orientación de las ranuras DIN de 1/6 PM6

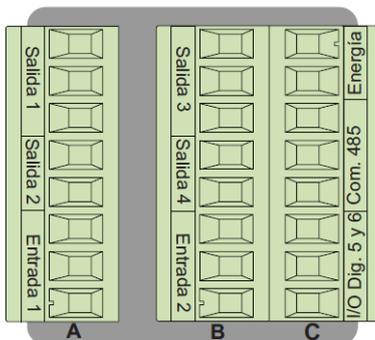


Figura 44. Vista posterior control de temperatura Watlow

- Bloque de aislamiento de PM integrado

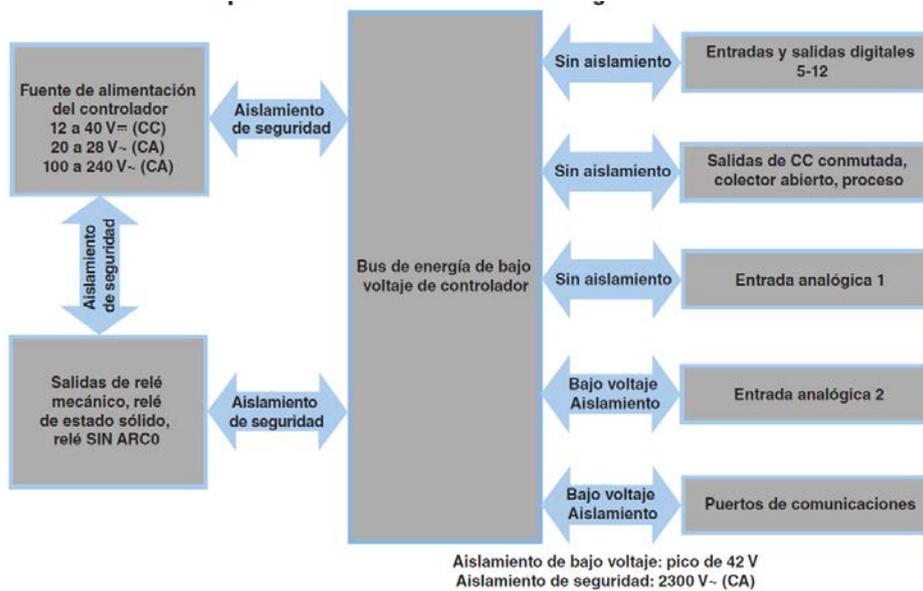


Figura 45. Bloque de aislamiento Watlow

- **Baja Energía**

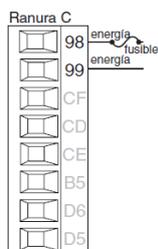


Figura 46. Ranura C para baja energía

- Valores mínimos/máximos
- 12 a 40 V DC
- 20 A 28 V~AC
- 47 A 63 Hz
- consumo de energía máximo de 10 VA

- **Alta energía**

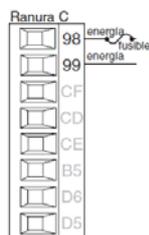


Figura 47. Ranura C para alta energía

- Valores mínimos/máximos
- 85 a 264 V~AC

- 100 a 240 V~AC
 - 47 a 63 Hz
 - consumo de energía máximo de 10 VA
- **Entrada para Termocupla**

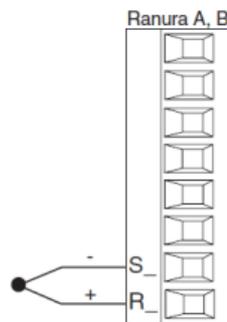


Figura 48. Entrada para termocupla

- Resistencia de fuente de 2 K Ω máximo
- >20 M Ω impedancia de entrada
- Detección de sensor abierto de 3 microamperios
- Las termocuplas son sensibles a la polaridad. El conductor negativo (comúnmente rojo) se debe conectar S1.
- Para reducir errores, el cable de extensión para las termocuplas debe ser de la misma aleación que la termocupla

- **Salida a relé mecánico**

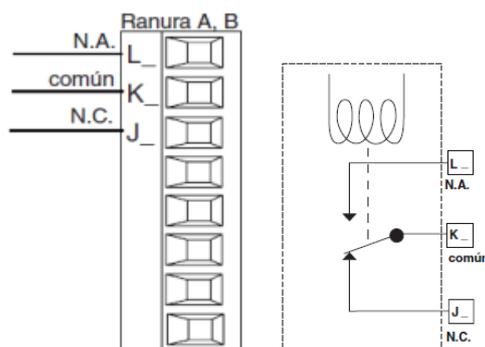


Figura 49. Salida a relé mecánico

- 5 A a 240 V~AC o 30 V DC, carga resistiva máxima
- Carga mínima de 20 mA a 24 V
- 125 VA servicio piloto a 120/240 V~AC, 25 VA a 24 V~AC
- La salida no suministra alimentación
- Puede usarse con AC y DC

