UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

"CARRERA DE MECÁNICA"

PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

"AUTOMATIZACIÓN DE UNA CÁMARA HIPERBÁRICA PARA EL TRATAMIENTO MÉDICO DE MASCOTAS PARA LA CLÍNICA SNAP DE LA CIUDAD DE AMBATO"

AUTORES: Erika Georgina Cárdenas Solis

Jefferson Raúl García Moreira

TUTOR: Ing. Jorge Enrique López Velástegui, Mg.

AMBATO - ECUADOR

Febrero – 2025

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor de Proyecto Técnico, previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, con el tema: **"AUTOMATIZACIÓN DE UNA CÁMARA HIPERBÁRICA PARA EL TRATAMIENTO MÉDICO DE MASCOTAS PARA LA CLÍNICA SNAP DE LA CIUDAD DE AMBATO"**, elaborado por la señorita **Erika Georgina Cárdenas Solis,** portadora de la cédula de ciudadanía C.I. 1805146618 y el señor **Jefferson Raúl García Moreira,** portador de la cédula de ciudadanía C.I. 0802788885, estudiantes de la Carrera de Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica.

Certifico:

- Que el presente Proyecto Técnico es original de sus autores.
- Ha sido revisado cada uno de sus capítulos componentes.
- Está concluido en su totalidad.

Ambato, febrero 2025



.....

Ing. Jorge Enrique López Velastegui Mg.

TUTOR

AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Nosotros, Erika Georgina Cárdenas Solis con C.I. 1805146618 y Jefferson Raúl García Moreira con C.I. 0802788885, declaramos que todas las actividades y contenidos expuestos en el presente Proyecto Técnico con el tema: **"AUTOMATIZACIÓN DE UNA CÁMARA HIPERBÁRICA PARA EL TRATAMIENTO MÉDICO DE MASCOTAS PARA LA CLÍNICA SNAP DE LA CIUDAD DE AMBATO"**, así como también las ideas de diseño, análisis, gráficas, conclusiones y recomendaciones son de nuestra exclusiva responsabilidad como autores del proyecto, a excepción de las referencias bibliográficas citadas en el mismo.

Ambato, febrero 2025

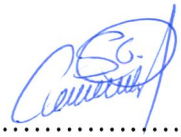
.....	.....
Erika Georgina Cárdenas Solis	**Jefferson Raúl García Moreira**
C.I. 1805146618	**C.I. 0802788885**
AUTOR	**AUTOR**

DERECHOS DEL AUTOR

Autorizamos a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este proyecto técnico o parte de él, un documento disponible para su lectura consulta y proceso de investigación, según las normas de la Institución.

Cedemos los Derechos en línea patrimoniales de nuestro Proyecto Técnico, con fines de difusión pública, además aprobamos la reproducción de este documento dentro de regulaciones de la Universidad, siempre y cuando esta reproducción no suponga una ganancia económica y se realice respetando nuestros derechos de autor.

Ambato, febrero 2025



.....

Erika Georgina Cárdenas Solis

C.I. 1805146618

AUTOR



.....

Jefferson Raúl García Moreira

C.I. 0802788885

AUTOR

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico, realizado por los estudiantes Erika Georgina Cárdenas Solis y Jefferson Raúl García Moreira, de la Carrera de Mecánica bajo el tema: "**AUTOMATIZACIÓN DE UNA CÁMARA HIPERBÁRICA PARA EL TRATAMIENTO MÉDICO DE MASCOTAS PARA LA CLÍNICA SNAP DE LA CIUDAD DE AMBATO**".

Ambato, febrero 2025

Para constancia firma:

.....	.....
Ing. Carlos Mauricio Carrillo Rosero, Mg.	**Ing. Oscar Iván Anualiza Maiza, Mg.**
MIEMBRO CALIFICADOR	**MIEMBRO CALIFICADOR**

DEDICATORIA

A Dios, fuente inagotable de fortaleza y sabiduría, quien me ha guiado en cada paso de este camino académico. Su presencia ha sido mi refugio en los momentos de dificultad y mi inspiración en los momentos de triunfo. Sin Su amor y gracia, este logro no habría sido posible. Dedico esta etapa de mi vida a Su infinita bondad, que siempre ha iluminado mi sendero.

A mis padres, por su amor incondicional y sacrificios constantes que han permitido que este sueño se haga realidad. Su apoyo ha sido el pilar fundamental de mi vida, brindándome no solo lo necesario para alcanzar mis metas, sino también el ejemplo de esfuerzo, perseverancia y humildad. Este logro es tanto mío como suyo, y les dedico esta tesis con gratitud eterna.

A mis hermanos, por su cariño, apoyo y comprensión en cada etapa de este viaje. Han sido mi refugio y mi inspiración, recordándome siempre la importancia de la unidad familiar. Sus palabras de aliento y su fe en mí me han dado fuerzas para superar los retos más difíciles. Les dedico este triunfo con todo mi corazón.

A mis amigos y compañeros, que han compartido conmigo momentos inolvidables a lo largo de esta travesía. Su compañía ha sido un bálsamo en los días complicados, y su entusiasmo ha encendido mi motivación para seguir adelante. Gracias por estar allí, apoyándome y celebrando cada pequeño avance conmigo. Este logro es también una victoria compartida con ustedes.

A mis profesores y mentores, quienes me han guiado con dedicación y paciencia en este proceso de aprendizaje. Sus enseñanzas han trascendido el aula y han dejado una huella imborrable en mi formación personal y profesional. Les dedico esta tesis como muestra de mi más profundo respeto y agradecimiento por haber sido luz y guía en este recorrido académico.

Erika Georgina Cárdenas Solis

DEDICATORIA

Este proyecto está dedicado, en primer lugar, a Dios, quien con su infinita bondad ha sido mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. A Él le debo la salud, la sabiduría, la fortaleza y la inteligencia que me han permitido superar cada obstáculo y alcanzar esta meta que tanto he anhelado.

A mis padres, Raúl García y Aurelia Moreira, quienes con su amor incondicional y sacrificios incalculables me han enseñado el verdadero significado del esfuerzo y la dedicación. Desde pequeño, me inculcaron valores como la honestidad, la perseverancia y el respeto, que han sido pilares fundamentales en mi vida. Su ejemplo de vida, lleno de entrega y dedicación, ha sido mi mayor inspiración.

A mis hermanos, mis compañeros de vida, quienes han estado conmigo en cada alegría y cada caída. Su apoyo incondicional, tanto emocional como económico, ha sido una bendición invaluable en este camino. Sus palabras de aliento y su confianza en mí me han dado la fuerza para continuar incluso en los momentos más complicados. Son un ejemplo de unidad y amor fraternal que llevo siempre en mi corazón.

A mis maestros, que no solo me impartieron conocimientos, sino que también me inspiraron a ser mejor cada día. Sus enseñanzas van más allá de lo académico, pues con su dedicación y vocación me mostraron que la educación tiene el poder de transformar vidas. Su paciencia, guía y ejemplo me motivaron a esforzarme y a superar mis propios límites.

Finalmente, a mis amigos, mis compañeros de batalla en esta carrera, con quienes compartí incontables momentos que guardaré por siempre en mi memoria. Gracias por su amistad, su presencia ha hecho de este viaje algo mucho más especial y significativo.

A todos ustedes, gracias. Este logro no es solo mío, sino también de cada uno de ustedes que me acompañaron y me apoyaron en este trayecto.

Jefferson Raúl García Moreira

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, quiero agradecer a Dios, quien ha sido mi guía y fortaleza en cada paso de este camino. Sin su infinita sabiduría y amor, nada de esto habría sido posible.

A mis padres, Erika Solís Flores y Alex Cárdenas Bayas, les dedico este logro con todo mi corazón. Gracias por su apoyo incondicional, su amor infinito y por enseñarme que con esfuerzo y perseverancia todo es alcanzable. Ustedes son mi mayor inspiración y guía en cada decisión y camino tomado.

A mis queridas hermanas, Karla y Sofía Cárdenas, gracias por ser mi refugio, mis confidentes y por motivarme siempre a seguir adelante. Por estar pendientes cada día de este proceso y de una u otra forma contribuir a que este logro sea alcanzado. Su cariño, compañía, colaboración y motivación han sido fundamentales en este proceso.

A la Universidad Técnica de Ambato, principalmente a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, por abrirme las puertas y ser el espacio en donde adquirí el conocimiento para poder enfrentar la vida profesional.

A mi tutor de tesis, el Dr. Jorge López, mi más profundo agradecimiento por su guía, paciencia y dedicación. Su experiencia y consejos han sido clave para el desarrollo de este trabajo.

A mi pareja, Leonardo Dueñas, gracias por tu amor, tu apoyo incondicional, tu comprensión y por ser mi compañero en las buenas y en las malas. Tu apoyo ha sido una fuente constante de motivación y empuje cuando a mí me faltaban fuerzas para seguir, por ser mi equipo en este camino.

A mi compañero de tesis, Raúl García, gracias por tu colaboración, compromiso y esfuerzo conjunto. Este proyecto no habría sido el mismo sin tu aporte y trabajo en equipo.

A mis amigos y todas las personas han estado en este proceso apoyándome con una mano amiga.

Erika Georgina Cárdenas Solis

AGRADECIMIENTO

En primer lugar, extiendo mi agradecimiento a Dios, cuya presencia constante me ha brindado la salud, fortaleza y determinación necesarias para culminar esta etapa tan importante de mi vida. Su guía ha sido un faro en los momentos de desafío.

A mis padres, les debo un reconocimiento especial por su amor incondicional y los sacrificios que realizaron para brindarme las oportunidades necesarias. Sus enseñanzas y valores han sido la base sobre la cual he construido este logro.

A mi familia en general, quienes con sus palabras de aliento y su confianza en mí han contribuido significativamente a mi desarrollo personal y académico. Su presencia ha sido una constante fuente de motivación.

A mis amigos y compañeros de clase, agradezco profundamente el compañerismo, el apoyo mutuo y los momentos compartidos que hicieron que este camino fuera más enriquecedor y llevadero. Su ayuda y ánimo han sido fundamentales para superar cada desafío.

A la Universidad Técnica de Ambato, en particular a la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, expreso mi gratitud por ser el espacio donde adquirí conocimientos valiosos y habilidades que formaron mi perfil profesional. También reconozco el esfuerzo del personal docente y administrativo, quienes con su dedicación garantizan una educación de calidad.

Finalmente, al Ing. Jorge López, agradezco su guía, asesoría y valiosos consejos durante el desarrollo de este proyecto. Su experiencia y dedicación fueron clave para alcanzar los objetivos propuestos y lograr este resultado.

Jefferson Raúl García Moreira

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL TUTOR ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN iii
DERECHOS DEL AUTOR iv
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO v
DEDICATORIA vi
DEDICATORIA vii
AGRADECIMIENTO viii
AGRADECIMIENTO ix
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS x
ÍNDICE DE FIGURAS xv
ÍNDICE DE TABLAS xvii
RESUMEN EJECUTIVO xviii
ABSTRACT xix
CAPÍTULO I 1
1. MARCO TEÓRICO 1
1.1 Antecedentes Investigativos 1
1.1.1 Justificación 2
1.1.2 Fundamentación teórica 4
1.1.2.1 Que es una cámara hiperbárica 4
1.1.2.2 Como es una cámara hiperbárica 6
1.1.2.3 Funcionamiento de una cámara hiperbárica 7
1.1.2.4 Tipos de cámaras hiperbáricas 7
1.1.2.5 Partes principales de una cámara hiperbárica 11
1.1.2.5.1 La cámara o zona principal 11
1.1.2.5.2 Antecámara 11

1.1.2.5.3 Panel de control 12
1.1.2.5.4 Camilla 13
1.1.2.6 Parámetros críticos que considerar en un tratamiento con cámara hiperbárica 13
1.1.2.7 Tratamiento hiperbárico 14
1.1.2.8 Efectos del tratamiento hiperbárico 17
1.1.2.9 Tamaños de mascotas que son tratadas en la cámara hiperbárica 18
1.1.2.10 Leyes físicas de los gases y sus respectivas ecuaciones para el cálculo de parámetros 18
1.1.2.12 Parámetros considerados para el control del tratamiento hiperbárica 28
1.1.2.13 Tipo de mascotas capaces de entrar en la cámara hiperbárica 29
1.1.2.14 Tipos de heridas y enfermedades 29
1.1.2.15 Tiempo de las sesiones de un tratamiento hiperbárico para mascotas 30
1.1.2.16 Eficiencia, ventajas y beneficios de la automatización de una cámara hiperbárica 30
1.1.2.17 Funciones avanzadas en las cámaras hiperbáricas modernas. 31
1.1.2.18 Implementación de la tecnología inteligente en tratamientos con cámara hiperbáricas 32
1.1.2.19 Interfaz con sistemas de datos médicos 32
1.1.2.20 Diseño de sistemas automatizados 33
1.1.2.21 Sistema de control de lazo cerrado 34
1.1.2.22 Controladores para automatización 35
1.1.2.23 Características de un sistema de automatizado de cámara hiperbárica 37
1.1.2.24 Dispositivos necesarios para la automatización de la cámara hiperbárica 38
1.1.2.25 Sistema de seguridad 42
1.2 Objetivos: 43

1.2.1 Objetivo General 43
1.2.2 Objetivos Específicos 44
CAPÍTULO II. 45
2 METODOLOGÍA 45
2.1 Materiales, equipos y herramientas 45
2.1.1 Listado de materiales para la automatización de la cámara hiperbárica 45
2.2 Métodos 48
2.2.1 Modalidad de investigación 48
2.2.2 Nivel o tipo de investigación 49
2.3 Procedimiento 49
2.3.1.1 Alternativas para selección de dispositivos para el sistema automatizado 51
2.3.1.1.1 Selección de la pantalla para el interfaz de usuario para el sistema automatizado de la cámara hiperbárica 51
2.3.1.1.2 Alternativas de los microcontroladores para el sistema automatizado de la cámara hiperbárica 55
2.3.1.1.3 Ponderación de alternativas 56
2.3.1.1.4 Selección del microcontrolador para la automatización de la cámara hiperbárica 56
2.3.1.1.5 Alternativas de las electroválvulas para entrada y salida del fluido .. 59
2.3.1.1.6 Ponderación de alternativas 59
2.3.1.1.7 Selección de las electroválvulas para entrada y salida del fluido. 60
2.3.1.1.8 Alternativas de los sensores para medir presión, temperatura, humedad y aire/gas 62
2.3.1.1.9 Ponderación de alternativas 63
2.3.1.1.10 Selección de los sensores para medir presión, temperatura, humedad y aire/gas 63
2.3.1.2 Diagrama de flujo para el diseño e implementación del sistema automatizado 64

2.2.3.3 Diagrama de flujo del sistema automatizado En el siguiente diagrama de flujo se muestra el proceso que lleva a cabo la automatización de la cámara hiperbárica, Fig. 24: 66

2.2.3.4 Diagrama de instalación del sistema automatizado 67

CAPÍTULO III. 68

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN 68

3.1 Análisis y discusión de los resultados 68

3.1.1 Cálculos de los parámetros para la automatización de la cámara hiperbárica 68

 Cálculo del volumen del tanque de oxígeno 68

 Cálculo de tiempo de presurización y despresurización 69

 Cálculo de temperatura: 71

 Cálculo del % oxígeno: 71

3.1.2 Cálculos de los parámetros para el prototipo que se utilizó como referencia 72

 Cálculo del volumen del tanque de oxígeno 72

 Cálculo de tiempo de presurización 72

 Cálculo de temperatura: 74

 Cálculo del % oxígeno: 75

3.3.1 Prueba de tiempo de presurización y despresurización del caso 120 minutos. 99

3.3.2 Prueba de tiempo de presurización y despresurización del caso 75 minutos. 100

3.3.3 Prueba de tiempo de presurización y despresurización del caso 35 minutos. 101

3.4 Recursos financieros para la automatización del prototipo de una cámara hiperbárica 105

CAPÍTULO IV. 107

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 107
4.1 Conclusiones 107
4.2 Recomendaciones 108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. La primera cámara hiperbárica. 1
Figura 2. Cámara hiperbárica para mascotas. 4
Figura 3. Cámara hiperbárica para uso veterinario. 5
Figura 4 . Cámara hiperbárica cilíndrica. 6
Figura 5. Interior de una cámara hiperbárica. 6
Figura 6. Ejemplos de cámara monoplaza. 8
Figura 7. Ejemplos de cámara monoplaza. 9
Figura 8. Modelo de cámara hiperbárica veterinaria. 9
Figura 9. Cámara hiperbárica de la Clínica SNAP. 11
Figura 10. Diseño de la antecámara de la cámara hiperbárica. 12
Figura 11. Panel de control de una cámara hiperbárica. 13
Figura 12. Proceso de respiración de oxígeno. 15
Figura 13. Caso exitoso de tratamiento hiperbárico. 16
Figura 14. Variación del tamaño de mascotas. 18
Figura 15. Mascotas con lesiones traumáticas y heridas. 29
Figura 16. Infecciones necrotizantes de los tejidos. 30
Figura 17. Implementación de tecnología inteligente en cámara hiperbárica. 32
Figura 18. Implementación de la tecnología en la medicina. 33
Figura 19. Representación graficar del sistema de lazo cerrado. 35
Figura 20. Diagrama de las conexiones con Arduino. 36
Figura 21. Arduino Mega 2560 R3. 37
Figura 22. Cámara hiperbárica monoplaza para mascotas. 42
Figura 23. Diseño de placa Arduino mega 2560. 57
Figura 24. Diagrama de flujo general 65
Figura 25. Diagrama de flujo del sistema automático. 66
Figura 26. Diagrama de instalación del sistema automatizado 67
Figura 27. Interfaz principal del editor Nextion. 76
Figura 28. Portada del interfaz de usuario. 76
Figura 29. Interfaz de selección de parámetros para inicio de tratamiento. 77
Figura 30. Interfaz de lectura y control de parámetros 77
Figura 31. Declaración de librerías. 78
Figura 32. Declaración de variables de entrada y salida. 79

Figura 33. Declaración de los botones de la pantalla Nextion. 79
Figura 34. Parámetros de inicio del sistema automatizado. 80
Figura 35. Condicione y funciones que se deben cumplir. 80
Figura 36. Lectura y calibración de datos del sensor. 81
Figura 37. Mandar los datos leídos a la pantalla Nextion. 81
Figura 38. Calculo y control de tiempo de tratamiento. 82
Figura 39. Función para el control de apertura y cierre de válvulas. 82
Figura 40. Funciones para controlar el tiempo de sesión. 83
Figura 41. Funciones para guardar parámetros de selección. 83
Figura 42. Función para la selección del tratamiento. 84
Figura 43. Funciones para el control de parámetros dentro de la cámara hiperbárica. 84
Figura 44. Funciones para controlar el tiempo durante el tratamiento. 85
Figura 45. Función para el sistema de seguridad para controlar la presión máxima. 85
Figura 46. Compresor de aire utilizado en las pruebas de funcionamiento y Barómetro inicial del compresor. 92
Figura 47. Portada de la interfaz de usuario. 93
Figura 48. Gráfica de la presión en función del tiempo. 94
Figura 49. Gráfica del oxígeno en función del tiempo 94
Figura 50. Gráfica de la temperatura en función del tiempo 95
Figura 51. Gráfica de la presión en función del tiempo. 96
Figura 52. Gráfica del oxígeno en función del tiempo 96
Figura 53. Gráfica de la temperatura en función del tiempo 97
Figura 54. Gráfica de la presión en función del tiempo. 98
Figura 55. Gráfica del oxígeno en función del tiempo 98
Figura 56. Gráfica de la temperatura en función del tiempo 99

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA I 16
TABLA II 27
TABLA III 45
TABLA IV 46
TABLA V 53
TABLA VI 53
TABLA VII 53
TABLA VIII 54
TABLA IX 55
TABLA X 56
TABLA XI 56
TABLA XII 59
TABLA XIII 60
TABLA XIV 62
TABLA XV 63
TABLA XVI 86
TABLA XVII 86
TABLA XVIII 87
TABLA XIX 87
TABLA XX 93
TABLA XXI 95
TABLA XXII 97
TABLA XXIII 105

RESUMEN EJECUTIVO

La cámara hiperbárica es una herramienta terapéutica innovadora que utiliza oxígeno a alta presión para acelerar procesos de recuperación en casos como heridas, infecciones, inflamaciones y otras patologías comunes en animales. Por esta razón se elabora la presente investigación para beneficio de la salud veterinaria.

El proyecto aborda la necesidad de optimizar el funcionamiento manual de la cámara hiperbárica mediante la integración de sensores, controladores, y un sistema de monitoreo que garantice la precisión en los parámetros críticos, como presión, temperatura y tiempo de tratamiento. Este enfoque permite incrementar la seguridad y efectividad del tratamiento, minimizando errores humanos y asegurando el bienestar de las mascotas durante el procedimiento. Para el desarrollo del sistema, se diseñó un prototipo basado en tecnologías como microcontroladores, sensores de presión y temperatura, y una interfaz gráfica amigable para el operador. La automatización también incluye mecanismos de seguridad, como alertas en tiempo real y un sistema de parada de emergencia en caso de fallos.

El resultado final es un prototipo de cámara hiperbárica automatizada que cumple con los estándares de calidad y seguridad necesarios, contribuyendo a la innovación en la atención veterinaria en la región. Además, este sistema no solo mejora la eficiencia operativa de la clínica, sino que también posiciona a la Clínica SNAP como pionera en el uso de esta tecnología en el ámbito veterinario en Ambato. Finalmente, se concluye que la implementación de la automatización no solo optimiza los tratamientos médicos, sino que también promueve un modelo de negocio sostenible y tecnológicamente avanzado en el sector veterinario.

Palabras clave: Automatización, Cámara Hiperbárica, Control de presión, Sensores, Microcontroladores, Sistema Automático.

ABSTRACT

The hyperbaric chamber is an innovative therapeutic tool that uses high-pressure oxygen to accelerate recovery processes in cases such as wounds, infections, inflammations, and other common pathologies in animals. For this reason, the present research has been developed for the benefit of veterinary health.

The project addresses the need to optimize the manual operation of the hyperbaric chamber by integrating sensors, controllers, and a monitoring system that ensures precision in critical parameters, such as pressure, temperature, and treatment time. This approach enhances the safety and effectiveness of the treatment, minimizes human errors, and ensures the well-being of pets during the procedure. For the development of the system, a prototype was designed based on technologies such as microcontrollers, pressure and temperature sensors, and a user-friendly graphical interface for the operator. The automation also includes safety mechanisms, such as real-time alerts and an emergency shutdown system in case of malfunctions.

The final result is an automated hyperbaric chamber prototype that meets the necessary quality and safety standards, contributing to innovation in veterinary care in the region. Additionally, this system not only improves the operational efficiency of the clinic but also positions SNAP Clinic as a pioneer in the use of this technology in the veterinary field in Ambato. Finally, it is concluded that the implementation of automation not only optimizes medical treatments but also promotes a sustainable and technologically advanced business model in the veterinary sector.

Keywords: Automation, Hyperbaric Chamber, Pressure Control, Sensors, Microcontrollers, Automated System.

CAPÍTULO I

1. MARCO TEÓRICO

TEMA:

AUTOMATIZACIÓN DE UNA CÁMARA HIPERBÁRICA PARA EL TRATAMIENTO MÉDICO DE MASCOTAS PARA LA CLÍNICA SNAP DE LA CIUDAD DE AMBATO

1.1 Antecedentes Investigativos

La idea de llevar a cabo un tratamiento de pacientes a través de aire comprimido en una cámara hiperbárica surge en 1662, esta cámara fue diseñada para tratar enfermedades por descompresión ocasiones en los mineros franceses, esta se puede ver ilustrada en la Fig. 1 más adelante [1]. En las últimas décadas el uso de la terapia de oxígeno hiperbárico (TOHB) ha crecido en la medicina humana y en un menor porcentaje en la veterinaria, ya que en ambas la oxigenoterapia hiperbárica se utiliza a menudo para tratar la fascitis necrosante, quemaduras, lesiones por aplastamiento y en las heridas infectadas y complicadas, los cuales necesitan de parámetros específicos para cada caso dentro de la cámara hiperbárica [2]. Aquí nace la importancia de la implementación de un sistema automatizado para regular parámetros críticos que ayudan a la recuperación del paciente de acuerdo con su estado médico, a una temperatura y ambiente confortable para el paciente.

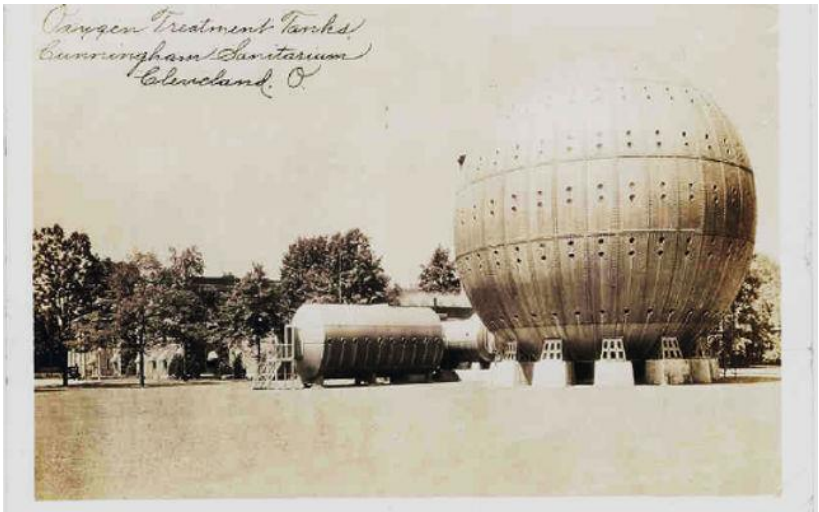


Figura 1. La primera cámara hiperbárica [1].

En los últimos tiempos, la medicina hiperbárica ha emergido como una opción terapéutica prometedora. Sin embargo, este enfoque terapéutico aún no se ha explorado completamente en el ámbito veterinario, especialmente en el tratamiento de mascotas. A medida que la medicina veterinaria avanza y se busca proporcionar mejores cuidados a los animales, surge la necesidad de adaptar la tecnología médica existente para su uso en el tratamiento de mascotas [2]. La automatización de estas cámaras podría ofrecer numerosos beneficios, como una administración más precisa de oxígeno, un monitoreo continuo de las condiciones ambientales y una mayor comodidad y seguridad para las mascotas durante el tratamiento.

Los sistemas automáticos de control de presión han sido desarrollados para garantizar que la presión dentro de la cámara se mantenga en niveles específicos y seguros durante las sesiones de tratamiento [3], [4]. La automatización en este contexto se ha centrado en mejorar la eficiencia operativa, garantizar la seguridad del paciente y proporcionar una mayor precisión en el control de los parámetros de tratamiento, esto es esencial para proporcionar la cantidad necesaria de oxígeno durante el proceso [3]. La automatización ha contribuido a mejorar los sistemas de seguridad e incluir la capacidad de programar sesiones de tratamiento, estableciendo así horarios específicos, también contar con funciones como la detección automática de fugas, sistemas de apagado de emergencia, alertas automáticas entre otras [3].

A medida que la medicina veterinaria ha avanzado, se han desarrollado equipos médicos especializados para tratar a los animales, incluidas cámaras hiperbáricas diseñadas específicamente para mascotas. Los avances en la tecnología de automatización han permitido la mejora de la precisión y la seguridad en el funcionamiento de equipos médicos, incluidas las cámaras hiperbáricas [3]. En resumen, la automatización de cámaras hiperbáricas para mascotas se basa en la investigación médica previa, el desarrollo de equipos médicos veterinarios especializados y los avances tecnológicos en automatización, todos impulsados por la demanda creciente de tratamientos veterinarios avanzados.

1.1.1 Justificación

Los tratamientos con cámaras hiperbáricas son poco conocidos en el mundo en general, por esta razón la mayoría de estos equipos no tienen un sistema automatizado, lo cual requiere una intervención constante de uno o varios operadores. Gracias a estos equipos la oxigenoterapia hiperbárica ayuda a exponer al cuerpo a presiones superiores a 1.4

atmósferas absolutas, con el cual el paciente se encontraría respirando un 90% a 100% de oxígeno aproximadamente dentro de la cámara, ayudando a la rápida recuperación del paciente [5]. A pesar de los beneficios que ayudan con la rehabilitación de los pacientes con heridas y enfermedades, persiste la falta de conocimiento sobre el tratamiento y el uso de estas cámaras, manteniendo aun el interés de seguir mejorando las tecnologías que abarcan los tratamientos hiperbáricos [5][6].

Alrededor mundo se ha considerado emplear métodos similares de oxigenoterapia según indicaciones hechas por las sociedades de medicina hiperbárica en Rusia y China, donde este tratamiento ha ganado un amplio apoyo más que en Estados Unidos, Europa y Oceanía. También se ha considerado la rentabilidad de este tipo de tratamiento, lo cual tienen un costo considerado para la implementación del tratamiento hiperbárico [7]. Para estos tratamientos se necesita tener en cuenta los parámetros críticos y necesarios de acuerdo con las características y estado de salud del paciente, ya que si no se controla dichos parámetros podría causar efectos secundarios y una mala recuperación del paciente [8].

El uso que se da a la cámara hiperbárica para el tratamiento médico en personas difiere en cierta medida con el tratamiento que se les da a los animales, ilustrado en la Fig. 2 La diferencia de presiones y la cantidad de oxígeno y CO2 varía dependiendo del tamaño, raza y estado de salud de la mascota, además de la velocidad y periodo del tratamiento [8]. Por esta razón existen varios factores y parámetros que debe cumplir la cámara hiperbárica para que cumpla su función sin perjudicar la salud del individuo [8]. En este caso, en la clínica SNAP de la ciudad de Ambato existe una cámara hiperbárica que no se encuentra automatizada, por ello es necesario realizar la automatización para mejorar el tratamiento médico de las mascotas de acuerdo con el cumplimiento de parámetros establecidos. Por lo tanto, este trabajo técnico tiene como objetivo principal automatizar una cámara hiperbárica para el tratamiento médico de mascotas para la clínica SNAP de la ciudad de Ambato.



Figura 2. Cámara hiperbárica para mascotas [9].

1.1.2 Fundamentación teórica

1.1.2.1 Que es una cámara hiperbárica

Las cámaras hiperbáricas son dispositivos médicos con espacio cerrado herméticamente diseñado para administrar oxígeno puro a una presión atmosférica elevada en un entorno controlado con fines terapéuticos. Esta terapia se conoce como oxigenoterapia hiperbárica y se utiliza para una variedad de condiciones médicas. Algunas de las enfermedades y lesiones que pueden tratarse con este enfoque incluyen [10]:

- **Heridas crónicas:** Lesiones que no cicatrizan adecuadamente, como úlceras por presión o úlceras en la piel [10].
- **Sordera súbita:** Una pérdida auditiva repentina que puede ser de origen desconocido o asociada con trauma acústico [10].
- **Intoxicación por monóxido de carbono:** La exposición al monóxido de carbono puede causar envenenamiento y daño tisular, y la terapia hiperbárica puede ayudar a eliminar el gas y mejorar la recuperación [10].
- **Lesiones por aplastamiento:** Traumatismos graves que pueden causar daño tisular y comprometer el suministro de oxígeno a los tejidos [10].
- **Escaras:** Úlceras en la piel que resultan de la presión prolongada en áreas del cuerpo, típicamente en personas con movilidad limitada [10].

- **Quemaduras térmicas agudas:** Lesiones causadas por la exposición al calor, que pueden beneficiarse de la oxigenación hiperbárica para mejorar la cicatrización y reducir el riesgo de infección [10].
- **Injertos de piel o colgajos comprometidos:** Procedimientos quirúrgicos donde el flujo sanguíneo a la piel injertada o trasladada está comprometido, lo que puede mejorar con la terapia hiperbárica [10].

Estas son solo algunas de las condiciones en las que se ha demostrado que la oxigenoterapia hiperbárica proporciona beneficios terapéuticos. La presión y concentración de oxígeno en la cámara hiperbárica se controlan cuidadosamente para optimizar la entrega de oxígeno a los tejidos afectados, lo que promueve la curación y la recuperación. Sin embargo, es importante que la terapia hiperbárica se administre bajo supervisión médica adecuada y como parte de un plan de tratamiento integral para cada paciente [10]. A continuación, en la Fig. se puede observar la mascota dentro de la cámara hiperbárica lista para aplicar el control y monitoreo pertinente.



Figura 3. Cámara hiperbárica para uso veterinario [11].

En esencia, una cámara hiperbárica es un contenedor sellado de estructura resistente, típicamente hecho de acero o aluminio, con una forma cilíndrica y fondos que pueden ser semiesféricos, toriesféricos o elípticos. Estos contenedores son capaces de contener diferentes mezclas de gases a presiones mucho más altas que la atmosférica en su interior. Además, una cámara hiperbárica debe estar equipada con los elementos y sistemas necesarios para regular y mantener la presión interna durante períodos prolongados [10].

1.1.2.2 Como es una cámara hiperbárica

Existen diversas variedades de cámaras hiperbáricas, comúnmente presentadas en formas cilíndricas o de cápsula como se muestra en la Fig. 1. Algunas son diseñadas para un solo paciente y se presurizan con oxígeno, mientras que otras, diseñadas para múltiples personas, así como la mostrada en la Fig. 2, donde los pacientes inhalan oxígeno mediante mascarillas o cascos especiales. Estas cámaras deben ser capaces de resistir una presión mínima de 1.5 ATA's y pueden ser construidas con diversos materiales como acero, aluminio o hormigón, incluyendo una sección transparente de acrílico especial. La presión interna en la cámara simula la que experimentaría un buzo a profundidades que varían entre los 5 y 20 metros [12].

Para ser considerado como un tratamiento en una cámara hiperbárica u oxigenoterapia, el paciente debe estar completamente dentro de la cámara y respirar oxígeno medicinal al 100% durante un lapso específico. Un simple incremento de presión sin la administración de oxígeno no cumple con los requisitos para ser considerado tratamiento en una cámara hiperbárica [12]. En las Fig. 4 y 5 se pueden ilustrar exterior y el interior de cámaras hiperbáricas respectivamente.



Figura 4 . Cámara hiperbárica cilíndrica [12].



Figura 5. Interior de una cámara hiperbárica [12].

1.1.2.3 Funcionamiento de una cámara hiperbárica

Este procedimiento se fundamenta en los principios físicos de los gases. Al incrementarse la presión al que se somete el oxígeno que el paciente inhala en forma gaseosa, se promueve su disolución en el plasma sanguíneo y en los fluidos corporales en general. Esto permite alcanzar la saturación de oxígeno en todas las células del cuerpo, particularmente en aquellas áreas afectadas por la deficiencia de oxígeno [12].

Sus orígenes se remontan al año 1662, aunque fue en 1948 cuando el experimento "Vida sin sangre" proporcionó fundamentos científicos y validó este tratamiento. Para conocer más sobre la historia de la cámara hiperbárica, se puede indagar más en el tema. En la actualidad, sus beneficios han sido reconocidos por instituciones como la SS, IMSS, ISSSTE, UNAM e IPN, así como por organismos internacionales como la UHMS (Undersea and Hyperbaric Medical Society) y el ECHM (Comité Europeo de Medicina Hiperbárica), entre otros [12].

La oxigenación hiperbárica implica la inhalación de oxígeno medicinal al 100% en un entorno con una presión mayor durante un período específico. Este tratamiento ofrece una variedad de beneficios para diversas condiciones médicas, así como también puede tener efectos preventivos. En estas circunstancias, el oxígeno inhalado tiene propiedades terapéuticas que pueden estimular la regeneración celular, fortalecer el sistema inmunológico y promover la estabilización y recuperación del paciente [12].

A pesar de algunas percepciones erróneas, la medicina hiperbárica no se clasifica como medicina alternativa. Más bien, forma parte de la medicina de ambientes especiales, la cual se centra en aplicar terapias bajo presiones superiores a la atmosférica. Este campo se integra con disciplinas como la medicina aeronáutica y cósmica, las cuales investigan los efectos de la disminución de la presión atmosférica y la ingravidez, respectivamente [12].

1.1.2.4 Tipos de cámaras hiperbáricas

Tipos de cámaras hiperbáricas. En la actualidad existen cuatro tipos de cámaras hiperbáricas: monoplaza, multiplaza de dos compartimentos, multiplaza modular y complejos hiperbáricos. Según su movilidad, las cámaras se diferencian en fijas, móviles, transportables y sumergibles, y en función de su empleo pueden ser terapéuticas (medicina hiperbárica), de adiestramiento para buzos o de investigación y experimentación tanto fisiológica como de materiales y técnicas de buceo profundo. Las móviles son para uso individual, pueden ser rígidas o telescópicas y normalmente pueden alcanzar presiones de

hasta 5 bar. Son ideales para utilizar como primeros auxilios y para el posterior traslado desde el lugar del accidente a una cámara fija de tratamiento [12].

Debido a que la intención de este proyecto es diseñar y proyectar una cámara de tipo fija, se procederá a estudiar las cámaras que se clasifican de acuerdo a la cantidad de pacientes; que son las monoplaza y multiplaza, profundizando el estudio en la última de ellas[12].

- **Cámara monoplaza**

Estos cilindros metálicos o fabricados con materiales que resisten la presión están equipados con ventanas para permitir la visibilidad dentro de ellos. Tienen capacidad para albergar a una sola persona y se llenan con oxígeno puro, permitiendo que el paciente respire libremente el aire dentro de la cámara. Una desventaja de estos dispositivos es que no hay posibilidad de asistir al paciente en caso de una reacción adversa al oxígeno u otra complicación, además de la posible aparición de claustrofobia en el paciente [12]. Una representación gráfica de la cámara monoplaza se puede observar en la Fig. 6:



Figura 6. Ejemplos de cámara monoplaza [12].

- **Cámara multiplaza.**

Estos cilindros metálicos pueden acomodar a dos o más personas y pueden incluir una antecámara, proporcionando ventanas para supervisar visualmente a los ocupantes. Se presurizan con aire comprimido para garantizar una mayor seguridad, y los pacientes inhalan oxígeno a través de una máscara facial o un dispositivo cefálico. El exceso de oxígeno se ventila hacia el exterior de la cámara mediante válvulas especiales de escape [13].

Comparadas con las cámaras monoplaza, estas cámaras multiplaza ofrecen ventajas significativas. En las cámaras multiplaza, los pacientes reciben acompañamiento durante su tratamiento por parte de un médico o un asistente capacitado, lo que reduce considerablemente la probabilidad de claustrofobia. Al ser presurizadas con aire, se reduce el riesgo de incendio y se proporciona un mayor control en caso de síntomas de intoxicación por oxígeno. Además, permite el monitoreo del paciente a través de equipos

externos y el tratamiento simultáneo de múltiples pacientes. En caso de que un paciente esté en estado crítico, es posible brindar asistencia desde el interior de la cámara [13].

Además, todas las cámaras pueden tener sistemas de acoplamiento estandarizados. Sin embargo, lo preferible para el tratamiento de accidentes de buceo profesional y recreativo son las multiplaza de dos compartimentos (cámara-antecámara), por la facilidad para la entrada y salida de personal médico durante los tratamientos [13]. En la Fig. 7 se puede observar el interior de una cámara hiperbárica multiplaza.



Figura 7. Ejemplos de cámara monoplaza [12].

- **Cámara hiperbárica veterinaria móvil V-890V**

Un ejemplar de cámara veterinaria es la Cámara Hiperbárica Veterinaria Móvil V-890V la cual representa un avance significativo en el ámbito de la medicina veterinaria. Este innovador dispositivo ofrece una solución portátil y eficaz para el tratamiento de diversas afecciones en animales, aprovechando los beneficios terapéuticos de la terapia hiperbárica. El modelo de esta cámara hiperbárica se puede apreciar en la Fig. 8.



Figura 8. Modelo de cámara hiperbárica veterinaria [14].

Configuración: Móvil

Tipo de animal: Razas de animales pequeños

Descripción:

Sistema de control computarizado inteligente, con pantalla táctil altamente sensible que permite completar todo el proceso de tratamiento hiperbárico animal con una sola pulsación [14].