6.2.- Integración del sistema

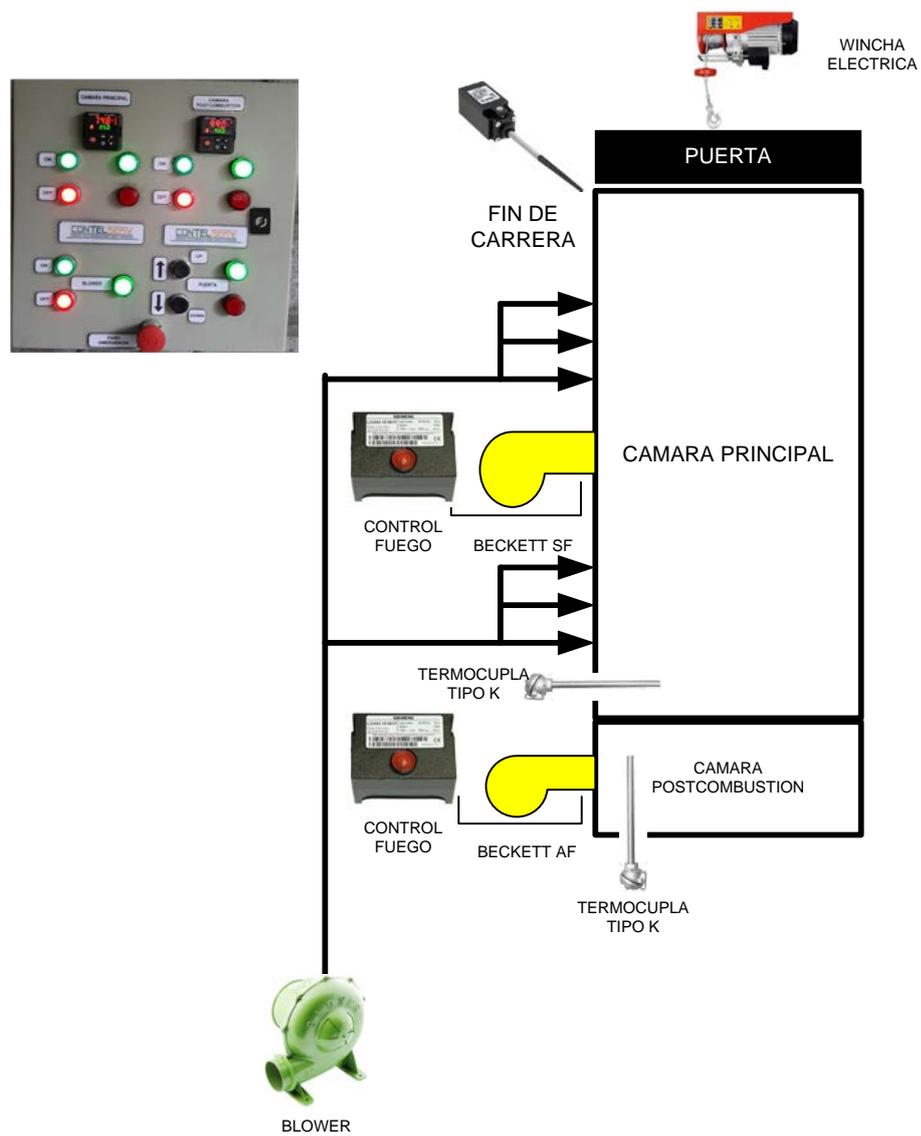


Figura 50. Integración del sistema

- **Tablero de control**



Figura 51. Tablero de control

El tablero de control del horno crematorio de mascotas dispone de:

- **Cámara Principal**
 - Control temperatura PM6C 1CCC-AAAAAA
 - Temperatura de funcionamiento 800 °C
 - Control ON/OFF
 - Histéresis 10 °C
 - 1 pulsador (ON) iluminado verde de encendido
 - 1 pulsador (OFF) iluminado rojo de apagado
 - 1 lámpara verde de encendido

- 1 lámpara roja de error de quemador
- Cámara Postcombustión
 - Control temperatura PM6C 1CCC-AAAAAA
 - Temperatura de funcionamiento 900 °C
 - Control PID
 - Apagado de seguridad 1000 °C
 - 1 pulsador (ON) iluminado verde de encendido
 - 1 pulsador (OFF) iluminado rojo de apagado
 - 1 lámpara verde de encendido
 - 1 lámpara roja de error de quemador
- Blower
 - 1 pulsador (ON) iluminado verde de encendido
 - 1 pulsador (OFF) iluminado rojo de apagado
 - 1 lámpara verde de encendido
- Puerta
 - 1 pulsador ↑(UP) negro, para apertura de la puerta
 - 1 pulsador ↓(DOWN) negro, para cierre de la puerta
 - 1 lámpara verde que habilita la apertura de la puerta
 - 1 lámpara roja que no permite la apertura de la puerta
- Paro Emergencia
 - Se encarga de apagar la llama de los quemadores

- Diagrama eléctrico

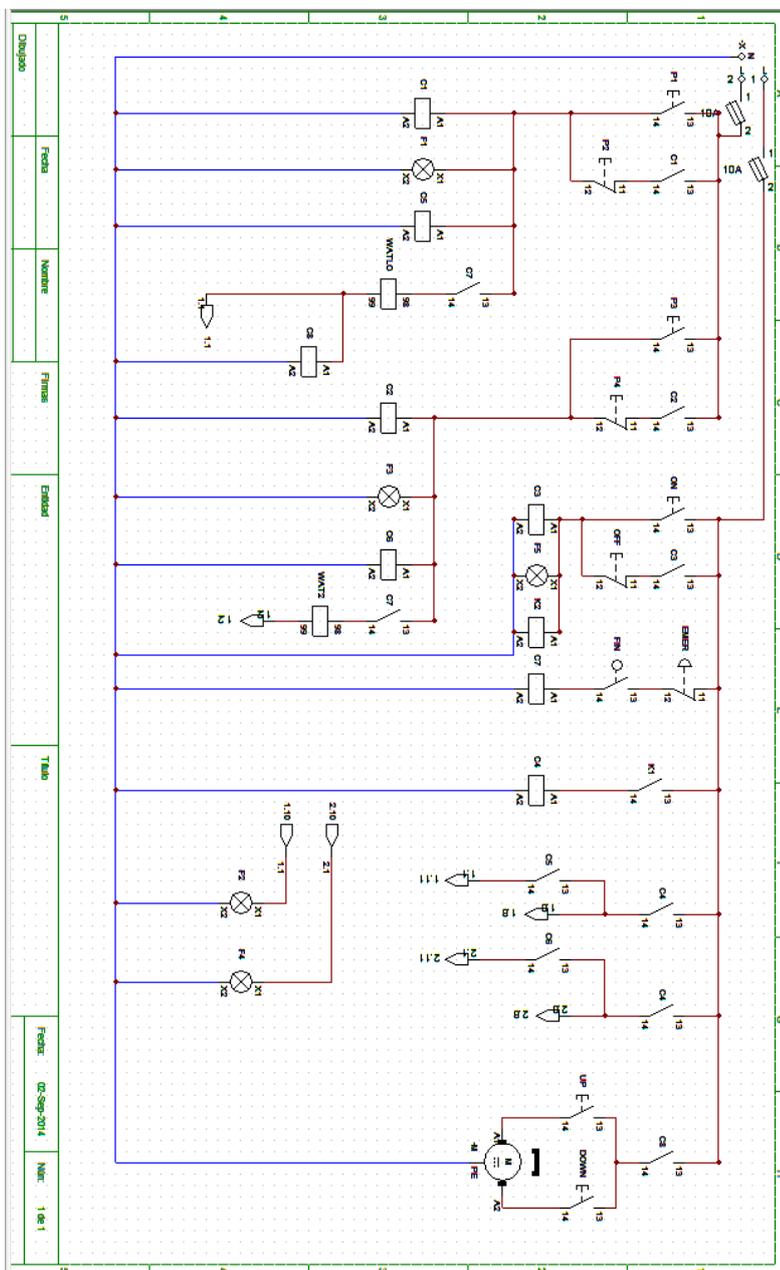


Figura 52. Diagrama eléctrico

La configuración del Control de temperatura Watlow se encuentra en el Anexo 4.

- **Método de Ziegler Nichols**

El método de Seglar-Nichols permite ajustar o "sintonizar" un regulador PID de forma empírica, sin necesidad de conocer las ecuaciones de la planta o sistema controlado. Estas reglas de ajuste propuestas por Seglar y Nichols fueron publicadas en 1942 y desde entonces es uno de los métodos de sintonización más ampliamente difundido y utilizado. Los valores propuestos por este método intentan conseguir en el sistema realimentado una respuesta al escalón con un sobrepulso máximo del 25%, que es un valor robusto con buenas características de rapidez y estabilidad para la mayoría de los sistemas.

El método de sintonización de reguladores PID de Seglar-Nichols permite definir las ganancias proporcional, integral y derivativa a partir de la respuesta del sistema en lazo abierto o a partir de la respuesta del sistema en lazo cerrado. Cada uno de los dos ensayos se ajusta mejor a un tipo de sistema.

- **Sintonización por la respuesta al escalón**

Este método de sintonización se adapta bien a los sistemas que son estables en lazo abierto y que presentan un tiempo de retardo desde que reciben la señal de control hasta que comienzan a actuar.

Para poder determinar la respuesta al escalón de la planta o sistema controlado, se debe retirar el controlador PID y sustituirlo por una señal escalón aplicada al accionador.

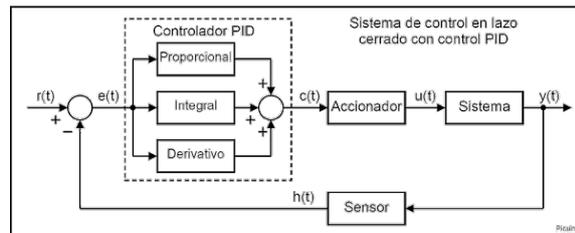


Figura 53. Sistema de lazo cerrado

En la siguiente figura se muestra la modificación que hay que realizar al sistema de control en lazo cerrado para convertirlo en un sistema en lazo abierto que responda a una señal escalón, retirando el controlador PID:

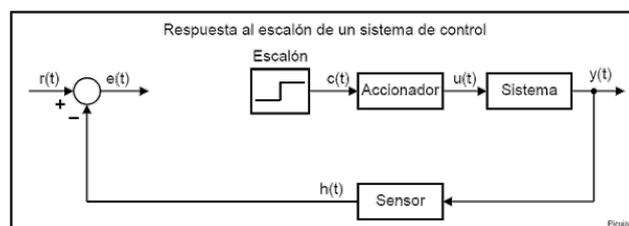


Figura 54. Sistema de lazo abierto

En la imagen siguiente se puede ver representado en rojo la entrada escalón al accionador o señal $c(t)$. En azul se representa la salida del sistema medida por el sensor o señal $h(t)$. El escalón de entrada $c(t)$ debe estar entre el 10% y el 20% del valor nominal de entrada.

Como puede apreciarse, la respuesta del sistema presenta un retardo, también llamado tiempo muerto, representado por T_1 .

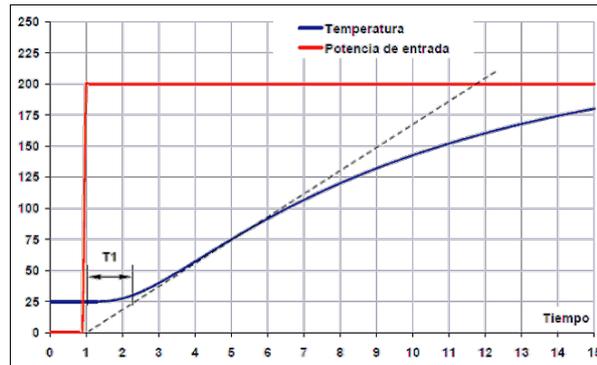


Figura 55. Respuesta del sistema al escalón

Para calcular los parámetros se comienza por trazar una línea recta tangente a la señal de salida del sistema (curva azul). Esta tangente está dibujada en la imagen con una recta a trazos.

El tiempo T_1 corresponde al tiempo muerto. Este es el tiempo que tarda el sistema en comenzar a responder. Este intervalo se mide desde que la señal escalón sube, hasta el punto de corte de la recta tangente con el valor inicial del sistema, que en este caso es el valor 25°C.

El tiempo T_2 es el tiempo de subida. Este tiempo se calcula desde el punto en el que la recta tangente corta al valor inicial del sistema hasta el punto en el que la recta tangente llega al valor final del sistema.

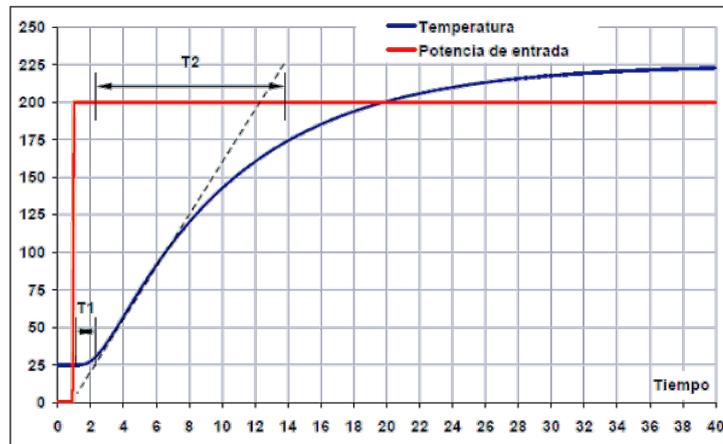


Figura 56. Tangente al punto de inflexión

Además de estos dos tiempos característicos también hay que calcular la variación de la señal escalón d_x y la variación de la respuesta del sistema d_y . En el caso de ejemplo que aparece en las imágenes, la variación de la señal escalón corresponde a $d_x = 5$ voltios de señal de control $c(t)$ y la variación del sistema corresponde a $d_y = 200^\circ\text{C}$ medidos por el sensor $h(t)$.

A partir de estos valores se puede calcular la constante del sistema K_0 :

$$k_0 = \frac{(d_x * T_2)}{(d_y * T_1)}$$

Y a partir de la constante K_0 se pueden calcular los parámetros del controlador PID con acción solo proporcional (P), proporcional e integral (PI) o proporcional integral y derivativa (PID):

Cuadro 2

Parámetros del controlador

	k_p	T_i	T_d
P	k_0		
PI	$0,9 * k_0$	$3,3 * T_1$	
PI D	$1,2 * k_0$	$2 * T_1$	$0,5 * T_1$

La constante k_p corresponde a la ganancia proporcional, T_i es la constante de tiempo integral y T_d es la constante de tiempo derivativa. En el caso de tener el controlador PID configurado con las ganancias integral k_i y derivativa k_d en vez de los tiempos T_i y T_d , hay que tener en cuenta las siguientes relaciones entre ellos:

$$k_i = \frac{k_p}{T_i}$$

$$k_d = k_p * T_d$$

Con lo cual la tabla de valores para ajustar el controlador PID será la siguiente:

Cuadro 3

Constantes del control PID

	k_p	k_i	k_d
P	k_0		
PI	$0,9 * k_0$	$\frac{0,27 * k_0}{T_1}$	
PID	$1,2 * k_0$	$\frac{0,60 * k_0}{T_1}$	$0,60 * k_0 * T_1$

- **Obtención de datos reales del horno crematorio de mascotas**

El primer paso es el funcionamiento del horno en lazo abierto, siendo activado por un escalón unitario, y se tiene la siguiente conexión. Por facilidad de conexión se utilizó equipos Full Gauge, además:

- Control de temperatura MT 543 Ri
- Termocupla tipo K

- Quemador AF de la cámara de postcombustión
- Programa Sitrad



Figura 57. Sitrad conectado al horno

Los datos obtenidos son los siguientes:

Cuadro 4

Datos horno crematorio de mascotas en lazo abierto

Fecha	Hora	Temperatura Cámara Postcombustión
25/08/2014	10:12:03	20

CONTINUA 

25/08/2014	10:12:08	20
25/08/2014	10:12:13	20
25/08/2014	10:12:19	20
25/08/2014	10:12:24	20
25/08/2014	10:12:29	20
25/08/2014	10:12:34	20
25/08/2014	10:12:39	20
25/08/2014	10:12:45	20
25/08/2014	10:12:50	29
25/08/2014	10:12:55	58
25/08/2014	10:13:00	64
25/08/2014	10:13:06	74
25/08/2014	10:13:11	76

CONTINUA



25/08/2014	10:13:16	91
25/08/2014	10:13:21	94
25/08/2014	10:13:27	103
25/08/2014	10:13:32	109
25/08/2014	10:13:37	115
25/08/2014	10:13:42	118
25/08/2014	10:13:47	132
25/08/2014	10:13:53	134
25/08/2014	10:13:58	140
25/08/2014	10:14:03	140
25/08/2014	10:14:08	143
25/08/2014	10:14:14	150
25/08/2014	10:14:19	150