- El cuerpo de la cámara de oxígeno está fabricado con acero inoxidable 304 de alta calidad, sometido a un tratamiento de pulido para obtener un acabado resistente a la presión y de alta durabilidad. Además de ser estéticamente atractivo, el acero inoxidable facilita la limpieza del equipo [14].
- Al utilizar un sensor avanzado de concentración de oxígeno de circonio y un sensor de presión, se garantiza una medición precisa y fiable de la concentración de oxígeno. Estos sensores tienen un amplio rango de detección, ofrecen una respuesta rápida y se ajustan de manera inmediata ante cambios graduales en la concentración de oxígeno, lo que asegura un control preciso del ambiente en cuestión de segundos [14].
- La apertura de la escotilla está protegida por un dispositivo de tornillo manual de seguridad, diseñado para garantizar la protección del operador de manera efectiva [14].
- La cámara de oxígeno y la base pueden separarse para facilitar su transporte e instalación, lo que brinda comodidad durante el proceso.
- El sistema de entrada y salida de gas está equipado con un dispositivo de filtrado de cabello, y en caso de emergencia, se puede liberar la presión manualmente.
- Para la oxigenoterapia hiperbárica en animales pequeños, se puede ajustar la presión entre 1.0 y 2.0 ATA y la concentración de oxígeno entre el 9% y el 95%, permitiendo un control estable y preciso de estos parámetros[14].
- La trampilla de acceso es estable y segura, mientras que el sistema eléctrico cuenta con un sistema de estabilización incorporado.
- El equipo tiene un bajo nivel de ruido, facilita la instalación y el mantenimiento, y presenta un diseño estético mejorado. Además, cuenta con un control de termostato que permite tanto el calentamiento como el enfriamiento, con una precisión de temperatura constante de 25 °C ± 2 °C para una eficiencia óptima [14].

1.1.2.5 Partes principales de una cámara hiperbárica

1.1.2.5.1 La cámara o zona principal

Es la sección más grande y puede tener diversas configuraciones. Incluye una puerta de acceso para entrar y salir. En su interior, suele contar con asientos y una camilla para el paciente y los médicos que lo asisten. Dispone de múltiples mascarillas para administrar oxígeno, así como iluminación y controles internos para su operación desde el interior. También cuenta con válvulas de seguridad para el vaciado, y a menudo presenta una esclusa presurizada para la introducción de alimentos o medicamentos desde el exterior sin necesidad de despresurizar la cámara. Estas cámaras están equipadas con sistemas de calefacción y prevención de incendios, así como cámaras de video de circuito cerrado y mirillas, que son pequeñas ventanas diseñadas para soportar altas presiones, para observar al paciente [15]. Esta cámara hiperbárica se muestra en la Fig. 9 a continuación.

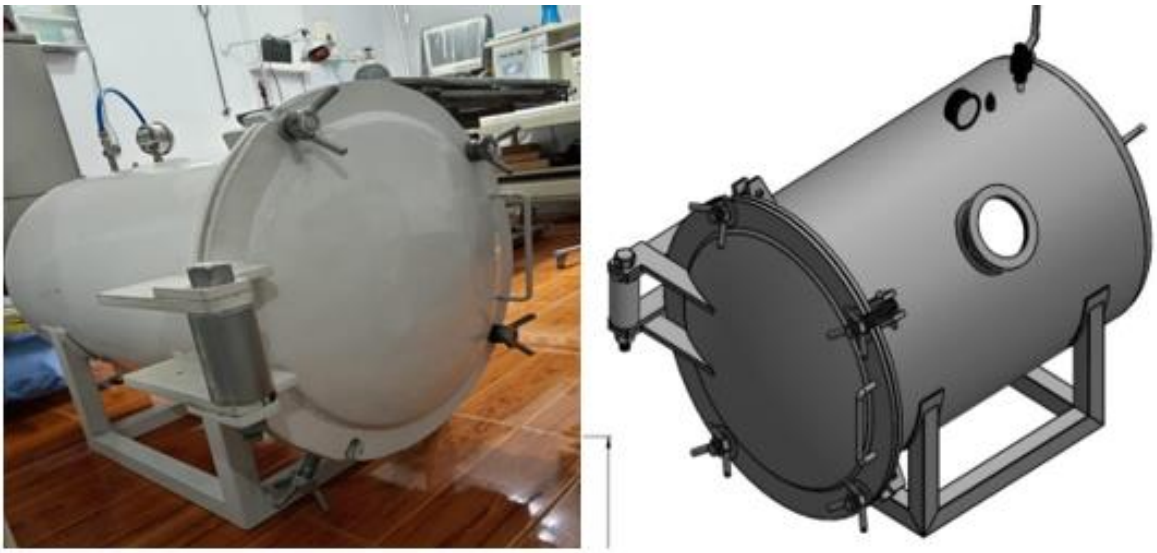


Figura 9. Cámara hiperbárica de la Clínica SNAP [15].

1.1.2.5.2 Antecámara

La mayoría de las cámaras hiperbáricas cuentan con un espacio adicional separado por una puerta de la zona principal, llamada antecámara. Esta antecámara puede ajustarse a la misma presión que la zona principal, lo que facilita el acceso o la salida del personal médico sin interrumpir el tratamiento del paciente. De esta forma, es posible entrar o salir del área principal sin necesidad de modificar la presión interna de la cámara o interrumpir el tratamiento en curso [15]. El diseño de esta antecámara se muestra en la Fig. 10.



Figura 10. Diseño de la antecámara de la cámara hiperbárica [15].

1.1.2.5.3 Panel de control

El centro de operaciones exterior de la cámara incluye un panel de control donde se puede monitorear y ajustar varios aspectos:

- Control de la presión y despresurización de la cámara y sus componentes mediante válvulas. Además, se regula la composición de los gases respirables dentro de la cámara, los cuales son suministrados desde una batería de grandes botellas. El sistema cuenta con varios compresores de alta capacidad para garantizar un suministro continuo de aire. Por seguridad, el sistema de aire está duplicado, con un sistema principal (compuesto por compresores, depósito de aire y filtros) y uno de respaldo (batería de botellas) [15].
- Monitoreo de la presión en cada compartimento mediante manómetros de precisión.
- Medición del tiempo de precompresión y tratamiento mediante cronómetros.
- Regulación de la ventilación de la cámara, especialmente crucial cuando se utiliza oxígeno, ya que su concentración no debe exceder el 25% debido al riesgo de inflamación y explosión. Se utilizan alarmas para alertar sobre cualquier superación de este porcentaje, y la regulación se realiza mediante caudalímetros, medidores de oxígeno y válvulas de ventilación[15].
- Implementación de sistemas de comunicación y observación interna.
- Control de la temperatura interna.
- Monitoreo de los niveles de CO_2, regulado mediante absorbentes de soda cáustica para eliminar el dióxido de carbono.
- Uso de decantadores, secadores frigoríficos y filtros para asegurar la calidad del aire [15].

En la Fig. 11 se muestra un panel de control de una cámara hiperbárica.

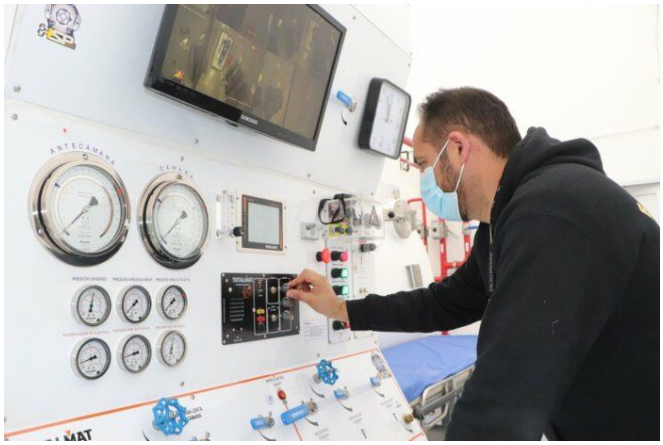


Figura 11. Panel de control de una cámara hiperbárica [16].

1.1.2.5.4 Camilla

La zona donde se coloca al paciente al ingresar a la cámara hiperbárica debe estar revestida con un material suave, como la goma espuma, para proporcionar comodidad durante el tratamiento. Esta área puede ser estacionaria o móvil, según los requisitos del sistema y las necesidades del paciente [15].

1.1.2.6 Parámetros críticos que considerar en un tratamiento con cámara hiperbárica

En un tratamiento de cámara hiperbárica, hay varios parámetros críticos que deben ser considerados para garantizar la seguridad y la eficacia del tratamiento. Estos parámetros incluyen:

Presión: La presión dentro de la cámara hiperbárica es un parámetro crítico ya que determina la cantidad de oxígeno disuelto en los fluidos corporales y los tejidos del paciente. La presión se mide típicamente en atmósferas absolutas (ATA) o en libras por pulgada cuadrada (psi). Es crucial controlar y mantener la presión dentro de rangos seguros y terapéuticos durante todo el tratamiento [17].

Tiempo de Exposición: La duración del tratamiento en la cámara hiperbárica es otro parámetro crítico. El tiempo de exposición puede variar según la condición médica del paciente y el protocolo de tratamiento específico prescrito por el médico. Demasiado tiempo de exposición puede aumentar el riesgo de efectos adversos, mientras que un tiempo insuficiente puede no proporcionar beneficios terapéuticos adecuados [17].

Oxígeno: La concentración de oxígeno dentro de la cámara hiperbárica es esencial para proporcionar los beneficios terapéuticos deseados. Es importante controlar y monitorizar la concentración de oxígeno para garantizar que esté dentro de los límites seguros y terapéuticos durante todo el tratamiento [17].

Temperatura y Humedad: La temperatura y la humedad dentro de la cámara hiperbárica deben ser controladas y mantenidas dentro de rangos cómodos y seguros para el paciente. El aumento de la temperatura y la humedad pueden causar molestias al paciente y aumentar el riesgo de deshidratación [17].

Seguridad y Monitoreo: Se deben considerar sistemas de seguridad y monitoreo adecuados para supervisar continuamente los parámetros críticos durante el tratamiento. Esto puede incluir alarmas para condiciones fuera de rango, sistemas de cierre de emergencia y personal capacitado para responder a situaciones de emergencia [18].

Estado del Paciente: El estado de salud y las condiciones médicas del paciente también son parámetros críticos que considerar. Es importante evaluar la idoneidad del paciente para el tratamiento en la cámara hiperbárica y monitorear cualquier cambio en su condición durante el tratamiento [17].

Considerar y controlar estos parámetros críticos es fundamental para garantizar la seguridad y la eficacia de los tratamientos en una cámara hiperbárica. Es importante que el personal médico y técnico esté adecuadamente capacitado y familiarizado con los protocolos de tratamiento y los procedimientos de seguridad [18].

1.1.2.7 Tratamiento hiperbárico

Los objetivos del tratamiento hiperbárico son mitigar la hipoxia celular al reducir y eliminar las burbujas embolizantes y las burbujas de nitrógeno. Para determinar el tipo de tratamiento necesario para un paciente, el personal médico debe evaluar tanto su estado como las circunstancias del accidente. Mediante el suministro de oxígeno a través de una mascarilla, se facilita la eliminación más rápida del nitrógeno al aumentar la presión parcial del oxígeno y disminuir la del nitrógeno. Esto oxigena todos los tejidos del paciente, lo que permite reducir el tiempo de tratamiento al evitar la saturación del organismo con nitrógeno, como ocurriría al respirar aire comprimido [12]. Una representación gráfica del proceso mencionado se puede observar en la Fig. 12.

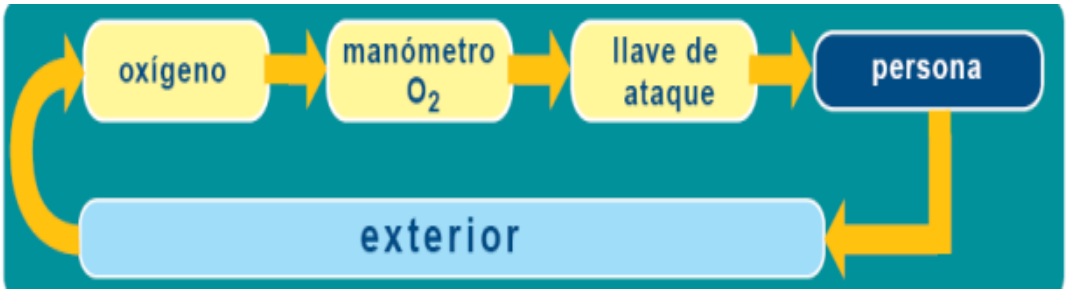


Figura 12. Proceso de respiración de oxígeno [12].

La terapia en la cámara hiperbárica veterinaria administra oxígeno al 100% a una presión controlada, lo que al igual que en los seres humanos, tiene efectos desinflamatorios y promueve la regeneración de los tejidos en los animales; esta unidad está presurizada a un mínimo de 1.4 atmósferas ATM. Este proceso no invasivo que ofrece una serie de beneficios significativos, tales como la aceleración en la respuesta inmune de la mascota, una mejora en la cicatrización de heridas, un estímulo al crecimiento de tejido nuevo, y una reducción en la hinchazón y la inflamación de las lesiones. El aumento de oxígeno en la circulación sanguínea de la mascota contribuye a combatir las infecciones de manera más efectiva, promoviendo así su salud y bienestar general. Este gas se transporta a la sangre y logra alcanzar incluso a los tejidos dañados [19], [20].

Algunas de las principales aplicaciones son las siguientes:

- Traumas óseos
- Enfermedades inflamatorias
- Gangrena gaseosa
- Post quirúrgicos
- Infecciones crónicas
- Heridas lesiones isquémicas y úlcera gástrica
- Lesión cutánea y muscular
- Quemaduras

El tratamiento en cámaras hiperbáricas reduce a la mitad el tiempo de recuperación tras una lesión y ofrece diversos beneficios adicionales. Este tratamiento mejora la plasticidad y contribuye a la recuperación de afecciones neurológicas como parálisis cerebral, accidentes cerebrovasculares, migrañas, autismo, traumatismos e hipoxias cerebrales [20]. Un caso exitoso realizado en la India se puede ver ilustrado en la Fig. 13 con tratamiento hiperbárico.



Figura 13. Caso exitoso de tratamiento hiperbárico [21].

Asimismo, la oxigenación hiperbárica es un recurso eficaz para frenar el deterioro neurológico asociado con enfermedades como Parkinson y Alzheimer. También ayuda a reducir el dolor y la inflamación en afecciones reumatológicas, lo que mejora de forma significativa la calidad de vida de pacientes con fibromialgia, artritis y artrosis [20].

Este tipo de tratamiento implica el uso de presiones superiores a las del nivel del mar. Las unidades comunes de presión incluyen milímetros de mercurio (mmHg), pulgadas de mercurio (inHg), libras por pulgada cuadrada (psi), entre otros. La presión puede expresarse como absoluta o manométrica. La presión manométrica se refiere a la presión dentro de un recipiente, como una cámara hiperbárica, considerando arbitrariamente cero la presión atmosférica. Por otro lado, la presión absoluta incluye tanto la presión dentro del recipiente como la presión atmosférica fuera de él; en el caso de la cámara hiperbárica, la presión absoluta sería la presión manométrica más la presión atmosférica [22]. Por lo general en medicina hiperbárica, la presión se suele manejar en atmósferas absolutas.

En la Tabla I se puede observar las equivalencias de las unidades más utilizadas en Medicina Hiperbárica:

TABLA I

COMPARACIÓN DE LAS PRESIONES [22].

Comparación de presiones					
Presiones absolutas			**Presiones de medidor**		
atm.abs	mmHg	bar	f s w	psi	atm
1	760	1.013	0	0	0

Presiones absolutas			Presiones de medidor		
2	1.520	2.026	33	14.7	1
3	2.280	3.039	66	29.4	2
4	3.040	4.052	99	44.1	3
5	3.880	5.065	132	58.8	4
6	4.560	6.078	165	73.5	5

- atm.abs=atmósferas absolutas
- mmHg=milímetros de mercurio
- bar=unidad de medida de presión (0.1MPa)
- fsw=pies de agua por pulgada cuadrada
- atm=atmósfera

1.1.2.8 Efectos del tratamiento hiperbárico

- **Efectos fisiológicos de la OHB:** Estos efectos dependen del aumento de presión ambiental y de la elevación de la presión parcial.
- **Efectos volumétricos:** Teniendo de base la Ley de Boyle-Mariotte la elevación de presión ambiental disminuye el volumen de todas las cavidades orgánicas que no están en contacto con las vías respiratorias tales como; la vejiga urinaria, tracto digestivo, órgano de la audición, etc. Este efecto puede ser reversible al restablecer la presión atmosférica, ya que todos los huecos que contienen aire en el interior del organismo, experimentaran la misma variación de volumen [23].
- **Efectos volumétricos:** Según la ley de Henry, al respirar oxígeno puro en un medio hiperbárico se puede evidenciar un aumento de la presión arterial de oxígeno que puede superar los 2000 mmHg, a un ambiente de 3 atmósferas absolutas. Por ende el volumen de oxígeno disuelto y transportado por el plasma puede aumentar más de 22 veces su volumen [23].

La terapia de oxigenación hiperbárica acelera la recuperación al incrementar la oxigenación de los tejidos lesionados. Este aumento de oxígeno en la sangre permite al cuerpo del animal combatir infecciones de manera más eficaz, promover la regeneración de tejido y disminuir la hinchazón y la inflamación asociadas con las lesiones [24].

Algunos parámetros que se puede aplicar en una cámara hiperbárica son los siguientes:

- Temperatura de trabajo: de entre 5 ºC a 40 ºC
- Presión máxima de trabajo: 3 ATA

- Velocidad de presurización: regulable de 1 a 5 psi/min o de 0.5 a 2.5 psi/min
- Ventilación durante el tratamiento: de entre 40 lts/min a 300 lts/min [25].

1.1.2.9 Tamaños de mascotas que son tratadas en la cámara hiperbárica

a. Mascotas Medianas

Las mascotas de tamaño mediano suelen pesar entre 10 y 25 kg y medir entre 30 y 45 cm de altura, con un ancho inferior a 17,78 cm (7 pulgadas), utilizando el mismo método de medición que para las mascotas pequeñas, como se ilustra en la Figura 17. En la Figura 18, se muestra la variación en el peso y tamaño de mascotas de diferentes razas. Según este gráfico, las medidas mencionadas están dentro del rango correspondiente [26].



Figura 14. Variación del tamaño de mascotas [26].

1.1.2.10 Leyes físicas de los gases y sus respectivas ecuaciones para el cálculo de parámetros

La composición del aire que respiramos generalmente consta de un 78% de nitrógeno, un 21% de oxígeno y otros gases raros. Según la Ley de Dalton, la presión total de una mezcla de gases es la suma de las presiones parciales de cada gas, expresada como Pt=P1+P2+P3+...+Pn, donde la Pt es la presión total. Por ejemplo, a nivel del mar, la presión parcial de nitrógeno sería de 592.8 mmHg, y la del oxígeno sería de 159.6 mmHg. En un ambiente hiperbárico, como a 2 atmósferas absolutas, las presiones parciales cambian, resultando en 1185.6 mmHg para el nitrógeno y 319.2 mmHg para el oxígeno. Si el aire ambiental se cambia por oxígeno puro, como en las cámaras hiperbáricas, la

presión parcial de oxígeno sería igual a la presión total, lo que provoca efectos fisiológicos beneficiosos en el organismo [22].

La ley de Henry establece que la solubilidad de un gas en un líquido es directamente proporcional a su presión parcial. Por lo tanto, a mayor presión parcial, más gas se disuelve en el líquido, y viceversa. Esto es crucial en la fisiopatología de la enfermedad por descompresión en buceadores, donde la disminución de la presión puede provocar la formación de burbujas de gas. La solubilidad de un gas también se ve afectada por la temperatura, con una relación inversamente proporcional: a menor temperatura, mayor solubilidad del gas. El coeficiente de solubilidad, representado por "k" en la fórmula Cg=kPg, es único para cada gas y modifica la forma en que los gases se comportan en una mezcla. Por ejemplo, el dióxido de carbono tiene un coeficiente de solubilidad mucho más alto que el oxígeno, lo que afecta la presión de oxígeno en pacientes con derivaciones pulmonares [23].