CONTINUA



25/08/2014	10:14:24	169
25/08/2014	10:14:29	185
25/08/2014	10:14:34	186
25/08/2014	10:14:40	176
25/08/2014	10:14:45	200
25/08/2014	10:14:50	212
25/08/2014	10:14:55	234
25/08/2014	10:15:01	250
25/08/2014	10:15:06	262
25/08/2014	10:15:11	283
25/08/2014	10:15:16	273
25/08/2014	10:15:22	269
25/08/2014	10:15:27	291

CONTINUA



25/08/2014	10:15:32	288
25/08/2014	10:15:37	285
25/08/2014	10:15:43	275
25/08/2014	10:15:48	280
25/08/2014	10:15:53	292
25/08/2014	10:15:58	275
25/08/2014	10:16:03	280
25/08/2014	10:16:09	277
25/08/2014	10:16:14	291
25/08/2014	10:16:19	294
25/08/2014	10:16:24	293
25/08/2014	10:16:30	298
25/08/2014	10:16:40	284

Se obtuvo la siguiente gráfica:

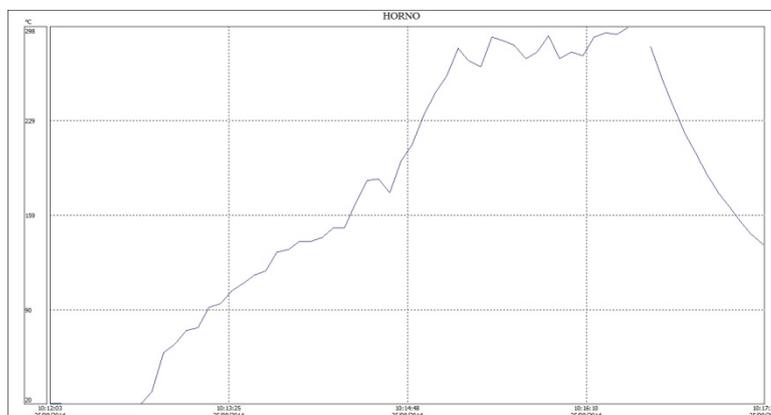


Figura 58. Temperatura en cámara de postcombustión

Entonces se traza la tendencia Polinómica y se obtiene:

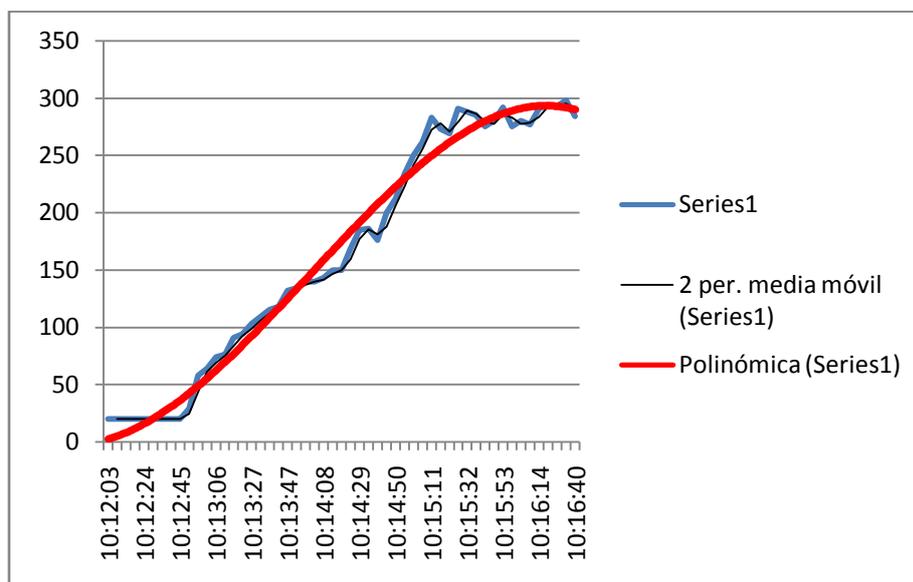


Figura 59. Tendencia temperatura cámara postcombustión

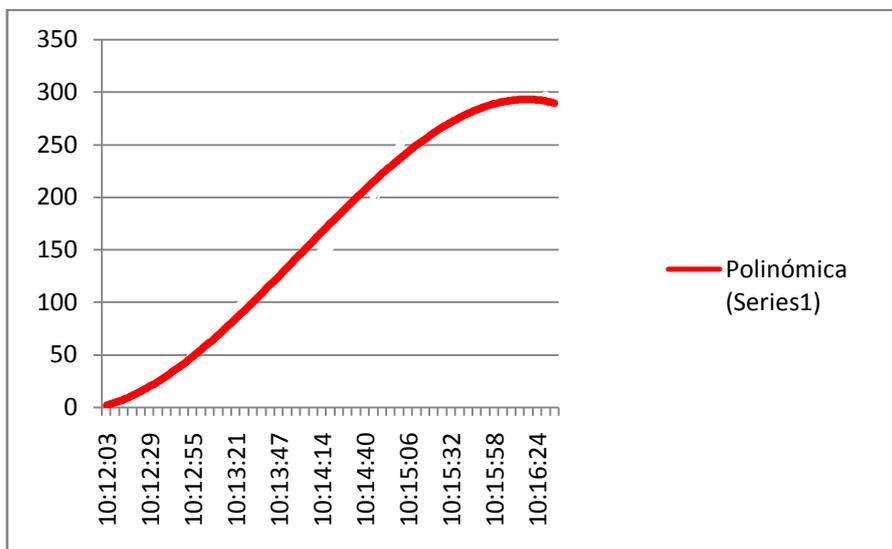


Figura 60. Tendencia polinómica temperatura cámara postcombustión

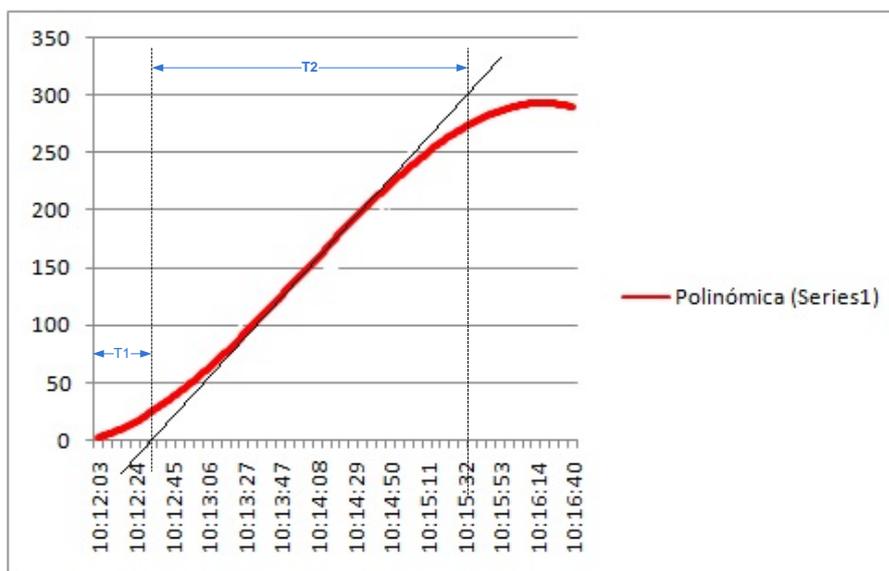


Figura 61. Tangente en el punto de inflexión

$$k_0 = \frac{(d_x * T_2)}{(d_y * T_1)}$$

$$d_x = 110 - 0 = 110 \text{ voltios}$$

$$d_y = 298 - 20 = 278^\circ\text{C}$$

$$T_1 = 21,3 \text{ segundos}$$

$$T_2 = 188 \text{ segundos}$$

$$k_0 = \frac{(110 * 188)}{(278 * 21,3)} = 3,49 \frac{\text{V}}{^\circ\text{C}}$$