- **Ecuación universal de los gases**

La ecuación de gases ideales puede ayudar a determinar la presión, el volumen, la cantidad de moles o la temperatura de un gas siempre que dispongamos de los otros datos necesarios. Además, es esencial conocer la Constante general de los gases (R). A continuación, se presentará la siguiente ecuación:

$$PV = nRT \qquad (1)$$

Donde:

P: Es la presión absoluta

V: Es el volumen del gas

n: El número de Moles de gas

R: Es la constante universal de los gases ideales

T: Es la temperatura

- **Ley de Boyle:**

Esta establece que, a temperatura constante, el volumen de un gas es inversamente proporcional a su presión: si la presión aumenta, el volumen disminuye, y viceversa. Además, la densidad del gas varía directamente con la presión. Esta relación es especialmente significativa entre 100 kPa y 150 kPa, donde los cambios de presión generan los mayores cambios relativos en el volumen del gas. La ecuación de Boyle que se utilizar para el cálculo de la presión a temperatura constante es la siguiente:

$$P_1V_1 = P_2V_2 \quad (2)$$

Donde:

P_1: Presión inicial

V_1: Volumen inicial

P_2: Presión final

V_2: Volumen final

- **Ley de Gay-Lussac**

La ley de Gay-Lussac establece que la presión de un gas aumenta de manera directamente proporcional a su temperatura cuando el volumen es constante. La ley de los gases ideales, o ecuación universal de los gases, relaciona presión, volumen, temperatura y cantidad de gas en la siguiente fórmula:

$$\frac{P_1}{T_1} = \frac{P_2}{T_2} \quad (3)$$

Donde:

P_1: Presión inicial

T_1: Temperatura inicial

P_2: Presión final

T_2: Temperatura final

- **Ley de Charles**

La ley de Charles establece que, en un recipiente de volumen constante, un aumento de presión resulta en un aumento de temperatura y densidad. En una cámara hiperbárica, esto causa calentamiento durante la presurización y enfriamiento durante la despresurización. El gas se calienta durante la compresión y luego se enfría a temperatura ambiente, lo que requiere ajustes de presión por parte del operador para mantener niveles terapéuticos adecuados. Esta ley ayuda para el control de temperatura y la ecuación que se usa es la siguiente:

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad (4)$$

Donde:

V_1: Presión inicial

T_1: Temperatura inicial

V_2: Presión final

T_2: Temperatura final

- **Ley de Dalton de la presión parcial**

La ley de presión parcial de Dalton establece que, en una mezcla de gases, cada gas ejerce una presión proporcional a su porcentaje en la mezcla. En otras palabras, la presión total de la mezcla es igual a la suma de las presiones parciales de cada gas individual. La ecuación que establece esta ley de la presión parcial es la siguiente:

$$P_{total} = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n \quad (5)$$

Donde:

P_{total}: Es la presión total de toda la mezcla de gases

$P_1 + P_2 + P_3 + \cdots + P_n$: Son las presiones parciales de cada gas

- **Leyes de Fick**

La Primera ley de Fick identifica variables clave para la difusión del gas: la superficie del área de difusión, el espesor de la barrera de difusión y la presión parcial del gas. La Segunda ley de Fick establece que el tiempo de difusión depende del tamaño molecular, permitiendo que las moléculas de gas más pequeñas se difundan más rápido. Esto es especialmente relevante entre 100 KPa y 150 KPa, donde los cambios de presión afectan significativamente el volumen. La ecuación para la difusión de los gases es la siguiente:

$$J = -D\left(\frac{d\phi}{dx}\right) \quad (6)$$

Donde:

J: Es el flujo de difusión

D: Es el coeficiente de difusión

ϕ: Es la concentración del gas

x: Es la distancia

- **Ley de Henry**

La ley de Henry establece que la cantidad de un gas disuelto en un líquido es directamente proporcional a la presión del gas, siempre que no reaccione con el solvente. Esta relación se expresa con la constante de solubilidad, conocida como coeficiente de la ley de Henry (k), que indica que la solubilidad de los gases es mayor en líquidos fríos. Esto es crucial porque la solubilidad de gases inertes, como el nitrógeno, en líquidos y tejidos del cuerpo depende de la presión, siendo un factor esencial en la enfermedad por descompresión (DCS) debido a la sobresaturación de los tejidos al reducirse la presión ambiental. La ecuación de la ley de Henry es la siguiente:

$$C = kP \quad (7)$$

Donde:

C: La concentración del gas

k: Constante para un gas específico y un disolvente a una temperatura específica

P: La presión del gas que se encuentra en contacto con la disolución

- **Ecuación para cálculo del volumen de un cilindro**

Se necesita el volumen de un cilindro se calcula multiplicando el área de su base por altura. Esto es necesario al calcular el tiempo de presurización.

$$V = \pi * r^2 * h \tag{8}$$

Donde:

V: Volumen del cilindro

r: Es el radio de la base del cilindro

h: Es la altura del cilindro

- **Diferencia de presión (ΔP)**

La diferencia de presión, representa el cambio o variación de presión entre dos puntos en un sistema. Es un concepto fundamental en fluidodinámica, ingeniería y sistemas presurizados como cámaras hiperbáricas.

$$\Delta P = P_{sal} - P_{ext} \tag{9}$$

Donde:

ΔP: Es la diferencia de presión

P_{sal}: Es la presión de salida

P_{ext}: Es la presión exterior

- **Relación entre velocidad y pérdida de presión (Darcy-Weisbach)**

La relación entre la velocidad del flujo y la pérdida de presión en una tubería se describe a través de la **ecuación de Darcy-Weisbach**, que es una herramienta fundamental en la hidráulica y la mecánica de fluidos.

$$v = \sqrt{\frac{2*\Delta P}{\rho*\left(1+f*\frac{L}{d}\right)}} \tag{10}$$

Donde:

v: Es la velocidad del fluido

ΔP: Es la diferencia de presión

ρ: Es la densidad del fluido

f: Es el factor de fricción

L: Es la longitud de la tubería

d: Es el diámetro de la tubería

- **Ecuación para el cálculo del número de Reynolds**

El número de Reynolds es un parámetro adimensional que caracteriza el régimen de flujo en función de la relación entre las fuerzas inerciales y viscosas en un fluido. Su fórmula general es:

$$Re = \frac{\rho * v * d}{\mu} \tag{11}$$

Donde:

Re: Es el número de Reynolds

ρ: Es la densidad del fluido

v: Es la velocidad del fluido

d: Es el diámetro de la tubería

μ: Es la viscosidad del fluido

- **Ecuación para el cálculo del factor de fricción**

El factor de fricción en la ecuación de Darcy-Weisbach puede aproximarse utilizando la fórmula de Blasius para flujos turbulentos en tuberías lisas, siempre que el número de Reynolds se encuentre dentro de un rango específico.

$$f = 0.079 * Re^{-0.25} \tag{12}$$

Donde:

f: Es el factor de fricción

Re: Es el número de Reynolds

- **Ecuación para el cálculo de caudal**

El cálculo del caudal en un sistema fluido es esencial para determinar la cantidad de fluido que pasa a través de una tubería o conducto en un tiempo determinado. Puede calcularse en términos volumétricos o másicos, dependiendo de las necesidades del sistema.

$$Q = A * v \tag{13}$$

Donde:

Q: Es el caudal del fluido

A: Es el área transversal de salida

v: Es la velocidad del fluido

- **Ecuación para el cálculo del tiempo de presurización**

Para determinar el tiempo necesario para alcanzar una presión específica, se pueden utilizar fórmulas basadas en la dinámica de fluidos y la física de los gases.

$$t = \frac{V}{Q} \tag{14}$$

Donde:

t: Es el tiempo de llenado

V: Es el volumen a llenar

Q: Es el caudal del fluido

Donde:

- **Ecuación para el cálculo de temperatura**

Para el cálculo de la temperatura es necesario comprender en que proceso se ejecutara la compresión. En este caso es el proceso politrópico el cual es un modelo versátil que se adapta a una amplia gama de situaciones termodinámicas que incluyen tanto compresión como expansión de gases reales, con un control parcial del calor.

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \tag{15}$$

Donde:

T_2: Es la temperatura final

T_1: Es la temperatura inicial

P_1: Es la presión inicial

P_2 Es la presión final

n: Es el coeficiente politrópico

- **Composición del aire y características de los gases**

El aire se compone de varios gases que tienen sus correspondientes porcentajes de la totalidad del aire. A continuación, se presentarán cuales gases componen el aire y sus características:

- **Oxígeno:** El oxígeno es un gas incoloro, inodoro e insípido, constituyendo el 21% de la atmósfera y es el segundo componente más abundante de la corteza terrestre. Su alta electronegatividad le permite combinarse con casi todos los elementos en un proceso conocido como oxidación. Aunque no es inflamable por sí mismo, el oxígeno facilita la combustión. Estudios han demostrado que respirar oxígeno puro a presión atmosférica normal (hiperoxia normobárica) mejora el rendimiento físico. En capítulos siguientes se explorarán más efectos de este gas esencial [27].
- **Nitrógeno:** El nitrógeno es un elemento químico con el símbolo N y el número atómico 7. Es un gas incoloro, inodoro e insípido que forma el 78% de la atmósfera terrestre. Al ser un gas inerte, el nitrógeno no participa en las reacciones de combustión bajo condiciones normales, lo que reduce el riesgo de incendios y explosiones. El nitrógeno actúa como un gas diluyente para el oxígeno, lo que ayuda a regular la combustión y la respiración [27].
- **Xenón:** El xenón es un gas noble y es uno de los componentes más raros en la atmósfera terrestre. Aunque está presente en cantidades muy pequeñas, tiene propiedades y aplicaciones únicas. El xenón constituye aproximadamente 0.0000087% del volumen de la atmósfera terrestre. El xenón es un gas en condiciones normales de temperatura y presión, se obtiene a través de la destilación fraccionada del aire líquido, proceso en el cual el aire se licúa y sus componentes se separan en función de sus diferentes puntos de ebullición [27].
- **Neón:** El neón es otro gas noble presente en la atmósfera terrestre, aunque en cantidades bastante pequeñas. El neón constituye aproximadamente 0.0018% del volumen de la atmósfera terrestre, es extremadamente inerte y no reacciona fácilmente con otros elementos o compuestos [27].

- **Hidrógeno:** El hidrógeno es el elemento más ligero y el más abundante en el universo, aunque en la atmósfera terrestre se encuentra en muy pequeñas cantidades. Muy raro en la atmósfera terrestre, con una concentración de aproximadamente 0.00005% en volumen. El hidrógeno es un elemento esencial y, cuando se usa como fuente de energía en celdas de combustible, produce agua como único subproducto, lo que lo hace una opción de energía limpia. Sin embargo, su producción a partir de combustibles fósiles puede generar dióxido de carbono y otros contaminantes [27].
- **Helio:** El helio es un gas noble y el segundo elemento más ligero y abundante en el universo, después del hidrógeno. El helio es un gas inerte y no tiene efectos negativos significativos en el medio ambiente, su inercia química y propiedades físicas lo hacen valioso en diversas tecnologías, desde la criogenia hasta la medicina y la industria aeroespacial. A pesar de su rareza en la atmósfera terrestre, el helio sigue siendo crucial para muchas aplicaciones avanzadas [27].
- **Criptón:** Es un elemento químico que pertenece al grupo de los gases nobles en la tabla periódica. El criptón es uno de los gases nobles más pesados y su inercia química lo convierte en un gas valioso para ciertas aplicaciones industriales y tecnológicas. Sin embargo, debido a su baja abundancia natural, es relativamente escaso y costoso en comparación con otros gases nobles como el helio o el neón [27].
- **Dióxido de carbono:** Es un compuesto químico formado por dos átomos de oxígeno y un átomo de carbono. Es un gas incoloro, inodoro y no inflamable a temperatura y presión ambiente. es un gas muy importante en diversos procesos biológicos, industriales y ambientales. Su producción y emisión están estrechamente relacionadas con el uso de combustibles fósiles y la deforestación, lo que ha llevado a un aumento de su concentración atmosférica y a preocupaciones sobre el cambio climático. Es un gas que se produce naturalmente en la combustión de materiales orgánicos, la respiración de los seres vivos y algunos procesos industriales [27].

1.1.2.11 Datos específicos obtenidos del diseño de la cámara hiperbárica de la clínica SNAP.

En la siguiente Tabla II se muestran los resultados del funcionamiento del diseño del prototipo, para ello se hizo uso de una presión de prueba de Pp=2,2 atm (32.33 psi) [15].

TABLA II

DATOS DEL FUNCIONAMIENTO DEL DISEÑO DE LA CÁMARA HIPERBÁRICA [15].

N°	Tiempo (min)	Presión alcanzada (psi)	Falla	Corrección	Fotografías
1	2	14	Fuga en la soldadura de la contratapa y el manto cilíndrico	Pulir el lugar afectado y volver a soldar	Anexo 13
2	7	26	Fuga en el empaque de la compuerta	Cambio de empaque de 25x5 mm	Anexo 14
3	5	20	Fuga en el tapón de acero inoxidable de ¼	Cambio de tapón por uno de acero galvanizado de ¼	Anexo 15
4	3	14	Fuga en la soldadura del borde de la ventana	Pulir y soldar la parte afectada	Anexo 16
	4	15	Fuga en el empaque de la ventana	Cambio de empaque de 8x8 mm EPDM	Anexo 17

N°	Tiempo (min)	Presión alcanzada (psi)	Falla	Corrección	Fotografías
5	1	15	Fuga en el empaque de la compuerta	Cambio de empaque de 20x5 mm y para el sellado se usa el pegamento ABRO GREY 999	Anexo 18
6	5	15	Ninguno	Ninguno	Anexo 19
	10	18	Ninguno	Ninguno	Anexo 12
	15	21	Ninguno	Ninguno	Anexo 21
	20	24	Ninguno	Ninguno	Anexo 22
	25	27	Ninguno	Ninguno	Anexo 23
	30	30	Ninguno	Ninguno	Anexo 24
	60	32	Ninguno	Ninguno	Anexo 25

1.1.2.12 Parámetros considerados para el control del tratamiento hiperbárica

En una terapia hiperbárica para mascotas, varios parámetros deben ser controlados cuidadosamente para garantizar la seguridad y eficacia del tratamiento. Algunos de los parámetros clave a controlar incluyen [28], [29]:

- Presión: la presión dentro de la cámara hiperbárica debe ser controlada y ajustada de acuerdo con el protocolo de tratamiento específico y las necesidades individuales de la mascota.
- Tiempo de exposición: La duración de cada sesión de tratamiento, así como el número total de sesiones, deben ser controlados y supervisados por un veterinario especializado en medicina hiperbárica.
- Concentración de oxígeno: La concentración de oxígeno dentro de la cámara hiperbárica debe ser controlada para asegurar que se mantengan en niveles seguros y terapéuticos durante todo el tratamiento.
- Temperatura: La temperatura dentro de la cámara hiperbárica debe ser monitoreada y mantenida dentro de un rango seguro y confortable para la mascota.

- Humedad: La humedad dentro de la cámara también debe ser controlada y ajustada según sea necesario para evitar la deshidratación de la mascota.
- Iluminación: es un parámetro que puede ayudar a la comodidad de la mascota y evitar una gran cantidad de ansiedad [29].

1.1.2.13 Tipo de mascotas capaces de entrar en la cámara hiperbárica

Las cámaras hiperbáricas pequeñas están diseñadas principalmente para uso de mascotas pequeñas, como pueden ser perros, gatos, conejos, aves, hurones, etc. Algunas de las razas de perros que son capaces de entrar cómodamente en una cámara hiperbárica pequeña son las siguientes; Yorkshire Terrier, Chihuahua, Bulldog Francés, Pomerania, Caniche, Beagle, entre otras. Con respecto a los gatos, la mayoría son capaces de entrar sin inconveniente a la cámara al igual que el resto de las mascotas [30].

1.1.2.14 Tipos de heridas y enfermedades

Las mascotas pueden entrar en una cámara hiperbárica para una variedad de condiciones médicas y heridas. Algunas de las condiciones más comunes que se tratan en la oxigenoterapia hiperbárica para mascotas son las siguientes:

- Heridas traumáticas: son por lo general heridas causadas por accidentes, mordeduras u otros [30].
- Quemaduras: son muy comunes al tratar en una cámara hiperbárica.
- Infecciones: mayormente son las infecciones bacterianas, fúngicas o virales.
- Enfermedades neurológicas: algunas condiciones neurológicas en las mascotas son las parálisis o lesiones de la médula espinal [30].

Las herid.as y enfermedades más comunes que son tratadas en la clínica SNAP mediante la cámara hiperbárica son las heridas traumáticas, quemaduras e infecciones. Estas se muestran en las Fig. 15 y 16.



Figura 15. Mascotas con lesiones traumáticas y heridas [31].



Figura 16. Infecciones necrotizantes de los tejidos [32].

1.1.2.15 Tiempo de las sesiones de un tratamiento hiperbárico para mascotas

El tiempo de las sesiones en un tratamiento hiperbárico para mascotas puede variar dependiendo de varios factores, incluyendo la condición médica que se está tratando, la gravedad de la enfermedad o lesión, y el protocolo específico recomendado por el veterinario. Generalmente, las sesiones en una cámara hiperbárica para mascotas suelen durar entre 30 minutos a 2 horas. Sin embargo, es importante destacar que la duración exacta de cada sesión y el número total de sesiones necesarias pueden variar de un caso a otro. El veterinario especializado en medición hiperbárica determinará el tiempo de cada sesión basándose en la respuesta individual de la mascota al tratamiento, así como en los objetivos terapéuticos específicos que se están buscando. Además, el veterinario supervisa la evolución de la mascota durante todo el proceso para asegurarse de que el tratamiento sea seguro y efectivo [30].

1.1.2.16 Eficiencia, ventajas y beneficios de la automatización de una cámara hiperbárica

El tratamiento en la cámara hiperbárica es un procedimiento bio-seguro que presenta un riesgo mínimo tanto para el paciente como para el operador. Durante la sesión en la cámara, se aplican presiones de tratamiento que resultan en una reducción de la excitabilidad neuronal, lo que genera una sensación de relajación para el individuo. La duración y la frecuencia de las sesiones pueden variar y comúnmente son indicadas por el profesional Médico veterinario para obtener la máxima eficiencia en el tratamiento, por lo cual el operador debe estar siempre al pendiente tanto del tiempo como del número de sesiones que este necesite; es aquí donde entra la automatización del interfaz de usuario de la cámara que nos aportan con beneficios significativos [20].

La tecnología de las cámaras hiperbáricas de oxígeno ha evolucionado considerablemente. Antes, estas cámaras se encontraban casi exclusivamente en hospitales y centros médicos, pero ahora existen versiones más portátiles y fáciles de usar. Gracias a estos avances, el tratamiento con oxígeno hiperbárico es más accesible y se puede realizar no solo en entornos clínicos veterinarios, sino también en el hogar [20].

1.1.2.17 Funciones avanzadas en las cámaras hiperbáricas modernas.

Sistemas de control automatizados: La implementación de sistemas automáticos para regular la presión y el oxígeno garantiza un tratamiento más seguro y preciso. Estos sistemas pueden modificar los niveles según las necesidades particulares de cada paciente, reduciendo la probabilidad de errores humanos y proporcionando un entorno terapéutico más confiable [20].

Funciones de seguridad mejoradas: Incorporar sistemas de cierre de emergencia, intercomunicadores y estructuras reforzadas aumenta considerablemente la seguridad del paciente. Esto es crucial en contextos de alta presión, permitiendo una respuesta rápida en caso de emergencia para proteger a quienes están en tratamiento [20].

Mayor comodidad: Los diseños ergonómicos, junto con camas ajustables, brindan al paciente una experiencia más confortable durante el tratamiento. Además, el control de temperatura es un factor clave, ya que contribuye a mantener un ambiente cómodo incluso con cambios de presión [20].

Portabilidad: El diseño de cámaras hiperbáricas más ligeras y portátiles es un progreso importante, facilitando que la TOHB se pueda realizar fuera del entorno clínico convencional. Esto es especialmente beneficioso para pacientes que requieren tratamiento a largo plazo o tienen dificultades para desplazarse [20].