Cuadro 5

Parámetros del crematorio de animales domésticos

	k_p	T_i	T_d
P	3,49		
PI	3,14	70,29	
PID	4,18	42,60	10,65

$$k_i = \frac{k_p}{T_i}$$

$$k_d = k_p * T_d$$

Cuadro 6

Constantes control PID del crematorio de animales domésticos

	k_p	k_i	k_d
P	3,49		
PI	3,14	0,04	
PID	4,18	0,09	44,6

Entonces las funciones de transferencia son:

$$K = 278^{\circ}\text{C}$$

$$L = 21,3 \text{ seg}$$

$$T = 188 \text{ seg}$$

$$G_{planta}(s) = \frac{K e^{-Ls}}{1 + Ts}$$

$$G_c(s) = K_p \left(1 + \frac{1}{T_i s} + T_d s \right)$$

Entonces:

$$G_{planta}(s) = \frac{278e^{-21,3 s}}{1 + 188 s}$$

$$G_c(s) = 4,18 \left(1 + \frac{1}{42,6 s} + 10,65 s \right)$$

La constante de proporcionalidad es la ganancia de temperatura.

La constante de integración: indica la velocidad con la que se repite la acción proporcional, es decir la variación de la temperatura.

La constante de derivación: hace presente la respuesta de la acción proporcional duplicándola, sin esperar a que el error se duplique. El valor indicado por la constante de derivación es el lapso de tiempo durante el cual se manifestará la acción proporcional correspondiente a 2 veces el error y después desaparecerá. La señal I va sumando las áreas diferentes entre la variable y el punto de consigna repitiendo la señal proporcional según el tiempo de acción derivada (minutos/repetición).

Tanto la acción Integral como la acción Derivativa, afectan a la ganancia dinámica del proceso. La acción integral sirve para reducir el error estacionario.

- **Control de fuego**

Se dispone del control de fuego SIEMENS LGA52.150B17, el mismo que es capaz de controlar todo el funcionamiento del quemador, sin embargo se puede, utilizar algunas de sus características como a nosotros nos convenga así:

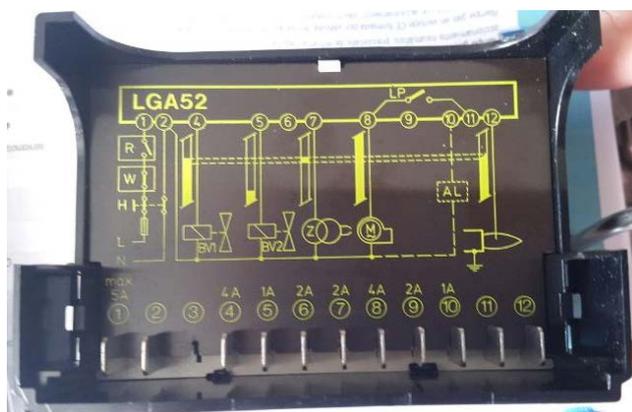


Figura 62. Diagrama de pines LGA52.150B17

Para el horno crematorio de mascotas se debe tener siempre el blower y los ventiladores de los quemadores prendidos esta es una condición para poder prender los quemadores, aun cuando se abra la puerta los ventiladores y el blower seguirán encendidos, todo esto para precautelar la integridad de las puntas de los quemadores ya que a la elevadas

temperaturas que alcanza el crematorio de animales domésticos, podría destruir las puntas de los quemadores.

Los terminales 8 y 11 unidos por el switch LP se lo utilizara como cadena de seguridad para validar que el blower y los ventiladores estén encendidos previamente a la operación del horno crematorio de mascotas, además del paro de emergencia, los pulsadores de encendido de los quemadores, el fin de carrera de la puerta y las alarmas de sobretemperatura de los controladores de temperatura Watlow.

El pin 10 del control de fuego nos indicara si existió algún problema en la secuencia de encendido del quemador, esto puede suceder si:

- No existe GLP
- Mala ubicación del electrodo de ignición
- Mala posición de electrodo de ionización
- Mala calibración de aire y combustible

El pin 4 (BV1) habilita la apertura de la electroválvula de baja llama del quemador y el pin 5 (BV2) habilita la apertura de la electroválvula de llama alta del quemador, estas 2 llamas se las utiliza en el control PID para poder bajar la potencia de la llama y mantenerla de acuerdo a las constantes calculadas previamente.

- **Fin de carrera**

Se lo utiliza para detectar la apertura y cierre de la puerta, tiene las siguientes características:



Figura 63. Fin de carrera

Tabla 7

Características fin de carrera

Tipo de sensor	interruptor de fin de carrera
Material de carcasa	metálico
Dimensiones de cuerpo	51,5 x 30,8 x 30,8 mm
Configuración de salida	NO + NC
Corriente máx. de contactos	10 A
Tensión conectada	máx 250 V CC
Tensión conectada	máx. 500 V CA
CONTINUA	

Carga CA*	6 A / 250 V AC
Carga CC**	6 A / 24 V DC
Conexión	PG13,5
Temperatura de trabajo	-25...90°C
Clase de impermeabilidad	IP67
Característica	snap action contacts

- **Termocupla tipo K**



Figura 64. Termocuplas tipo K

Se requiere utilizar termocuplas tipo K porque son capaces de resistir temperaturas de hasta 1600°C, pero además se colocó fundas refractarias para una protección adicional.

- **Wincha Eléctrica**



Figura 65. Wincha eléctrica

Tabla 8

Características wincha eléctrica

MODELO	CAPACIDAD normal/polipasto	VELOCIDAD (m/min)	Potencia	Ciclo de trabajo	Voltaje
PA500	250/500	10/5	900 W	20% 10min	110V 60 Hz

La wincha eléctrica va a funcionar en configuración polipasto, con lo que se puede maniobrar un peso de 500 Kg.

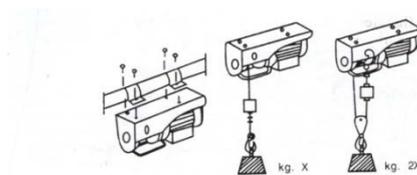


Figura 66. Montaje wincha eléctrica

Se recomienda mantener un enrollado óptimo del alambre de la wincha eléctrica

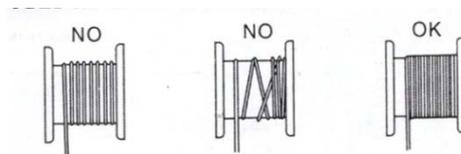


Figura 67. Cuidado del cable de la wincha eléctrica

El diagrama interno de operación de la wincha eléctrica es el siguiente:

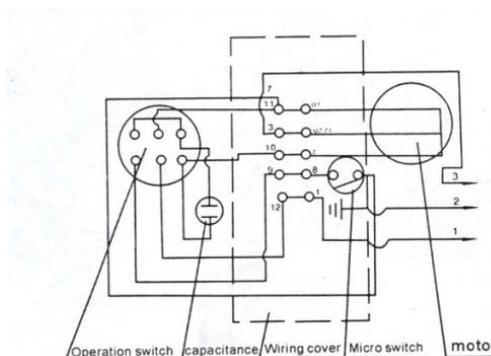


Figura 68. Diagrama interno wincha eléctrica

6.3.- Implementación

La implementación del horno crematorio de mascotas fue realizado en su totalidad, se partió de una estructura metálica para la base y soportar el material refractario.



Figura 69. Estructura para la base del horno crematorio de mascotas

Se adiciono anclajes para mantener unido el material refractario a las paredes



Figura 70. Anclajes para refractario de las paredes

Lugar designado para el horno crematorio de mascotas al inicio de los trabajos, el cliente construyó la plataforma, paredes y estructura del techo, el canal abajo de donde ira el crematorio se lo planifico para le fácil extracción de los restos de las mascotas cremadas.



Figura 71. Espacio físico para el crematorio de animales domésticos

Montaje en sitio de la estructura metálica que soportara el material refractario, en la parte derecha se puede observar el agua utilizada para mezclar el refractario, se utilizó agua embotellada para garantizar que no existen impurezas.



Figura 72. Paredes metálicas para soporte de refractario

Horno crematorio de mascotas con paredes y base metálica, lista para la fundición del material refractario, en la base del crematorio se adiciono una plancha de fibra cerámica densidad 6 con 1 pulgada de espesor.



Figura 73. Estructura metálica lista para fundir el cemento refractario

Crematorio de animales domésticos fundido la base de refractario y pared divisora de cámaras, los anclajes tienen en las puntas material plástico para ayudar en la dilatación de los anclajes.



Figura 74. Estructura metálica fundida la base

Cámara de postcombustión fundida de material refractario.



Figura 75. Cámara de postcombustión

Cúpula y sección de chimenea fundidos en material refractario.



Figura 76. Cúpula de refractario y base de chimenea

Montaje de chimenea y acoplamiento a estructura metálica, se puede apreciar la tubería de ingreso de aire a la cámara principal.



Figura 77. Crematorio de animales domésticos

Recubrimiento externo de fibra cerámica densidad 6, de 1 pulgada de espesor.



Figura 78. Aislamiento térmico del crematorio de animales domésticos

A continuación se coloca una lata de acero para completar el recubrimiento.



Figura 79. Recubrimiento metálico externo

Todo el horno crematorio de mascotas fue recubierto con fibra cerámica, en especial la pared que contiene a los quemadores, para evitar el recalentamiento de los mismos.



Figura 80. Aislamiento térmico en la zona de quemadores

Recubrimiento con fibra cerámica a la cúpula.



Figura 81. Aislamiento térmico a la cúpula



Figura 82. Aplicación de pintura anticorrosiva



Figura 83. Equipo de trabajo del crematorio de animales domésticos

6.4.- Pruebas de funcionamiento

Crematorio de animales domésticos implementado en sitio de funcionamiento, líneas de combustible GLP pintadas de color amarillo, líneas eléctricas protegidas por bx con recubrimiento PVC, todo el crematorio está pintado con pintura anticorrosiva.



Figura 84. Crematorio de animales domésticos

Tablero de control del horno crematorio de mascotas, los mandos de control se los ha puesto lo mas didácticos y fáciles para su manejo.



Figura 85. Tablero de control del crematorio de animales domésticos

El procedimiento de encendido del crematorio es el siguiente:

- Los controles de temperatura Watlow deben estar seteados así:
- Cámara principal 850 °C
- Cámara de postcombustión 980 °C
- Se procede a introducir el cadáver de la mascota.
- La puerta se podrá abrir o cerrar si la lámpara verde está iluminada, correspondiente en el tablero, de estar encendida la lámpara roja de la puerta, no se podrá operar la puerta, esto se debe a que la temperatura actual de la cámara principal es superior al valor seteado en el controlador de temperatura, de requerir la apertura del crematorio se deberá modificar la temperatura seteada del control de temperatura de la cámara principal. Esta función sirve mucho al momento de enfriar el crematorio así es que el operador puede asegurarse que nadie abra la puerta hasta que el crematorio se enfríe.
- Para el encendido de los quemadores se debe cumplir que:
 - No esté presionado el botón de emergencia
 - Se encienda previamente el blower
 - Se encuentre cerrada la puerta del horno crematorio de mascotas
 - Se presione el pulsador de encendido de los quemadores
 - Que la temperatura actual sea inferior a la temperatura seteada en el controlador
- El proceso de cremación se llevara a cabo automáticamente, tal vez requiriendo reacomodar el cadáver de la mascota, previa visualización de su estado por la mirilla.
- Una vez terminado el proceso de cremación el operador apagará el quemador de la cámara de postcombustión y setea una nueva temperatura de 200 °C para la cámara principal.
- Durante el proceso de enfriamiento permanecen encendidos los ventiladores de los quemadores y el blower.
- Por último se debe retirar los restos del cadáver de la mascota.



Figura 86. Crematorio de animales domésticos con chimenea



Figura 87. Apertura puerta de crematorio de animales domésticos



Figura 88. Terminado posterior y termocupla tipo K



Figura 89. Puerta abierta y terminado del crematorio animales domésticos

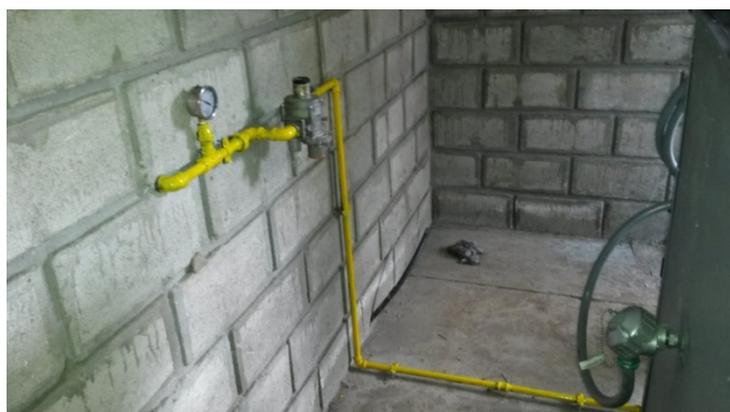


Figura 90. Línea de alimentación de gas GLP y reguladora de presión

El ingreso del cadáver de la mascota se debe realizar con cuidado de no tocar la termocupla tipo K de la camara principal, además de acomodar al cadáver justo en frente del quemador.



Figura 91. Cadáver ingresado en el crematorio de animales domésticos

Se puede apreciar el inicio de la incineración el cadáver esta bien posicionado y la llama lo envuelve, gracias a la forma de la cúpula.



Figura 92. Crematorio de animales domésticos inicio cremación

La medición de gases se lo realizó para serciorarse de pasar normativa ambiental, la normativa ambiental se encuentra en el ANEXO 5.