Diseños transparentes y espaciosos: Los modelos que utilizan materiales transparentes y ofrecen interiores más amplios disminuyen el riesgo de claustrofobia, que puede ser un problema para algunos pacientes. Estos diseños también facilitan la interacción visual con el personal médico, ayudando al paciente a sentirse menos aislado durante el tratamiento [20].

El desarrollo de cámaras hiperbáricas ha revolucionado, estas cámaras han hecho que la terapia sea accesible a una gama más amplia de usuarios. os sistemas avanzados de suministro de oxígeno aseguran que los pacientes obtengan la concentración ideal de

oxígeno, mientras que los mecanismos de control de presión de última tecnología permiten ajustes precisos según las necesidades médicas concretas [20].

1.1.2.18 Implementación de la tecnología inteligente en tratamientos con cámara hiperbáricas

El porvenir de la tecnología de cámaras TOHB ofrece desarrollos alentadores. Podemos anticipar avances significativos en automatización, seguridad y comodidad del usuario, además de una mayor integración con otras tecnologías y tratamientos médicos. Esto incluye cámaras automatizadas diseñadas para condiciones específicas o datos demográficos del paciente, personalizando e incrementando aún más la eficacia del tratamiento [20].

A medida que se expandan las aplicaciones en las cámaras de oxígeno hiperbáricas las características como la monitorización remota, los controles digitales y la compatibilidad facilitarán la interacción del usuario y permitirán un seguimiento más efectivo del avance de la terapia [20]. La implementación de esta tecnología se representa en la Fig. 17 a continuación.

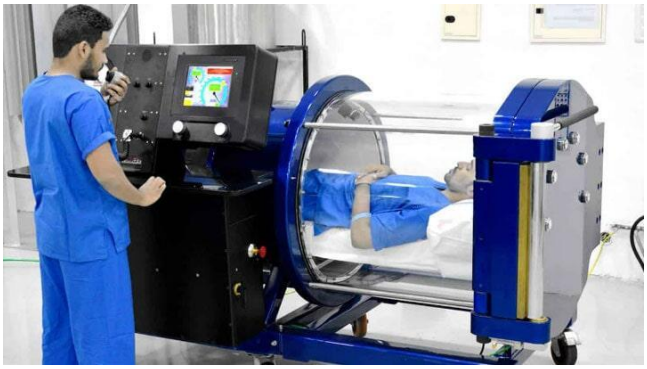


Figura 17. Implementación de tecnología inteligente en cámara hiperbárica. [33].

1.1.2.19 Interfaz con sistemas de datos médicos

La implementación de un interfaz con sistemas de datos médicos más amplios permite realizar un mejor seguimiento y planes de tratamiento más personalizados, además el análisis de datos de la terapia sin necesidad de una atención médica constante; esta integración no solo mejora los resultados terapéuticos, sino que también optimiza la gestión global de la atención al paciente. En la evolución de estas cámaras el incluir materiales ligeros, duraderos y biocompatibles hace que las cámaras sean más seguras y

cómodas, así también como materiales más resistentes a la presión y exposición al oxígeno [3].

Los continuos avances en la tecnología de las cámaras hiperbáricas impulsarán la terapia con oxígeno hiperbárico hacia una nueva era de atención médica, estas innovaciones ampliarán el alcance de las afecciones tratables mediante TOHB. A medida que estas tecnologías sigan evolucionando existirá una mayor demanda de programas de educación y capacitación integrales, tanto para profesionales médicos como para usuarios domésticos. Estos programas son esenciales para asegurar un manejo seguro y eficiente de las cámaras, especialmente cuando incorporan funciones más sofisticadas. Una formación adecuada será clave para obtener el máximo provecho de las tecnologías avanzadas de TOHB [3]. En la Fig. 18 a continuación se puede ilustrar la implementación de la tecnología en la rama de la medicina.



Figura 18. Implementación de la tecnología en la medicina [34].

1.1.2.20 Diseño de sistemas automatizados

Existen varios software que podrían ayudar en el diseño del sistema automatizado, uno que destaca por su anterior utilización en automatizaciones de cámaras hiperbáricas es LabVIEW el cual según [35] es un entorno de desarrollo que simplifica la programación para ingenieros y científicos, utilizando una sintaxis gráfica. Es altamente adaptable y puede utilizarse en diversas áreas, como adquisición de datos y control de equipos e instrumentos. Sus características destacables incluyen la integración con hardware, la portabilidad de las aplicaciones desarrolladas y su capacidad para aumentar la productividad al ofrecer un entorno de desarrollo unificado.

Las características más notables que hacen que LabVIEW sea ideal para el desarrollo de aplicaciones incluyen:

- Su lenguaje simplifica la programación al ocultar la complejidad de bajo nivel y al integrar todas las herramientas necesarias en un solo entorno de desarrollo unificado.
- Ofrece una integración fluida con una amplia gama de hardware, lo que ahorra tiempo de desarrollo gracias a sus características adecuadas y su estructura de programación coherente. Se integra perfectamente con múltiples tipos de instrumentos, buses y sensores.
- Las aplicaciones desarrolladas en LabVIEW son altamente portátiles y pueden ejecutarse en cualquier ordenador sin problemas [35].

Además, también se puede aplicar un sistema de control llamado DAQ, que según [35] es un sistema que ayuda a controlar las electroválvulas y bombas a través de un programa de control y para poder leer e interpretar en cualquier momento el valor del sensor de presión. Sabiendo que la adquisición de datos (DAQ) implica la medición de fenómenos eléctricos o físicos, como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido, utilizando un ordenador personal. Un sistema de adquisición de datos consta de sensores, hardware de medición DAQ y un ordenador con software programable. El sistema de control automático para cámaras hiperbáricas multiplaza está compuesto por una estructura de control que incluye controladores, sensores y válvulas de control en cada compartimento. Cuenta con interfaces de usuario, modos de operación manual y automático, y un programa para la automatización de tratamientos simultáneos. El control se lleva a cabo mediante controladores PLC redundantes y en paralelo, con monitoreo a través de computadoras y pantallas HMI. Emplea un algoritmo de control en bucle cerrado para corregir desviaciones de presión y permite la edición en tiempo real de los perfiles de tratamiento. El procedimiento comprende etapas de antecámara, alivio y pausa, controladas automáticamente por los controladores. Genera alertas ante desviaciones y puede ejecutar procedimientos automáticos de despresurización controlada. Las alertas se notifican mediante texto y código de colores en las variables monitoreadas [35].

1.1.2.21 Sistema de control de lazo cerrado

Un sistema de control de lazo cerrado es aquel en el cual se compara la salida del proceso con la entrada de referencia para obtener un error. Este error proporciona al controlador la información necesaria para ajustar la señal que se envía al actuador. De esta manera, el

sistema puede alcanzar el valor deseado a pesar de las posibles perturbaciones externas que puedan surgir [36]. Como se muestra en la Fig. 19:

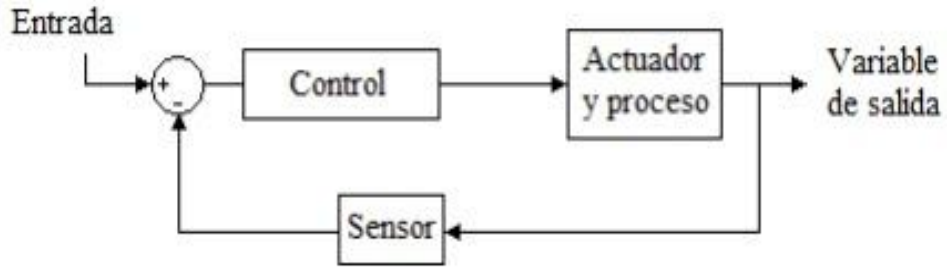


Figura 19. Representación graficar del sistema de lazo cerrado [36].

1.1.2.22 Controladores para automatización

En el ámbito de la automatización industrial, se emplean tres categorías de controladores: los controladores lógicos programables (PLC), los sistemas de control distribuido (DCSs) y los controladores programables de automatización (PACs). En el contexto de PROFINET, todos estos dispositivos se denominan simplemente como controladores [37]. Aunque también se consideró un Arduino para la automatización de la cámara hiperbárica. A continuación, se describe cada controlador con sus características:

- **PLC (Controladores Lógicos Programables)**

  Los PLCs surgieron como una alternativa a los sistemas de relés de lógica empleados en la industria automotriz. Con el tiempo, su funcionalidad se amplió para incorporar entradas y salidas analógicas, como señales de 0-10 VCC o 4-20 mA. Originalmente, los PLCs se empleaban exclusivamente en tareas de automatización discreta, también conocidas como de fábrica. Sin embargo, la incorporación de capacidades analógicas ha permitido su uso en una gama más amplia de aplicaciones [37].

- **DCS (Sistemas de Control Distribuido)**

  Los DCSs surgieron con el propósito de funcionar como sistemas de control de procesos, como los encontrados en refinerías de petróleo y plantas de tratamiento de agua. Aunque en la actualidad los PLCs pueden asumir muchas de estas funciones, los DCSs están diseñados para una integración más estrecha con pantallas de interfaz de operador, como los sistemas HMI (interfaz hombre-máquina), así como con los sistemas de configuración de ingeniería [37].

- **PAC (Controladores Programables de Automatización)**

  Los PACs, conocidos como controladores programables de automatización, aprovechan las capacidades de procesamiento de las computadoras para realizar las mismas funciones que los PLCs y DCSs. Aunque tanto los PLCs como los DCSs son controlados por computadoras, estas utilizan tecnologías patentadas. Por otro lado, los PACs se asemejan más a las computadoras de escritorio en términos de funcionalidad, pero están diseñados para ser más robustos y resistir las condiciones de uso en entornos industriales [37].
- **Arduino Mega 2560:** El Arduino Mega 2560 es una placa de desarrollo que utiliza el microcontrolador ATmega2560 como su núcleo. Ofrece 54 puertos digitales (con 14 aptos para salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 puertos UART, conexión USB para programación y alimentación, un conector de energía, un conector ICSP y un botón de reinicio. Operando a 16 MHz, este dispositivo proporciona todas las herramientas necesarias para iniciar proyectos con microcontroladores. Es compatible con la mayoría de las expansiones Shield diseñadas para modelos UNO, Duemilanove y Diecimila de Arduino [38].

Según [39] utilizó Arduino UNO R3 para un sistema de control en una cámara hiperbárica monoplaza, en este documento expresan un diagrama de cómo se conectan los dispositivos con el Arduino, lo cual es un esquema similar que se puede usar para el Arduino Mega 2560 que se planear utilizar. Este diagrama se puede ilustrar en la Fig. 20.

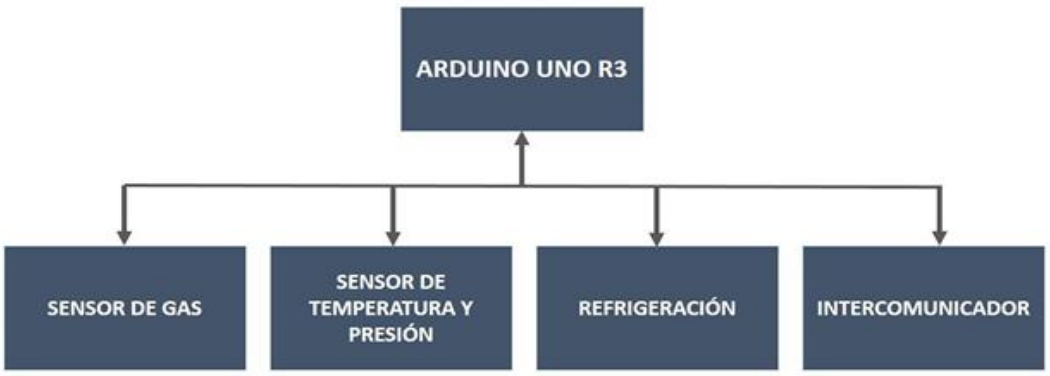


Figura 20. Diagrama de las conexiones con Arduino [39].

Para la automatización de la cámara hiperbárica es más factible utilizar el Arduino Mega 2560 ya que es una de las placas más reconocidas dentro del mercado para realizar diferentes tipos de sistemas automatizados. Además es ligeramente superior potente que la

Arduino UNO R3, sus características son adecuadas para la mayoría de los diseños [38][40]. En la Fig. 21 se puede observar un ejemplar del Arduino Mega 2560 R3:



Figura 21. Arduino Mega 2560 R3 [38].

Características del Arduino Mega 2560

- Microcontrolador: ATmega2560 [38].
- Voltaje de funcionamiento 5 V.
- Voltaje de entrada (recomendado) 7-12 V.
- Voltaje de entrada (límite) 6-20 V [38].
- Digital I/O Pines 54.
- PWM digital I/O Pines 14.
- Pines de entrada analógica 16.
- Corriente DC por I/o PIN 40 mA [38].
- Corriente DC para 3.3 V pin 50 mA.
- Memoria flash 256 KB.
- Memoria flash para bootloader 8 KB [38].
- SRAM 8 KB.
- EEPROM 4 KB.
- Velocidad de reloj 16 MHz [38].

1.1.2.23 Características de un sistema de automatizado de cámara hiperbárica

Según [41] menciona las características, equipos e instrumentación del cuadro de control de la cámara hiperbárica son las siguientes:

• Manómetros-profundímetros analógicos 3D DM 160 mm de O a 150 m.c.a. (14,71 bar) para cámara y antecámara.

• Manómetros-profundímetros analógicos DM. 100 mm para servicios (Aire, Oxígeno y Agua C.l.)
• Manómetro digital con display de 4 dígitos, graduación de metro en metro.
• Registrador gráfico de presión, precisión 0,5% sobre fondo de escala en papel.
• Analizador de Oxígeno, con rango de O a 25% alimentación 24 voltios.
• Analizador de Oxígeno REGARD-1.
• Analizador de C02 GREISINGER por infrarrojos, rango de medida de 0- 2.000ppm, equipado con dos alarmas, alimentación 24 V.
• Rotámetro para medida de caudal de ventilación.
• Manorreductor de gran caudal para regulación de 02 a mascarillas.
• Reloj digital y avisador cuenta atrás.
• Monitores LCD de Videovigilancia.
• Pulsador de emergencia del servicio contra incendios.
• Avisador acústico/luminoso de fallo de suministro eléctrico.
• Interruptores de encendido y apagado de iluminación.
• Telefonillo, interfono y Teléfono autoescitado [41].

1.1.2.24 Dispositivos necesarios para la automatización de la cámara hiperbárica

Se consideran dispositivos que ayudarán con el control y monitoreo de los parámetros dentro de la cámara hiperbárica, algunos tales como sensores, electroválvulas, microcontroladores, monitores, convertidores analógicos/digitales, etc. Teniendo en cuenta el funcionamiento de cada uno de estos dispositivos a continuación [41]:

- **Sensores analógicos:**

Un sensor, también conocido como transductor, transforma un fenómeno físico en una señal eléctrica mensurable, que puede ser un voltaje, corriente, resistencia u otro atributo eléctrico variable con el tiempo. Algunos sensores pueden requerir componentes y circuitos adicionales para producir una señal que pueda ser leída con precisión por un dispositivo DAQ [41].

Los sensores que se necesitan deben cumplir la función de leer parámetros como la presión, la temperatura, la humedad y el nivel de oxígeno. Algunos de los sensores a utilizar se mencionan a continuación:

- **Sensor transductor de presión MBS 1700:** Los transmisores de presión compactos MBS 1700 y MBS 1750 están diseñados para el uso en aplicaciones de

carácter general y ofrecen una medida de la presión fiable, incluso en condiciones ambientales adversas. La versión MBS 1750 con amortiguador de pulsos integrado está diseñado para su uso en aplicaciones en las que el medio provoque efectos negativos graves, como cavitación, golpes de ariete o picos de presión, y proporciona una medida confiable de la presión, incluso en condiciones ambientales adversas. Su excelente estabilidad ante vibraciones, sólida estructura y alto nivel de protección EMC/EMI permiten a estos transmisores de presión satisfacer los requisitos industriales más estrictos.

- **Sensor transmisor LXP:** El sensor transmisor de presión LXP es un dispositivo utilizado para medir y transmitir la presión de líquidos o gases en diversos sistemas y aplicaciones industriales. Este sensor se caracteriza por su alta precisión, confiabilidad y capacidad de operar en entornos exigentes. A continuación, se describen sus principales características:

1. **Medición precisa:** El LXP está diseñado para proporcionar lecturas precisas de presión, con tolerancias mínimas, incluso en condiciones de alta variabilidad.

2. **Rango de presión:** Admite una amplia variedad de rangos de presión, desde baja hasta alta presión, dependiendo del modelo específico, lo que lo hace versátil para diversas aplicaciones.

3. **Material resistente:** Construido con materiales como acero inoxidable o Aleaciones resistentes a la corrosión, el sensor está preparado para operar en entornos agresivos, como sistemas con fluidos corrosivos o temperaturas extremas.

4. **Salida de señal:** Integra opciones de salida estándar como 4-20 mA, 0-10 V o comunicación digital

- **Sensor MPL3115A2 - I2C:** Es un sensor capaz de medir presión barométrica, altitud y temperatura [39]. Es una opción precisa y económica para medir la presión barométrica, temperatura y la altitud. Con una resolución de 1.5 Pascal, ofrece una precisión de altitud de 0.3 metros. A diferencia de otros sensores, cuenta con salidas de interrupción para un bajo consumo de energía y un cálculo de altímetro integrado sin necesidad de calibración. Además, incluye un sensor de temperatura con una precisión de ±1°C. Compatible con voltajes de 2-3.6V y lógica de 3V, puede ser utilizado con cualquier Arduino o microcontrolador con capacidad I2C.

Teniendo una conexión simple, solo se requiere conectar los pines VDD, GND, SCL y SDA, y cargar la biblioteca Arduino MPL3115A2 junto con el código para obtener mediciones de temperatura, presión y altitud [42].

- **Sensor BME680:** Este dispositivo es capaz de combinar sensores de presión atmosférica, temperatura, humedad relativa y calidad del aire/gas en un solo dispositivo. Ofrece alta precisión, bajo consumo energético y un formato compacto. Utiliza tecnología piezo-resistiva de BOSCH con robustez EMC, precisión y estabilidad a largo plazo. Se puede conectar directamente a un microcontrolador a través de I2C o SPI [43].
- **Sensor BME280:** es un módulo compacto de presión atmosférica de bajo consumo que permite medir presión, temperatura y humedad. Con 4 pines para una fácil conexión a microcontroladores o placas de desarrollo como Arduino, y utiliza una interfaz de comunicación por I2C. Es ideal para funciones como monitoreo, seguimiento, automatización y control de dichos parámetros [44].
- **Sensor de oxígeno:** El sensor de oxígeno tiene la función de detectar la concentración de oxígeno (O2) en los gases del ambiente. Su tarea es proporcionar información sobre la disparidad de oxígeno entre los gases del ambiente, trasmitiendo estos datos a la unidad de control [45].

- **Electroválvulas:**

Las electroválvulas son dispositivos que operan en respuesta a pulsos eléctricos. La corriente que fluye a través del solenoide permite la apertura o cierre de la válvula, lo que controla el flujo de fluidos. La circulación de corriente a través del solenoide produce un campo magnético que atrae el núcleo móvil. Una vez que cesa el efecto del campo magnético, el núcleo regresa a su posición original, generalmente gracias a un resorte [46].

- **Electroválvula neumática mando asistido:** Las electroválvulas de mando asistido son dispositivos eléctricos utilizados en aplicaciones industriales y de manejo de fluidos. Fabricadas en latón para resistir la corrosión, pueden soportar presiones de hasta 10-15 bar y requieren una presión mínima de operación de 0.2-0.5 bar. Funcionan mediante una señal eléctrica que controla su posición para regular el flujo de líquidos o gases en sistemas de tuberías. Estas válvulas deben ser seleccionadas y utilizadas adecuadamente para garantizar un funcionamiento seguro y eficiente, siguiendo las instrucciones del fabricante [47].