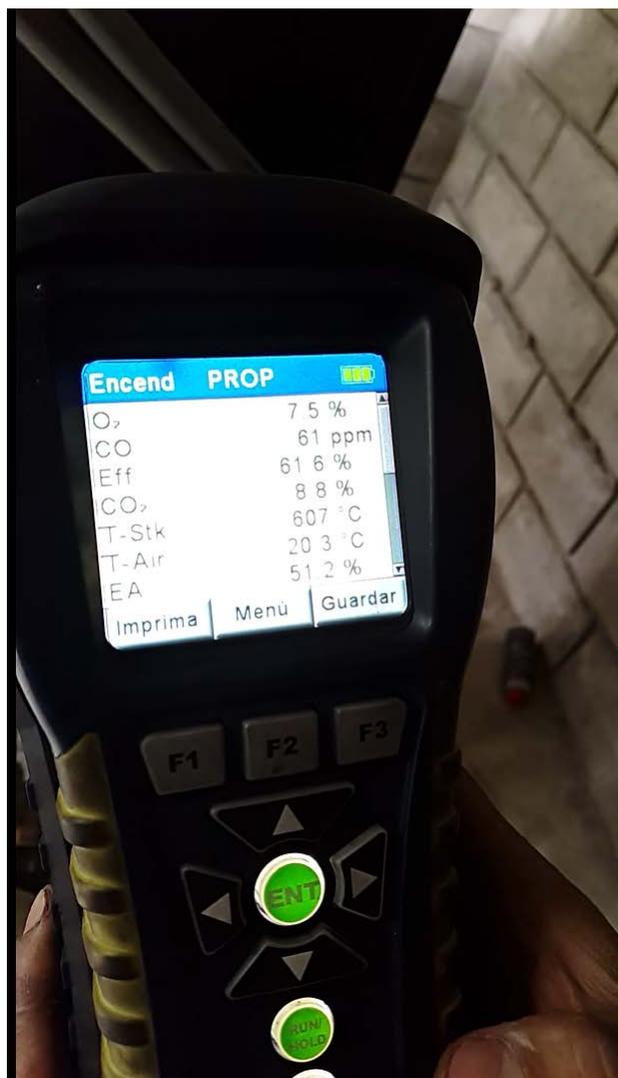


Figura 93. Medición de gases de chimenea con instrumento Bacharach 24-7301 serie Rx 1000, calibrado el 20 Enero 2014

El aislamiento térmico del crematorio de animales domésticos demostro su eficiencia, al mantener temperaturas por debajo de los 30 °C para las paredes que tienen aislamiento de fibra cerámica densidad 6, y en la puerta del crematorio de animales domésticos se registro 57 °C, a pesar de no tener fibra cerámica como aislante.



Figura 94. Temperatura en recubrimiento de pared frontal a los quemadores



Figura 95. Temperatura en recubrimiento de la cámara de postcombustión



Figura 96. Temperatura en recubrimiento de pared de quemadores



Figura 97. Quemadores Beckett



Figura 98. Temperatura en puerta frontal



Figura 99. Inspección de proceso de cremación

El resultado de la cremación son huesos muy fragiles, que son facilmente molidos para ser entregados al dueño de la mascota. El proceso de cremación dura aproximadamente de 60 minutos a 90 minutos, dependiendo del tamaño del cadaver de la mascota.



Figura 100. Resultado de cremación de mascota

6.5.- Análisis de resultados

Se puede calcular el calor perdido, además de que se cuenta con la medición de gases de la chimenea, entonces se tiene:

Primero las pérdidas por combustión: debido a el agua procedente de la combustión del hidrógeno. El hidrógeno del combustible al quemarse se transforma en agua la cual abandona el crematorio en forma de vapor y se calcula de la siguiente manera

$$P_1 = 9H_2(h_g - h_f)$$

Dónde:

P_1 = Pérdidas de calor en kcal por kg de combustible quemado

H_2 = Peso en kg de H_2 por Kg de combustible quemado

h_g = Entalpia del vapor recalentado a la Temperatura de gases de la chimena y a una presión absoluta de $0,07 \frac{kg}{cm^2}$, en $\frac{kcal}{kg}$

h_f = Entalpia del agua a la temperatura a la cual el combustible entra, en $\frac{kcal}{kg}$

$H_2 = 10\%$ de hidrógeno por cada Kg de GLP

$$H_g = 859.9 \frac{Kcal}{Kg} \text{ entalpia de vapor de agua a } 165 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$H_f = 20 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \text{ entalpia del agua a } 20^\circ\text{C}$$

$$P_1 = 9 \times 0.10 \times (859.9 - 20) \left[\frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}} \right]$$

$$P_1 = 744,3 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}_{\text{comb}}}$$

Ahora pérdidas por humedad en el aire, se determina así:

$$P_2 = 0,46 m_{as} m_v (T_g - T_a)$$

Dónde:

P_2 = Pérdidas de calor, en kcal por kg de combustible quemado

m_{as} = Peso real de aire seco utilizado por kilogramo de combustible

m_v = Porcentaje de saturación expresado en forma decimal multiplicado por el peso de vapor de agua requerido para saturar 1 kg de aire

T_g = Temperatura de los gases de combustión a la salida del crematorio en $^\circ\text{C}$

0,46 = Calor específico medio del vapor de agua desde T_g a T_a

T_a = Temperatura del aire al entrar al hogar del crematorio en $^\circ\text{C}$

Dónde a su vez:

$$m_{as} = (1 + X) \left[11,5C + 34,5 \left(H - \frac{1}{8}O \right) + 4,32H \right]$$

X = Exceso de aire

$$M_{as} = (1 + 0.512)[11.5(0.61) + 34.5(0.09) + 4.32(0.075)]$$

$$M_{as} = 15,79 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}_{\text{comb}}}$$

$$P_2 = 0.46(15,79)(0.7 * 0.01847)(607 - 20)$$

$$P_2 = 55,12 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}_{\text{comb}}}$$

Cálculo de pérdida por gases secos de la chimenea:

$$P_3 = m_{gs} C_{p_{gs}} (T_g - T_a)$$

Dónde:

P_3 = Pérdidas de calor, en kcal por kg de combustible quemado

m_{gs} = Peso de los gases secos a la salida del crematorio en kg, por Kg de combustible quemado

$C_{p_{gs}}$ = Calor específico medio de los gases secos (valor aprox. = 0,24)

Donde a su vez:

$$m_{gs} = \%C_f \left(\frac{4CO_2 + O_2 + 700}{3(CO_2 + CO)} \right)$$

$$M_{gs} = 0.85 \left(\frac{4(8,8) + 0.075 + 700}{3(8,8 + 0.0061)} \right) = 39,20 \frac{\text{Kg}}{\text{Kg}_{\text{comb}}}$$

$$P_3 = 39,20 * 0.24 * (607 - 20)$$

$$P_3 = 5.522,5 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}_{\text{comb}}}$$

Para el cálculo de pérdidas por combustión incompleta, se tiene:

$$P_4 = \left(\frac{CO}{CO_2 + CO} \right) 5689,6 C_1$$

Dónde:

P_4 = Pérdidas de calor, en kcal por kg de combustible tal como se quema CO y CO₂

= Porcentaje en volumen respectivamente de Monóxido y Bióxido de Carbono determinado por análisis de los gases de chimenea

C_1 = Peso del Carbono realmente quemado por kilogramo de combustible

$$P_4 = \left(\frac{0.0061}{8.8 + 0.0061} \right) * 5689.6 * 0.85$$

$$P_4 = 549,56 \frac{\text{Kcal}}{\text{Kg}_{\text{comb}}}$$

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1.- Conclusiones

- Se ha logrado diseñar e implementar un crematorio para animales domésticos, logrando realizar pruebas de funcionamiento.
- El presente trabajo a servido para investigar las características de un crematorio de animales domésticos, para determinar las ventajas y desventajas en la utilización de determinados materiales y combustibles.
- Los quemadores que combustionan gas GLP son los más indicados para un proceso de cremación, porque en la combustión existe muy poca presencia de material particulado.
- El crematorio para animales domésticos es capaz de funcionar automáticamente entre los 850 °C y 900 °C.

- Las seguridades de presencia de llama, apertura y cierre de electroválvulas de combustible, encendido de ventiladores, parada de emergencia, apertura de puerta, funcionan correctamente.
- El crematorio de animales domésticos es un proyecto viable y de aporte a la comunidad en la eliminación de desechos y satisface un nicho de mercado creciente en el Ecuador.
- El uso de cementos refractarios de alto contenido de alúmina trabaja perfectamente en el aislamiento de la temperatura en cámaras.
- Los controladores digitales de temperatura por su precisión y versatilidad son la solución más óptima y económica cuando el control a utilizarse no amerita muchas salidas.
- El uso de quemadores de alta eficiencia operando a GLP es óptimo para procesos de incineración por su bajo contenido de excipientes de combustión lo que permite aprobar la normativa ambiental vigente en el país ampliamente sin que las grasas o demás contenidos en los cuerpos influyan en el delicado equilibrio de la combustión.
- La asociación de conceptos de ingeniería mecánica, eléctrica y electrónica contribuye al desarrollo de equipos en el país con completo respaldo técnico y garantía efectiva en el país.
- El mercado de mascotas en el Ecuador y el mundo es una economía creciente y en pleno desarrollo.
- La manera más óptima de controlar una temperatura es un control PID por su precisión y fácil manejo frente a controles realimentados.

7.2.- Recomendaciones

- Recomiendo el uso de cementos refractarios de alta calidad por su durabilidad.
- Recomiendo a la comunidad en general a hacer uso de los servicios de cremación de cadáveres tanto de humanos como de animales para lograr una eliminación limpia de desechos y de bajo impacto, con un costo razonable frente a métodos tradicionales
- Recomiendo el uso de controladores de proceso universal para aplicaciones de control de temperatura por su fácil acceso programación y costo moderado.
- Se recomienda a las universidades la educación globalizada de los conceptos de ingeniarías para lograr profesionales de éxito que tengan conocimientos de toda rama de ingeniería y les permita ser más competitivos en el mercado laboral.

Bibliografía

Álcala, U. d. (s.f.). *Universidad de Alcalá*. Recuperado el 23 de Febrero de 2014, de www.depeca.uah.es

Amarilla, S. (s.f.). *Sección Amarilla*. Recuperado el 24 de Marzo de 2014, de <http://paginas.seccionamarilla.com.mx/quemadores-industriales-gomez/quemadores-industriales/jalisco/guadalajara/-/fresno/>

ARIAN. (s.f.). *ARIAN*. Recuperado el 18 de Enero de 2014, de <http://www.arian.cl/espanol/markets.htm>

BECKETT. (s.f.). *BECKETTCORP*. Recuperado el 7 de Enero de 2014, de <http://www.beckettcorp.com/product2/productdetail.asp?detailid=9>

businessweek;. (s.f.). *businessweek.com*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2013, de <http://www.businessweek.com/companies-and-industries>

CADIGAS. (s.f.). *CADIGAS*. Recuperado el 16 de Enero de 2014, de <http://www.cadigas.org.ar/definicion.php>

Canaria, E. d. (s.f.). *Editorial de Construcción Arquitectónica*. Recuperado el 28 de Enero de 2014, de <http://editorial.cda.ulpgc.es/ftp/icaro/Anexos/2-%20CALOR/4-Construccion/C.6.4%20Conductividad%20t%E9rmica%20y%20densidad.PDF>

F

Conchambay Cabrera, V. N. (2012). *Estudio de la factibilidad para la creación de un centro de limpieza, belleza y relajación para mascotas en el valle de Los Chillos*. Quito.

CYSSCO. (s.f.). *CYSSCO*. Recuperado el 25 de Enero de 2014, de http://www.cyssco.com/html/list_1172.html

Ecured. (s.f.). *Ecured*. Recuperado el 8 de Febrero de 2014, de <http://www.ecured.cu/index.php/Cremaci%C3%B3n>

francmasoneria.org. (s.f.). *francmasoneria.org*. Recuperado el 3 de Enero de 2014, de <http://www.francmasoneria.org/preguntas-sobre-masoneria/>

FREEDITIONARY, T. (s.f.). *THE FREEDITIONARY*. Recuperado el 18 de Febrero de 2014, de <http://es.thefreedictionary.com/cuezo>

IBARRA JACOME, O. A. (2013). *EVALUACIÓN TERMODINÁMICA Y ANÁLISIS MATEMÁTICO DE UN SISTEMA POLIÉDRICO SOLAR DE BAJA TEMPERATURA PARA SECADO RÁPIDO*. Quito.

Manrique Valadez, J. Á. (2005). *TRANSFERENCIA DE CALOR*. Mexico: Alfaomega.

MEDINA, J. (s.f.). *J.J. MEDINA*. Recuperado el 5 de Enero de 2014, de www.jjmedina.com.ec

Olavide, U. P. (s.f.). *upo.es*. Recuperado el 23 de Enero de 2014, de <http://www.upo.es/depa/webdex/quimfis/docencia/CA/CA-ProblemasTemas6-10corr.pdf>

Rodriguez, J. (s.f.). *AETA*. Recuperado el 5 de Enero de 2014, de http://www.aeta.org.ec/2do%20congreso%20cana/art_fabrica/Rodriguez,%20J%20Cocretos%20refractarios.pdf

Sustentables, S. A. (s.f.). *SOL ARQ*. Recuperado el 19 de Enero de 2014, de <http://www.sol-arq.com/index.php/caracteristicas-materiales/caracteristicas-basicas>

TANATOPEDIA. (s.f.). Recuperado el 8 de Enero de 2014, de <http://www.tanatopedia.net/index.php/Incineraci%C3%B3n>

WEISHAUPT. (s.f.). *Weishaupt Corp*. Recuperado el 8 de Enero de 2014, de <http://www.weishaupt-corp.com/mainProdukte/>

ACTA DE ENTREGA

El proyecto de titulación "DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN CREMATORIO PARA ANIMALES DOMÉSTICOS" fue entregado al Departamento de Eléctrica y Electrónica y reposa en la Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE, desde:

Sangolquí, 05 de Septiembre del 2014

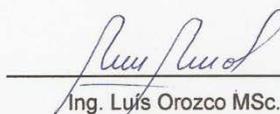
ELABORADO POR:



ENRIQUE FABRICIO CAZA ROBAYO

1713396388

AUTORIDAD:



Ing. Luis Orozco MSc.

**DIRECTOR DE LA CARRERA DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