- **La electroválvula solenoide modelo TUW-10:** Es un componente electromecánico diseñado para controlar el flujo de fluidos en sistemas industriales y automatizados. Es ampliamente utilizado debido a su confiabilidad, durabilidad y capacidad para operar con precisión en aplicaciones de control de fluidos.
- **Electroválvula de émbolo de 2/2 vias de efecto directo tipo 6027:** La válvula 6027 es una válvula de palanca basculante de efecto directo. Para incrementar la seguridad frente a la presión y las fugas, los tapones y el tubo de guía para el inducido están soldados entre sí. Dependiendo de la aplicación, están disponibles diferentes combinaciones de materiales de sellado. Las bobinas están encapsuladas con epoxi de alta resistencia química. Un cojinete de anillo de rozamiento opcional aumenta el tiempo de funcionamiento en el caso de gases secos. Para aplicaciones a alta presión, se utilizan técnicas de sellado especiales. En combinación con un enchufe de dispositivo según la norma DIN EN 175301 - 803 Forma A, las válvulas cumplen la clase de protección IP65. Las válvulas en versión acero inoxidable cumplen con la NEMA 4X

- **Microcontroladores:**

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene todos los elementos de un computador y se utiliza para controlar una tarea específica. Debido a su tamaño reducido, suele estar integrado en el dispositivo que controla, lo que le otorga la denominación de "controlador incrustado". Este "computador dedicado" alberga un programa en su memoria destinado a dirigir una aplicación específica, y sus entradas/salidas permiten la conexión de sensores y actuadores. Una vez programado y configurado, el microcontrolador se dedica exclusivamente a la tarea asignada [48].

- En este caso se tiene pensado utilizar el Arduino Mega 2560 R3 por su versatilidad ya que es una placa de desarrollo que facilita la comunicación entre el microcontrolador y los dispositivos que interviene directamente con los parámetros de la cámara hiperbárica.

- **Monitores:**

El monitor es un dispositivo de salida que muestra imágenes y texto generados por un adaptador gráfico. Su función principal es permitir la interacción del usuario con el procesador [49].

- TFT LCD Touch Display: El módulo SainSmart TFT LCD Display es una pantalla táctil LCD, compatible con tarjetas SD y Flash. Incorpora un controlador facilitando su uso con diversos microcontroladores. Esta versión del producto se enfoca únicamente en la pantalla táctil y su controlador, lo cual debe integrarse con él Arduino por medio de un TFT Shield For Arduino [50].

- **Convertidores analógicos/digitales:**

Las señales analógicas provenientes de los sensores necesitan ser transformadas en señales digitales antes de ser procesadas por dispositivos digitales como una PC. Un convertidor analógico-digital (ADC) es un componente que convierte una señal analógica en una representación digital en un momento específico. En la práctica, las señales analógicas cambian de forma continua a lo largo del tiempo, y un ADC toma muestras periódicas de la señal a una tasa predefinida [41].

1.1.2.25 Sistema de seguridad

El técnico que opera una cámara hiperbárica debe recibir formación en su manejo y en las medidas de seguridad específicas para este tipo de equipo. Sin embargo, es importante destacar que existen diferencias en los procedimientos de manejo y seguridad entre las cámaras hiperbáricas multiplaza y monoplaza [51].

Hemos discutido anteriormente las medidas de seguridad aplicables a las cámaras hiperbáricas multiplaza. Ahora, centrémonos en las principales precauciones que deben seguirse para garantizar la seguridad en una cámara hiperbárica monoplaza, las cuales el técnico debe conocer en detalle [51]. Cuando se trata de medicina hiperbárica, es esencial asegurar que se realice de manera segura, cumpliendo con las normativas y especificaciones correspondientes al uso de una cámara hiperbárica, en este caso, de tipo monoplaza la cual se puede apreciar en la Fig. 22:



Figura 22. Cámara hiperbárica monoplaza para mascotas [19].

Muchas de las medidas de seguridad requeridas en una cámara hiperbárica multiplaza son también aplicables a la cámara hiperbárica monoplaza. Estas incluyen:

- Asegurar la conexión a tierra de todo el sistema eléctrico.
- Garantizar un suministro constante de oxígeno medicinal mediante sistemas adecuados.
- Controlar la humedad y temperatura en la sala donde se ubica la cámara monoplaza, así como para el operador de la cámara.
- Utilizar suelos de goma o cerámica y evitar el uso de alfombras.
- Instalar ventanas con persianas para proteger el metacrilato de la cámara de la exposición directa al sol.
- Sin embargo, hay otras medidas de seguridad específicas para el tratamiento de oxígeno hiperbárico en una cámara monoplaza:
- El operador de la cámara coloca una pulsera antiestática al paciente y lo conecta a tierra.
- Antes de la sesión, el paciente debe cambiarse completamente de ropa, utilizando tejidos 100% algodón, y abstenerse de utilizar productos como cremas, desodorantes o joyería.
- Se instala un detector de concentración de oxígeno en la sala para alertar sobre posibles fugas.
- El operador puede monitorear al paciente dentro de la cámara gracias al cilindro de metacrilato transparente y al interfono integrado.
- Se cuenta con un panel de control simple y una válvula de seguridad para facilitar el manejo de la cámara por parte del operador.
- En caso de emergencia, se dispone de un sistema de vaciado rápido que permite sacar al paciente en pocos segundos [51].

1.2 Objetivos:

1.2.1 Objetivo General

Automatizar una cámara hiperbárica para el tratamiento médico de mascotas para la clínica SNPA de la ciudad de Ambato.

1.2.2 Objetivos Específicos

1.2.2.1 Objetivo específico 1

- Analizar el funcionamiento, procesos y sistemas automáticos relacionados a la cámara hiperbárica a través de la investigación de artículos científicos, revistas, proyectos de tesis entre otros, para garantizar la automatización de la cámara hiperbárica.

1.2.2.2 Objetivo específico 2

- Definir los parámetros de funcionamiento del equipo que se necesitan para la automatización de la cámara hiperbárica mediante el análisis de variables de proceso del tratamiento médico.

1.2.2.3 Objetivo específico 3

- Diseñar un interfaz de usuario fácil de usar con la ayuda de softwares especializados, el cual permita a los operadores controlar y monitorear la cámara hiperbárica de manera eficiente.

1.2.2.4 Objetivo específico 4

- Implementar un sistema automatizado capaz controlar todos los parámetros necesarios para el funcionamiento de la cámara hiperbárica mediante controladores.

1.2.2.5 Objetivo específico 5

- Realizar pruebas de funcionamiento mediante la ejecución y evaluación de rutinas del sistema automatizado para garantizar el correcto funcionamiento de la cámara hiperbárica.

CAPÍTULO II.

2 METODOLOGÍA

En este capítulo se presenta la metodología utilizada para el diseño, desarrollo e implementación de la automatización de la cámara hiperbárica para el tratamiento médico de mascotas en la clínica SNAP de la ciudad de Ambato. La metodología adoptada en este estudio busca garantizar un enfoque estructurado y sistemático que permita abordar cada uno de los aspectos técnicos, operativos y de seguridad necesarios para alcanzar los objetivos establecidos en la investigación. Se describe el proceso de investigación y desarrollo llevado a cabo, que incluye la selección de herramientas, equipos y tecnologías necesarias para la automatización de la cámara hiperbárica. También se detalla el procedimiento seguido para el diseño de la interfaz de usuario, así como los pasos para la integración de sistemas automáticos, con el fin de optimizar el control y monitoreo de los parámetros médicos.

Además, se presentan las fases del proyecto, que incluyen la recolección de datos, la elaboración del diseño conceptual y la implementación de prototipos, evaluando cada etapa de acuerdo con los requerimientos específicos del entorno clínico y las normativas vigentes. Este enfoque metodológico busca asegurar que el proyecto no solo cumpla con los objetivos académicos, sino también con las necesidades operativas y de calidad del servicio veterinario.

2.1 Materiales, equipos y herramientas

2.1.1 Listado de materiales para la automatización de la cámara hiperbárica

Para la ejecución del proyecto técnico se utilizará los siguientes recursos:

Recursos Materiales: Materiales y equipos que se utilizarán para el diseño e implementación del sistema automatizado de una cámara hiperbárica para mascotas mostrados en la Tabla V.

TABLA III

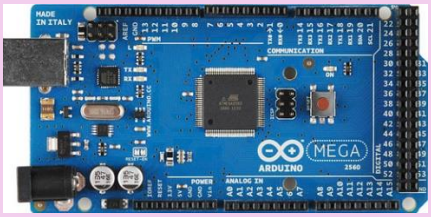
RECURSOS PARA EL DISEÑO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO

Normas de referencia	• Norma ASTM G93-03 • Normativas ASME PVHO • Norma ISO 13485
Editor de programación	• Arduino IDE
Software	• NEXTION EDIOR • SolidWorks

En la Tabla IV se describen los recursos principales que se utilizó para la automatización de la cámara hiperbárica

TABLA IV

RECURSOS PARA LA CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA AUTOMÁTICO

Nombre	Descripción	Gráfico
Microcontrolador Arduino Mega 2560	Un microcontrolador para manejar las funciones de la cámara y supervisar las condiciones internas.	
Cable USB Arduino	Este cable permite conectar tu tarjeta de desarrollo a la computadora para descargar programas y/o realizar la comunicación serial.	
Sensor de presión analógico	Sensores para monitorear la presión dentro de la cámara para así asegurarse de que los parámetros permanezcan dentro de los rangos seguros.	

Nombre	Descripción	Gráfico
Módulo Relé SRD-05VDC-SL-C	Un componente eléctrico que se emplea para controlar el flujo de corriente el flujo de corriente en un circuito eléctrico.	
Electroválvulas neumáticas con mando asistido	Válvulas automáticas para controlar la presión, permitiendo la entrada y salida de aire u oxígeno a diferentes velocidades.	
Válvulas de cierre rápido de ¼ de vuelta	Válvulas de cierre rápido para regular la velocidad de salida de flujo de aire.	
Pantalla para la interfaz de usuario (TFT LCD Touch Display)	Una pantalla con un interfaz que permita a los operadores visualizar y controlar el estado de la cámara.	
Multímetro	Multímetro para verificar las conexiones y polaridades de los cables.	

Nombre	Descripción	Gráfico
Tanque de gas de aire acondicionado de 11 lt	Tanque de gas de aire acondicionado vacío para el prototipo del sistema.	
Cables	Cables para conectar todos los componentes, conectores, y otras herramientas necesarias para ensamblar el sistema.	
Compresor de aire 50 litros de 2.5 hp	Materiales para la construcción y para realizar pruebas de funcionamiento.	
Fuentes de adaptador de corriente	También conocidas como fuentes de alimentación, son dispositivos que transforman la corriente alterna (CA) en corriente directa (CD). Esto permite que los aparatos electrónicos funcionen con corriente continua	

2.2 Métodos

2.2.1 Modalidad de investigación

- **De campo**

Esta metodología se empleó para elegir los diferentes equipos y materiales utilizados en la construcción del sistema automatizado de la cámara hiperbárica, ya que permite comparar las diferentes opciones disponibles para ello.

- **Bibliográfico**

Este método ayuda a buscar información de estudios realizados anteriormente y que tienen relación con la cámara hiperbárica y la automatización de esta, esto nos servirá como base para sustentar el proyecto, la información se la puede obtener de blogs, revistas, artículos científicos, trabajos de tesis, entre otros.

2.2.2 Nivel o tipo de investigación

- **Exploratorio**

Mediante este método se podrá caracterizar y conocer los diferentes parámetros necesarios que se tomarán en cuenta para el diseño y la implementación del dispositivo que permitirá la automatización de la cámara hiperbárica, además establecerá los diferentes conceptos que se tomarán en cuenta, como que es la oxigenoterapia, el funcionamiento de la cámara hiperbárica, que ocurre con las heridas de las mascotas dentro de la cámara, los diferentes tipos de tratamientos, entre otros.

- **Descriptivo**

El método descriptivo para este proyecto es fundamental, ya que se debe registrar de manera objetiva los datos adquiridos del funcionamiento de la cámara hiperbárica, como la presión, el nivel de oxígeno y CO2, el tiempo de tratamiento, entre otros, se debe además tener en cuenta las características de las mascotas y su estado de salud para la ejecución de las pruebas de funcionamiento.

- **Experimental**

Se utilizará para realizar pruebas al prototipo del sistema automatizado de la cámara hiperbárica, para verificar los parámetros de diseño y funcionamiento y errores que se puedan presentar.

2.3 Procedimiento

Se realizará una visita técnica para analizar el lugar de trabajo y el estado funcional de la cámara hiperbárica que se encuentra en la clínica SNAP de la ciudad de Ambato. También ser realizará un listado de los equipos y dispositivos que se necesitan para la elaboración

del sistema de control automático que se desea instalar en la cámara hiperbárica. Además, se investigará y analizará toda la información que sea necesaria que involucre con el tratamiento médico que se recibe por medio de la cámara hiperbárica, el funcionamiento básico de la cámara hiperbárica de acuerdo con ciertos criterios y parámetros establecidos [41]. Además de los equipos y dispositivos que se necesitan para la automatización, y algunos ejemplares de automatización de cámaras hiperbáricas construidas con anterioridad.

La automatización de una cámara hiperbárica para mascotas implica la implementación de sistemas y controles que permitan la operación eficiente y segura del equipo sin una constante intervención de los operarios. Por lo tanto, se empleará una metodología de campo para investigar diversos factores como son: la presión, la cantidad de oxígeno, los porcentajes de CO2 mínimos que deben actuar para la activación de las válvulas, la temperatura, la humedad, el tiempo estimado que debe pasar la mascota dentro de la cámara de acuerdo con su tamaño, raza y estado de salud, como también la capacidad de la cámara hiperbárica, entre otros [24], [35].

El incorporar sistemas de seguridad que detengan automáticamente la operación en caso de cualquier emergencia o anomalía e integrar sistemas de iluminación y control de temperatura para crear un entorno cómodo para las mascotas, permitirá establecer ciertos parámetros indispensables para la automatización de la cámara hiperbárica y su respectivo uso en tratamientos médicos para mascotas de la clínica SNAP de la ciudad de Ambato. Como consecuente esto también facilitará y reducirá el tiempo de análisis del funcionamiento del sistema automatizado de la cámara hiperbárica.

Se contemplará todos los equipos y dispositivos que se necesitan para luego realizar el diseño e implementación del sistema automatizado de la cámara hiperbárica. Al culminar con la instalación del sistema se realizará varias pruebas de funcionamiento rutinarias para el análisis y evaluación de los factores, variables y parámetros que afectan directamente con el tratamiento médico de las mascotas para realizar un reajuste de estos factores determinantes para el correcto funcionamiento del sistema automatizado que requiere la cámara hiperbárica [17], [35]. Por último, se estandarizará las variables y parámetros de acuerdo con los resultados arrojados por las pruebas de funcionamiento del sistema automatizado para garantizar un excelente tratamiento médico a las mascotas.

2.3.1.1 Alternativas para selección de dispositivos para el sistema automatizado

La adecuada de los dispositivos es un paso crítico en el diseño e implementación de un sistema de selección automatizado, ya que determina su eficiencia, precisión, seguridad y durabilidad. Este proceso implica evaluar una amplia gama de alternativas tecnológicas, considerando los requisitos técnicos del sistema, las condiciones de operación y las necesidades específicas del entorno.

En el caso de la automatización de una cámara hiperbárica, la elección de componentes como sensores, actuadores, controladores y dispositivos de interfaz es esencial para garantizar un funcionamiento óptimo y seguro. Cada dispositivo debe ser cuidadosamente seleccionado para cumplir con los estándares de calidad, resistencia y compatibilidad necesarios para operar en un entorno controlado

2.3.1.1.1 Selección de la pantalla para el interfaz de usuario para el sistema automatizado de la cámara hiperbárica

- **Nextion Editor**

Nextion es una solución de Interfaz Hombre-Máquina (HMI) que ofrece una interfaz de control y visualización entre un usuario, una máquina y un proceso, siendo la mejor opción para sustituir las pantallas LCD tradicionales[52].

Esta solución incluye hardware, como una serie de pantallas TFT, y software, concretamente el editor Nextion. La pantalla Nextion se comunica utilizando únicamente un puerto serie. El editor Nextion cuenta con una amplia variedad de componentes, como botones, texto, barras de progreso, deslizadores, paneles de instrumentos, entre otros, que enriquecen el diseño de la interfaz. La familia Nextion HMI es fácil de integrar en proyectos existentes, solo es necesario proporcionar un protocolo UART. En la siguiente imagen se muestra la interfaz principal del editor [53].

Características:

- Resolución 320 x 240
- RGB 65K fiel a los colores de la vida
- Pantalla TFT panel resistivo táctil
- Fácil interfaz de 4 pines a cualquier TTL Host Serial
- Memoria Flash 4M para Código de usuario, aplicaciones y datos
- Ranura para tarjeta micro-SD para actualización de firmware

- Área Visual: 57.6mm x 43.2mm
- Brillo ajustable: 0 ~ 180 nit, el intervalo de ajuste es de 1%
- Consumo de energía 5V65mA.

Materiales:

- Pantalla Nextion NX3224T028
- Arduino mega 2560
- Memoria MicroSD (formateada a fat32)
- Adaptador para MicroSD

➢ **Pantalla TFT LCD Nextion touch de 7plg**

El Nextion 7" NX8048T070 es una interfaz hombre-máquina (HMI) que permite el control y la visualización de procesos, máquinas, aplicaciones o dispositivos a través de una pantalla táctil resistiva de 4 hilos.

Certificaciones del producto: CE-EMC, RoHS

Sus principales características son:

- Marca: Nextion
- Voltaje de Operación: 4.75V (mín.), 5V (típico) y 7V(máx.)
- Corriente de Operación:
- 100% de brillo: 510mA
- Modo Sleep: 15 mA
- Dimensiones: 181 mm x 108 mm
- Resolución: 800×480 pixeles
- Color: 16 bit 565, 64K, 65536 colores
- Memoria Flash: 16 MB
- Memoria RAM: 3584 byte
- Interfaz: 4 pines (+ 5V, TX, RX, GND)
- Puerto Serial: TTL
- Interfaz USB: No
- Puerto SD: Si, Formato FAT32, Micro SD 32G máximo
- Temperatura de Trabajo: -20°C a 70°C

Características electrónicas

En la Tabla V se describen las características electrónicas de la pantalla seleccionada.

TABLA V

CARACTERISTICAS ELECTRONICAS DE LA PAANTALLA [54]

	Condiciones de prueba	Min	Típico	Máximo	Unidad
Voltaje de funcionamiento		4.75	5	**7**	-
Corriente de funcionamiento	VCC=5V, el brillo es del 100%	-	250	-	-
	Modo SLEEP	-	15	-	-
Fuente de alimentación recomendada: 5 V, 500 mA, CC					

Características de la memoria

En la Tabla VI se muestran las características de la memoria de la pantalla TFT.

TABLA VI

CARACTERÍSTICAS DE LA MEMORIA [54]

Tipo de memoria	Condiciones de prueba	Min	Típico	Máximo	Unidad
Memoria FLASH	Almacenar fuentes e imágenes			16	MB
Memoria RAM	Almacenar variables			3584	BYTE

Entorno de trabajo y parámetro de confiabilidad

En la Tabla VII se detalla el entorno de trabajo y los parámetros de confiabilidad.

TABLA VII

ENTORNO DE TRABAJO Y PARÁMETRO DE CONFIABILIDAD [54]

	Condiciones de prueba	Min	Típico	Máximo	Unidad
Temperatura de trabajo	5V, Humedad 60%	-20	25	70	°C

	Condiciones de prueba	Min	Típico	Máximo	Unidad
Temperatura de almacenamiento	-	-30	25	85	°C
Humedad de trabajo	25 °C	10%	60%	90%	RH

Rendimiento de las interfaces

En la Tabla VIII se describe el rendimiento de las interfases de esta pantalla.

TABLA VIII

RENDIMIENTO DE LAS INTERFACES [54]

	Condiciones de prueba	Min	Típico	Máximo	Unidad
Velocidad de trasmisión del puerto serie	Estándar	2400	9600	115200	bps
Salida de alto voltaje	IOH=-1mA	3.0	3.2		V
Salida de baja tensión	LIO=1mA		0.1	0.2	V
Entrada de alto voltaje		2.0	3.3	5.0	V
Entrada de baja tensión		-0.7	0.0	1.3	V
Modo de puerto serie	TTL				
Puerto serie	4Pin_2,54 mm				
Interfaz USB	NO				
Zócalo para tarjeta SD	Si (formato FAT32), admite un máximo de 32 G Tarjeta Micro SD * El zócalo de la tarjeta microSD se utiliza exclusivamente para actualizar el firmware / diseño HMI de Nextion				

2.3.1.1.2 Alternativas de los microcontroladores para el sistema automatizado de la cámara hiperbárica

Las alternativas para la selección de los microcontroladores que se utilizará para la automatización de la cámara hiperbárica son las siguientes mostradas en la Tabla VII.

TABLA IX

ALTERNATIVAS DE MICROCONTROLADORES PARA LA AUTOMATIZACIÓN

Alternativa 1	**Alternativa 2**
PLC	Arduino Mega 2560 R3
Es un microcontrolador concebido especialmente para la automatización industrial y requiere un conocimiento complejo del lenguaje de programación para ejecutar tareas específicas. Costo de un PLC en el mercado nacional está entre $100 a $300 dependiendo la marca y modelo. Se necesita establecer a detalle cada entrada y salida del microcontrolador para mandar las señales a los demás dispositivos. La capacidad de este microcontrolador es completamente satisfactoria para cumplir con los parámetros establecidos. Al ser un microcontrolador independiente toca tener un conocimiento amplio sobre la utilización de este.	Es una placa de desarrollo que contiene varios componentes integrados que trabajan en conjunto, entre uno de esos componentes tiene un microcontrolador ATmega2560 en el núcleo de la placa, es un dispositivo que facilita el dinamismo a la hora de estructurar un sistema automático. El costo de un Arduino Mega 2560 R3 en el mercado nacional este alrededor de $30 a $70. Como es una placa de desarrollo ya están preestablecidas las entradas y salidas de microcontrolador para comunicarlo con los demás dispositivos. La capacidad del Arduino es satisfactoria por tener un microcontrolador suficientemente potente para las tareas que se ejecutarán. El uso de este Arduino es más dinámico y fácil de comprender.

2.3.1.1.3 Ponderación de alternativas

La ponderación se realizó con las alternativas que se tiene de los microcontroladores que pueden cumplir la función de cargar con el programa que realizará el sistema automático. Para la evaluación de las alternativas se consideran 3 valores los cuales son: Excelente, regular y malo, tal y como se muestra en la Tabla VIII.

TABLA X

VALORES DE PONDERACIÓN

Ponderación	**Concepto**
10	Excelente
5	Regular
1	Malo

2.3.1.1.4 Selección del microcontrolador para la automatización de la cámara hiperbárica

En la Tabla IX se seleccionaron los factores más importantes que permitieron seleccionar el microcontrolador más adecuado para el sistema automático.

TABLA XI

SELECCIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Factores	**Alternativas**	
	Alternativa 1	**Alternativa 2**
Costo	5	10
Versatilidad	5	10
Funcionalidad	10	10
Adquisición en el mercado nacional	10	10
Capacidad	5	5
Facilidad de uso	5	10
Total	**40**	**55**

De acuerdo con la Tabla XI el microcontrolador más adecuado para la automatización del sistema integrado es el Arduino Mega 2560 R3, por ende, es el dispositivo que se utilizará. A continuación de describen las características del microcontrolador seleccionado:

El Arduino Mega 2560 es una placa de microcontrolador que utiliza el ATmega2560. Cuenta con 54 pines de entrada/salida digital (15 de los cuales pueden funcionar como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UART (puertos seriales de hardware), un oscilador de cristal de 16 MHz, conexión USB, conector de alimentación, cabezal ICSP y un botón de reinicio [55]. Como se muestra en la Fig. 23.

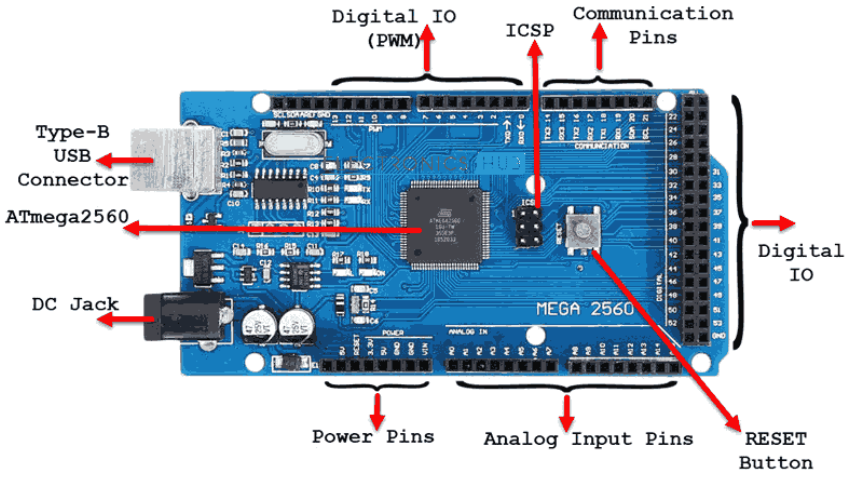


Figura 23. Diseño de placa Arduino mega 2560 [55].

Características de la Arduino Mega 260

- Microcontrolador: ATmega2560
- Voltaje de operación: 5V
- Voltaje de entrada recomendado: 7-12V
- Voltajes de entrada mínimo y máximo: 6 – 20 V
- Pines de E/S digital: 54 (de los cuales 15 son salida PWM)
- Pines de entrada analógica: 16
- Corriente CC por cada pin E/S: 20mA
- Corriente CC para el pin de 3.3V: 50 mA
- Memoria Flash: 256KB, de los cuales 8 KB son usados por el gestor de arranque (bootloader)
- SRAM: 8 KB
- EEPROM; 4KB
- Frecuencia de reloj: 16MHz
- Longitud: 101.52 mm
- Ancho: 53.3 mm
- Peso: 37g

Alimentación

El Arduino Mega puede alimentarse a través de la conexión USB o con una fuente de alimentación externa. La fuente de alimentación se selecciona automáticamente.

La alimentación externa (no USB) puede provenir de un adaptador de CA a CC (wall-wart) o de una batería. El adaptador se puede conectar enchufando un conector de 2.1 mm con polo positivo al centro en el conector de alimentación de la placa. Los cables de una batería se pueden insertar en los pines Gnd y Vin del conector POWER.

Los pines de alimentación son los siguientes:

- **VIN:** El voltaje de entrada a la placa Arduino cuando se usa una fuente de alimentación externa (en lugar de los 5 voltios de la conexión USB u otra fuente de alimentación regulada). Puedes suministrar voltaje a través de este pin o, si se suministra voltaje a través del conector de alimentación, acceder a él a través de este pin.
- **5V:** La fuente de alimentación regulada utilizada para alimentar el microcontrolador y otros componentes en la placa. Esta puede provenir de VIN a través de un regulador a bordo, o ser suministrada por USB u otra fuente regulada de 5V.
- **3V3:** Una fuente de 3.3 voltios generada por el regulador a bordo. La corriente máxima que puede proporcionar es de 50 mA.
- **GND:** Pines de tierra.
- **IOREF:** Proporciona la referencia de voltaje con la que funciona el microcontrolador.

Memoria de Arduino Mega 2560

El ATmega2560 tiene 256 KB de memoria flash para almacenar el código (de los cuales 8 KB se utilizan para el bootloader), 8 KB de SRAM y 4 KB de EEPROM (que se pueden leer y escribir con la biblioteca EEPROM).

Protección contra Sobre corriente USB

El Arduino Mega2560 está equipado con un polifusible reiniciable que protege los puertos USB de la computadora contra cortocircuitos y sobrecargas de corriente. Aunque la mayoría de las computadoras tienen su propia protección interna, este fusible proporciona

una capa adicional de seguridad. Si se suministran más de 500 mA al puerto USB, el fusible interrumpirá automáticamente la conexión hasta que se elimine el cortocircuito o la sobrecarga[56] .

2.3.1.1.5 Alternativas de las electroválvulas para entrada y salida del fluido

En la Tabla XII se muestran las posibles alternativas para las electroválvulas de entrada y salida del gas.

TABLA XII

ALTERNATIVAS DE SELECCIÓN PARA ELECTROVALVULAS

Alternativa 1	**Alternativa 2**
Electroválvula neumática mando asistido:	Electroválvula solenoide modelo TUW-10
Electroválvula neumática mando asistido: Las electroválvulas de mando asistido son dispositivos eléctricos utilizados en aplicaciones industriales y de manejo de fluidos. Fabricadas en latón para resistir la corrosión, pueden soportar presiones de hasta 10-15 bar y requieren una presión mínima de operación de 0.2-0.5 bar. El precio varía entre los $30 y $40 Funcionan mediante una señal eléctrica que controla su posición para regular el flujo de líquidos o gases en sistemas de tuberías.	Es un componente electromecánico diseñado para controlar el flujo de fluidos en sistemas industriales y automatizados. Es ampliamente utilizado debido a su confiabilidad, durabilidad y capacidad para operar con precisión en aplicaciones de control de fluidos. Su costo varía entre los $140 y $150 Cuenta con certificación Atex y NEMA 4X

2.3.1.1.6 Ponderación de alternativas

La escala de ponderación es la misma que se utilizó en la selección del microcontrolador para la automatización de la cámara hiperbárica en el apartado 2.7.2, para ser específico la escala usada en la Tabla X.

2.3.1.1.7 Selección de las electroválvulas para entrada y salida del fluido.

De acuerdo con las alternativas expuestas y la ponderación pertinente, se procede a seleccionar de acuerdo con ciertos factores cuál de las dos alternativas es la más adecuada para desempeñar la función de entrada y salida del flujo.

TABLA XIII

SELECCIÓN DE ELECTROVÁLVULAS

Factores	**Alternativas**	
	Alternativa 1	**Alternativa 2**
Costo	10	10
Precisión de datos	5	10
Adquisición en el mercado nacional	10	10
Funcionalidad	5	10
Compatibilidad	5	10
Total	**35**	**50**

De acuerdo con la Tabla XIII se utilizará la alternativa 8 para la utilización del sistema automatizado de la cámara hiperbárica gracias los beneficios en el costo y funcionalidad. A continuación, se describe las características de la electroválvula seleccionada.

Datos técnicos:

Modelo: TUW-10

Puerto: 3/8" NPT

Ø Nominal: 16 mm

Presión De Trabajo: PSI: 0 ~ 116 **kg/cm²:** 0 ~ 8.16

Voltaje: 220VAC

Fluido: Aire, Agua, Aceite

Operación: Acción Directa

Descripción General: La válvula para propósito general es un componente fundamental utilizado en una amplia variedad de sistemas que requieren el control del flujo de líquidos

o gases. Diseñada para manejar aplicaciones cotidianas en diferentes industrias y entornos, estas válvulas son conocidas por su fiabilidad, facilidad de operación y versatilidad. Su construcción robusta las hace ideales para operaciones de apertura y cierre de flujo, regulación y alivio de presión. Estas válvulas están disponibles en diferentes configuraciones, como válvulas de bola, compuerta, mariposa y de retención, lo que las convierte en una solución adecuada para aplicaciones residenciales, comerciales e industriales. Con materiales que van desde el acero inoxidable hasta plásticos de alta calidad, se adaptan a una gran variedad de condiciones operativas, como temperaturas moderadas, presiones estándar y fluidos no corrosivos [57].

Aplicaciones:

- **Sistemas de fontanería:** Utilizadas para controlar el flujo de agua en sistemas domésticos y comerciales, permitiendo el manejo eficiente del suministro y cierre de agua.
- **Redes de gas doméstico e industrial:** Adecuadas para la regulación y control del flujo de gases no corrosivos, como el gas natural o el propano.
- **Sistemas de calefacción y refrigeración:** Se emplean para controlar el flujo de refrigerantes o agua en sistemas de calefacción, ventilación y aire acondicionado.
- **Procesos industriales de baja presión:** Ideales para aplicaciones industriales ligeras que requieren un control básico del flujo de fluidos o gases en tuberías y conducciones.
- **Instalaciones de riego:** Utilizadas en sistemas de riego agrícola para asegurar un flujo constante y regulado del agua a diferentes partes de los cultivos.

Características Principales:

- **Versatilidad de uso:** Pueden utilizarse en una amplia gama de aplicaciones, desde sistemas domésticos hasta procesos industriales de baja y media presión.
- **Construcción robusta:** Fabricadas en materiales resistentes como acero inoxidable, latón o plásticos de alta durabilidad, garantizando un funcionamiento confiable y una larga vida útil.
- **Fácil operación:** Diseñadas para una manipulación sencilla, con mecanismos de apertura y cierre que permiten un control preciso del flujo.

- **Mantenimiento reducido:** Requieren un bajo nivel de mantenimiento debido a su diseño simple y eficiente.
- **Amplia compatibilidad:** Disponibles en diversas conexiones y tamaños, lo que permite su integración en sistemas de tuberías estándar sin dificultad.

Este tipo de válvulas es una solución confiable y asequible para cualquier instalación que requiera un control efectivo del flujo en aplicaciones de propósito general.

2.3.1.1.8 Alternativas de los sensores para medir presión, temperatura, humedad y aire/gas

Para medir los parámetros de la presión, temperatura, humedad y calidad de aire/gas se consideró dos sensores como alternativas, lo cual se puede observar en la tabla XIV.

TABLA XIV

ALTERNATIVAS DE SENSORES PARA MEDIR LOS PARÁMETROS NECESARIOS PARA LA AUTOMATIZACIÓN.

Alternativa 1	**Alternativa 2**
Sensor MPL3115A2 - I2C	Sensor MBS 1700
Es un sensor capaz de medir presión, altitud y temperatura, los cuales son parámetros importantes que controlar. El costo de este sensor en el mercado nacional está alrededor de $15 a $30. Tiene una buena sensibilidad al recibir los datos correspondientes de los parámetros a considerar. Cumple con las funciones de leer presiones y temperaturas, pero la cantidad de oxígeno no es capaz de leer, se considera conseguir un sensor de oxígeno aparte para complementar este parámetro.	La versión MBS 1700 con amortiguador de pulsos integrado está diseñado para su uso en aplicaciones en las que el medio provoque efectos negativos graves, como cavitación, golpes de ariete o picos de presión, y proporciona una medida fiable de la presión, incluso en condiciones ambientales adversas. El costo de este dispositivo en el mercado nacional este alrededor de $120 a $150. Obtiene resultados precisos de los parámetros de presión. Es compatible con cualquier Arduino del mercado.

Alternativa 1	Alternativa 2
Es compatible con cualquier Arduino del mercado.	

2.3.1.1.9 Ponderación de alternativas

La escala de ponderación es la misma que se utilizó en la selección del microcontrolador para la automatización de la cámara hiperbárica en el apartado 2.7.2, para ser específico la escala usada en la tabla X.

2.3.1.1.10 Selección de los sensores para medir presión, temperatura, humedad y aire/gas

De acuerdo con las alternativas expuestas y la ponderación pertinente, se procede a seleccionar de acuerdo con ciertos factores cuál de las dos alternativas es la más adecuada para desempeñar la función de medir los parámetros de presión, temperatura y humedad. La selección de estos sensores de acuerdo con la ponderación se puede observar en la Tabla XV.

TABLA XV

SELECCIÓN DE LOS SENSORES A UTILIZAR PARA LA AUTOMATIZACIÓN DE LA CÁMARA HIPERBÁRICA.

Factores	Alternativas	
	Alternativa 1	Alternativa 2
Costo	10	5
Precisión de datos	10	10
Adquisición en el mercado nacional	10	10
Funcionalidad	10	5
Compatibilidad	10	10
Total	**50**	**35**

De acuerdo con la Tabla XV se utilizará la alternativa 1 para la utilización del sistema automatizado de la cámara hiperbárica gracias los beneficios en el costo y funcionalidad. A continuación, se detallan las características del sensor seleccionado:

Características:

• Carcasa y piezas en contacto con el medio

fabricadas en acero resistente a los ácidos

(AISI 316L)

• Rango de presión manométrica (relativa): 0 –25 bar

• Señal de salida: 4-20 mA

• Conexiones de presión:

◦ G 1/4 A y G 1/2 A, EN 837 (MBS 1700)

◦ G 1/4, DIN 3852-E; junta DIN 3869-15 (MBS1700)

• Compensación totalmente digital.

Aplicación

La cavitación, los golpes de ariete y los picos de presión son frecuentes en sistemas llenos de líquido cuya velocidad de flujo sufre fluctuaciones como resultado, por ejemplo, del cierre rápido de una válvula o los arranques y paradas de una bomba. El problema puede ocurrir a la entrada o la salida, incluso con presiones de funcionamiento muy bajas.

Condiciones del medio

Los líquidos que contienen partículas pueden obstruir la boquilla. Instalar el transmisor en posición vertical minimiza el riesgo de obstrucción, ya que el paso a través de la boquilla se limita al período de tiempo comprendido entre el arranque y el momento en que se llena el volumen muerto situado tras el orifcio de la boquilla. La viscosidad del medio afecta en muy poca medida al tiempo de respuesta. Incluso con viscosidades de hasta 100 cSt, el tiempo de respuesta no supera los 4 ms.

2.3.1.2 Diagrama de flujo para el diseño e implementación del sistema automatizado

En el siguiente diagrama de flujo se detalla el proceso que se llevó a cabo durante este proyecto, Fig. 23.

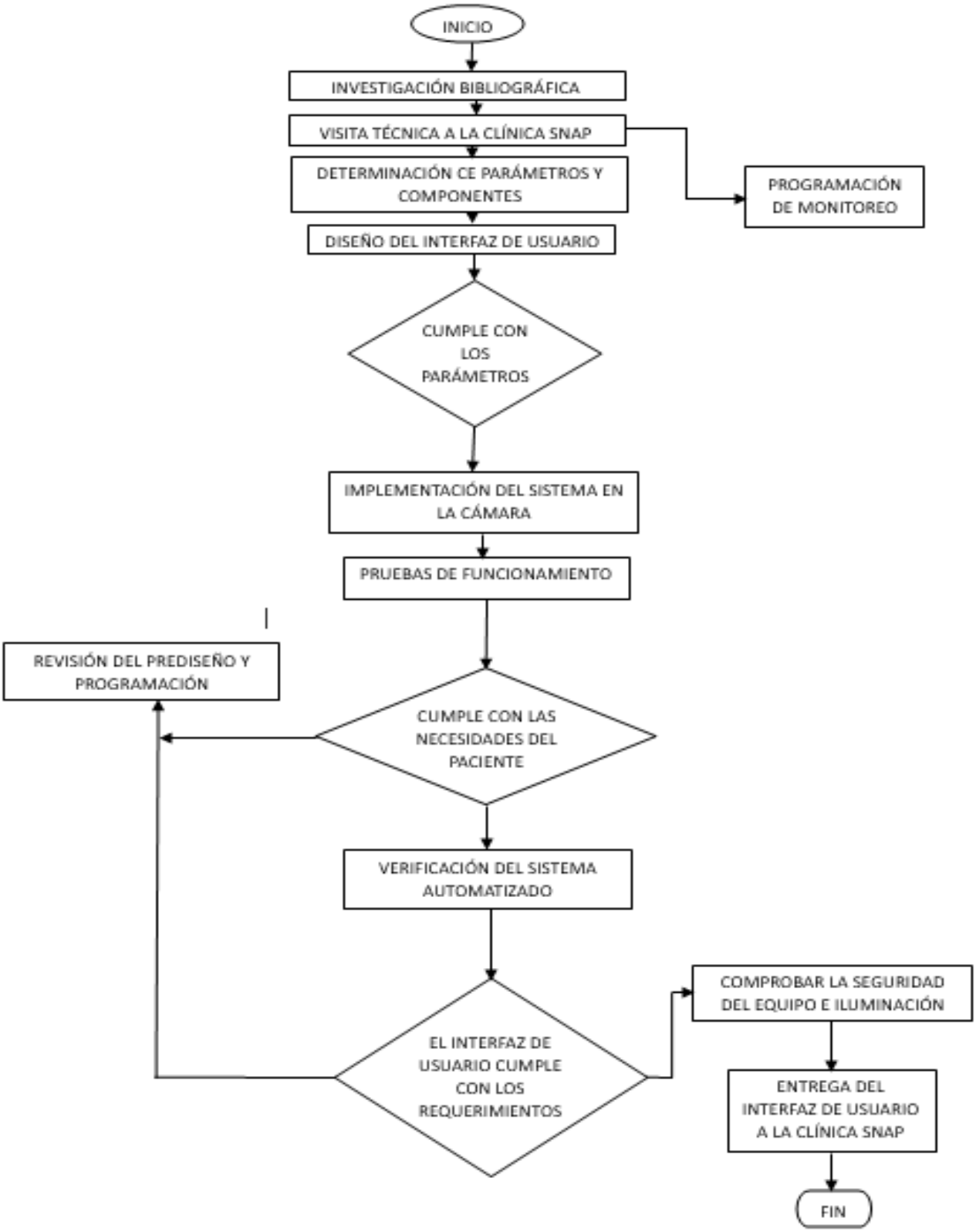


Figura 24. Diagrama de flujo general

2.2.3.3 Diagrama de flujo del sistema automatizado

En el siguiente diagrama de flujo se muestra el proceso que lleva a cabo la automatización de la cámara hiperbárica, Fig. 24:

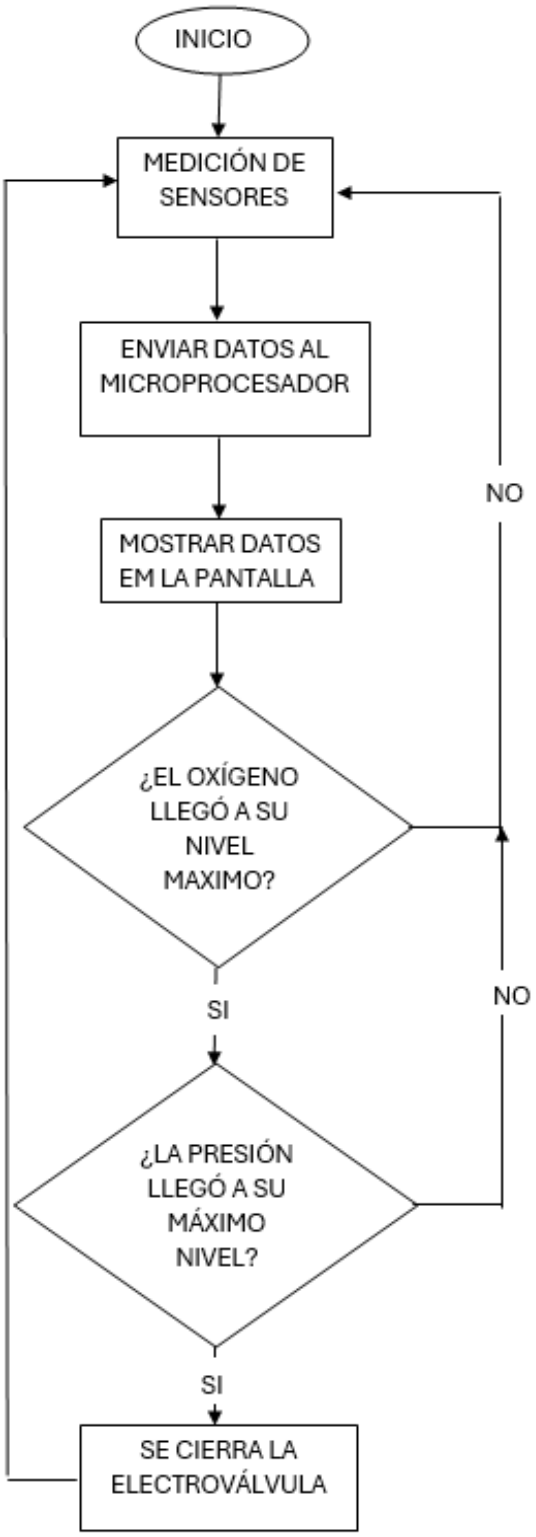


Figura 25. Diagrama de flujo del sistema automático.

2.2.3.4 Diagrama de instalación del sistema automatizado

La Fig. 26 representa un diagrama de instalación para los componentes utilizados en la automatización de este proyecto. Para realizar este diagrama nos basamos en la norma ISO 1219-1 que es una norma internacional que define los símbolos básicos de los componentes neumáticos y sus conexiones. También proporciona las reglas para combinar estos símbolos en diagramas y esquemas complejos [58].

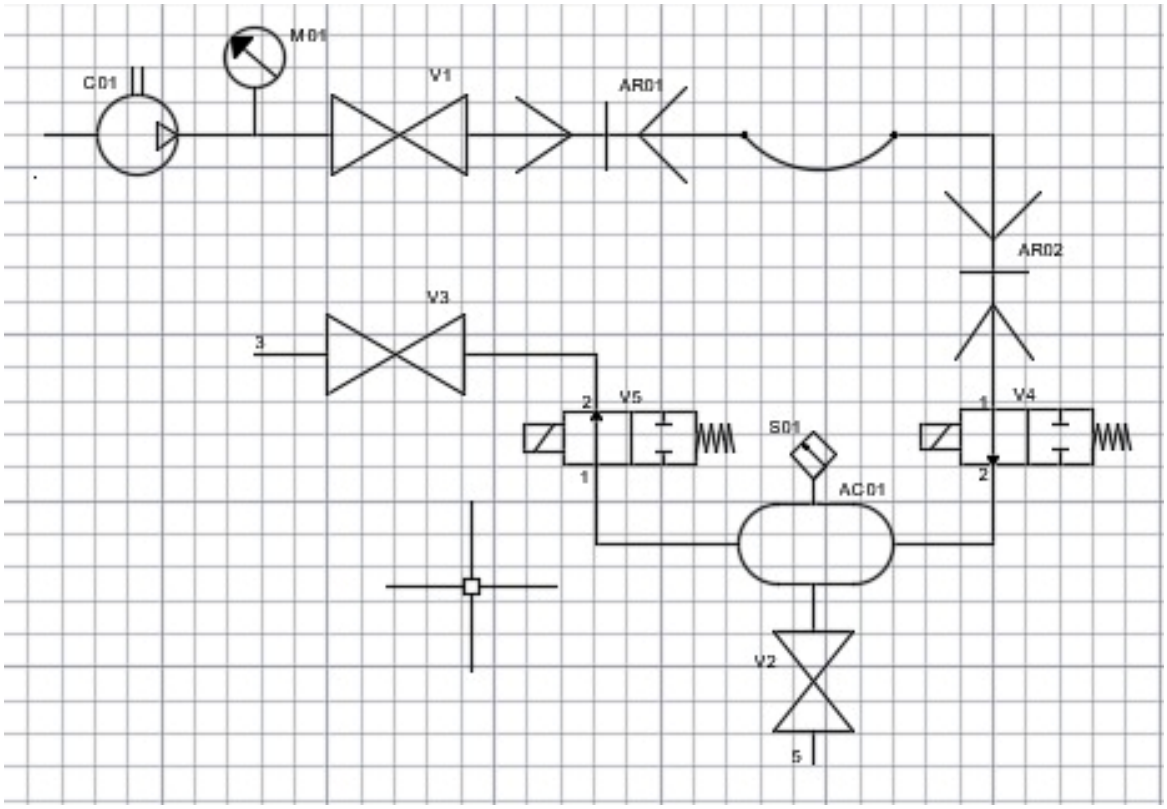


Figura 26. Diagrama de instalación del sistema automatizado

CAPÍTULO III.

3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este capítulo se presentan los resultados obtenidos a partir de la implementación del sistema automatizado en la cámara hiperbárica diseñada para el tratamiento médico de mascotas en la clínica SNAP de la ciudad de Ambato. A través de la recopilación y análisis de datos, se evaluó la efectividad del sistema propuesto en cuanto a su funcionamiento, precisión y eficiencia, así como su impacto en los procedimientos clínicos y la seguridad de los pacientes.

Se detallan los resultados cuantitativos y cualitativos obtenidos durante las distintas fases de la prueba y validación del sistema, comparando los datos preexistentes con los resultados obtenidos tras la implementación del sistema automatizado. Además, se analizan los aspectos técnicos relacionados con la integración de los diferentes componentes del sistema, como sensores, actuadores y la interfaz de usuario, evaluando su desempeño en condiciones reales de operación.

En esta sección también se incluyen las observaciones y comentarios de los operadores y médico personal de la clínica SNAP, quienes participaron en las pruebas del sistema automatizado, para conocer su experiencia en el uso del nuevo sistema y su percepción sobre las mejoras en la eficiencia y la seguridad del tratamiento.

La discusión de los resultados se centra en la interpretación de los datos obtenidos, identificando las fortalezas y limitaciones del sistema automatizado, así como posibles áreas de mejora. También se compara el desempeño del sistema con estudios previos y avances tecnológicos en el campo de la automatización de cámaras hiperbáricas, con el fin de contextualizar los resultados en el panorama actual de la tecnología médica veterinaria.

3.1 Análisis y discusión de los resultados

3.1.1 Cálculos de los parámetros para la automatización de la cámara hiperbárica

- **Cálculo del volumen del tanque de oxígeno**

El volumen inicial aproximado del tanque de oxígeno dependerá de las dimensiones del tanque donde su altura es de 1.16 m y su ancho de 0.25 m.

$$V_1 = \pi * r^2 * h \tag{8}$$

$$V_1 = \pi * \left(\frac{0.25}{2}\right)^2 * 1.16$$

$$V_1 = 0.0569\, m^3$$

- **Cálculo de tiempo de presurización y despresurización**

El tiempo de presurización y despresurización dependen del volumen y el caudal de llenado de la cámara hiperbárica. Según [15], el caudal de llenado está entre los valores de 10 a 30 L/min, y el volumen del cilindro de la cámara hiperbárica es de $0.162\, m^3$

- Cálculo de caudal

Datos conocidos:

- Longitud de la manguera $(L) = 2.35\, m$
- Diámetro interior $(d) = 0.01\, m$
- Presión salida $(P_{sal}) = 30.76\, psi\ =\ 212.05\, kPa$
- Presión externa $(P_{ext}) =\ 1\, atm = 101325\, kPa$
- Densidad del oxígeno $(\rho) = 177.6 \frac{kg}{m^3}$
- Viscosidad dinámica del oxígeno $(\mu) = 1.965x10^{-5} Pa * s$

- **Diferencia de presión** $(\Delta \boldsymbol{P})$:

$$\Delta P = P_{sal} - P_{ext} \tag{9}$$

$$\Delta P = 212\,050 - 101325 = 110725\, kPa$$

- **Relación entre velocidad y pérdida de presión (Darcy-Weisbach):**

La velocidad de salida está dada por:

$$v = \sqrt{\frac{2*\Delta P}{\rho*\left(1+f*\frac{L}{d}\right)}} \tag{10}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 * 110725}{177.6 * \left(1 + f * \frac{2.35}{0.01}\right)}}$$

- Ecuación para el cálculo del número de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{\rho*v*d}{\mu} \tag{11}$$

Como v depende de Re y f, se asumirá un flujo turbulento inicialmente para iterar y obtener una aproximación razonable.

$Re > 4000$ (Flujo turbulento)

Para una manguera lisa en flujo turbulento, el factor de fricción (f) puede aproximarse usando la fórmula de Blasius:

$$f = 0.079 * Re^{-0.25} \tag{12}$$

$$f = 0.079 * (4000)^{-0.25}$$

$$f = 0.009$$

$$v = \sqrt{\frac{2 * 110725}{177.6 * \left(1 + 0.009 * \frac{2.35}{0.01}\right)}}$$

$$v = 7.503\ \frac{m}{s} * \frac{60\ s}{1\ min} = 450\ \frac{m}{min}$$

- **Cálculo de caudal:**

$$Q = A * v \tag{13}$$

$$Q = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * v$$

$$Q = \pi * \left(\frac{0.01}{2}\right)^2 * 450$$

$$Q = 0.03535\ \frac{m^3}{s} = 35.35\ \frac{Lt}{min}$$

- **Cálculo de tiempo:**

Volumen por llenar $V = 162\ Lt$

$$t = \frac{V}{Q} \tag{14}$$

$$t = \frac{162}{35.35}$$

$$t = 4.586\ min$$

- **Cálculo de temperatura:**

Datos conocidos:

- Volumen $(V_1) = 0.162\ m^3$
- Presión inicial $(P_1) = 1\ atm$
- Presión final $(P_2) = 2\ atm$
- Índice politrópico (n): Suponiendo $n = 1.3$, lo cual es típico en compresiones rápidas, pero no completamente adiabáticas.

Para calcular la temperatura durante un proceso de compresión politrópica, podemos usar la relación derivada de la ecuación de los gases ideales, lo que vendría dado por la siguiente ecuación:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \tag{15}$$

$$T_2 = (14.15 - 273) * \left(\frac{2 * 101325}{101325}\right)^{\frac{1.3-1}{1.3}}$$

$$T_2 = 336.95\ K = 63.95\ °C$$

- **Cálculo del % oxígeno:**

Datos conocidos:

- Presión final $(P_T) = 2.5\ atm$
- Presión inicial $(P_1) = 1\ atm$
- Presión suministrada $(P_2) = 1.5\ atm$
- Porcentaje de oxígeno inicial $(\%Ox_1) = 0.21 = 21\%$
- Porcentaje de oxígeno suministrado $(\%Ox_2) = 1 = 100\%$

Para el cálculo del porcentaje de oxígeno se procede a utilizar la ley de las presiones parciales (Ley de Dalton).

$$P_T = P_1 + P_2 + P_3 + \cdots * P_n \tag{15}$$

$$P_T = P_1 + P_2$$

$$P_T * (\%Ox) = P_1 * (\%Ox_1) + P_2 * (\%Ox_2)$$

$$2.5 * (\%Ox) = 1 * (0.21) + 1.5 * (1)$$

$$(\%Ox) = \frac{1 * (0.21) + 1.5 * (1)}{2.5}$$

$$(\%Ox) = 0.684 = 68.4\%$$

Para alcanzar el 95% de oxígeno si alterar la presión final deseada, se deberá reducir la presión inicial y aumentar la presión suministrada. Esto se logra al alcanzar primeramente la presión deseada y luego liberando presión para suministras más oxígeno.

$$P_T = P_1 + P_2$$

$$P_T * (\%Ox) = P_1 * (\%Ox_1) + P_2 * (\%Ox_2)$$

$$2.5 * (\%Ox) = 0.15 * (0.21) + 2.35 * (1)$$

$$(\%Ox) = \frac{0.15 * (0.21) + 2.35 * (1)}{2.5}$$

$$(\%Ox) = 0.9526 = 95.36\ \%$$

3.1.2 Cálculos de los parámetros para el prototipo que se utilizó como referencia

- **Cálculo del volumen del tanque de oxígeno**

El volumen inicial aproximado del tanque de oxígeno dependerá de las dimensiones del tanque donde su altura es de 1.16 m y su ancho de 0.25 m.

$$V_1 = \pi * r^2 * h \tag{8}$$

$$V_1 = \pi * \left(\frac{0.25}{2}\right)^2 * 1.16$$

$$V_1 = 0.0569\ m^3$$

- **Cálculo de tiempo de presurización**

El tiempo de presurización y despresurización dependen del volumen y el caudal de llenado de la cámara hiperbárica. Según [15], el caudal de llenado está entre los valores de 10 a 30 L/min, y el volumen del cilindro de la cámara hiperbárica es de $0.162\ m^3$.

Datos conocidos:

- Longitud de la manguera $(L) = 2.35\ m$
- Diámetro interior $(d) = 0.01\ m$

- Presión salida $(P_{sal}) = 30.76\, psi\ =\ 212.05\, kPa$
- Presión externa $(P_{ext}) =\ 1\, atm = 101325\, kPa$
- Densidad del oxígeno $(\rho) = 177.6 \frac{kg}{m^3}$
- Viscosidad dinámica del oxígeno $(\mu) = 1.965x10^{-5} Pa * s$

- **Diferencia de presión** $(\Delta \boldsymbol{P})$:

$$\Delta P = P_{sal} - P_{ext} \tag{9}$$

$$\Delta P = 212\,050 - 101325 = 110725\, kPa$$

- **Relación entre velocidad y pérdida de presión (Darcy-Weisbach):**

La velocidad de salida está dada por:

$$v = \sqrt{\frac{2*\Delta P}{\rho*\left(1+f*\frac{L}{d}\right)}} \tag{10}$$

$$v = \sqrt{\frac{2 * 110725}{177.6 * \left(1 + f * \frac{2.35}{0.01}\right)}}$$

- Ecuación para el cálculo del número de Reynolds (Re):

$$Re = \frac{\rho*v*d}{\mu} \tag{11}$$

Como v depende de Re y f, se asumirá un flujo turbulento inicialmente para iterar y obtener una aproximación razonable.

$Re > 4000$ (Flujo turbulento)

Para una manguera lisa en flujo turbulento, el factor de fricción (f) puede aproximarse usando la fórmula de Blasius:

$$f = 0.079 * Re^{-0.25} \tag{12}$$

$$f = 0.079 * (4000)^{-0.25}$$

$$f = 0.009$$

$$v = \sqrt{\frac{2 * 110725}{177.6 * \left(1 + 0.009 * \frac{2.35}{0.01}\right)}}$$

$$v = 7.503\ \frac{m}{s} * \frac{60\ s}{1\ min} = 450\ \frac{m}{min}$$

- **Cálculo del caudal:**

$$Q = A * v \tag{13}$$

$$Q = \pi * \left(\frac{d}{2}\right)^2 * v$$

$$Q = \pi * \left(\frac{0.01}{2}\right)^2 * 450$$

$$Q = 0.03535\ \frac{m^3}{s} = 35.35\ \frac{Lt}{min}$$

- **Cálculo de tiempo:**

Volumen por llenar $V = 11\ Lt$

$$t = \frac{V}{Q} \tag{14}$$

$$t = \frac{11}{35.35}$$

$$t = 0.311\ min * \frac{60\ seg}{1\ min} = 18.67\ seg$$

- **Cálculo de temperatura:**

Datos conocidos:

- Volumen $(V_1) = 0.162\ m^3$
- Presión inicial $(P_1) = 1\ atm$
- Presión final $(P_2) = 2\ atm$
- Índice politrópico (n): Suponiendo $n = 1.3$, lo cual es típico en compresiones rápidas, pero no completamente adiabáticas.

Para calcular la temperatura durante un proceso de compresión politrópica, podemos usar la relación derivada de la ecuación de los gases ideales, lo que vendría dado por la siguiente ecuación:

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1}\right)^{\frac{n-1}{n}} \quad (15)$$

$$T_2 = (14.15 - 273) * \left(\frac{2 * 101325}{101325}\right)^{\frac{1.3-1}{1.3}}$$

$$T_2 = 336.95\ K = 63.95\ °C$$

- **Cálculo del % oxígeno:**

Datos conocidos:

- Presión final $(\mathrm{P_T}) = 2.5$ atm
- Presión inicial $(\mathrm{P_1}) = 1$ atm
- Presión suministrada $(\mathrm{P_2}) = 1.5$ atm
- Porcentaje de oxígeno inicial $(\%\mathrm{Ox_1}) = 0.21 = 21\%$
- Porcentaje de oxígeno suministrado $(\%\mathrm{Ox_2}) = 1 = 100\%$

Para el cálculo del porcentaje de oxígeno se procede a utilizar la ley de las presiones parciales (Ley de Dalton).

$$\mathrm{P_T} = \mathrm{P_1} + \mathrm{P_2} + \mathrm{P_3} + \cdots * \mathrm{P_n} \quad (5)$$

$$\mathrm{P_T} = \mathrm{P_1} + \mathrm{P_2}$$

$$\mathrm{P_T} * (\%\mathrm{Ox}) = \mathrm{P_1} * (\%\mathrm{Ox_1}) + \mathrm{P_2} * (\%\mathrm{Ox_2})$$

$$2.5 * (\%\mathrm{Ox}) = 1 * (0.21) + 1.5 * (1)$$

$$(\%\mathrm{Ox}) = \frac{1 * (0.21) + 1.5 * (1)}{2.5}$$

$$(\%\mathrm{Ox}) = 0.684 = 68.4\%$$

Para alcanzar el 95% de oxígeno sin alterar la presión final deseada, se deberá reducir la presión inicial y aumentar la presión suministrada. Esto se logra al alcanzar primeramente la presión deseada y luego liberando presión para suministras más oxígeno.

$$\mathrm{P_T} = \mathrm{P_1} + \mathrm{P_2}$$

$$\mathrm{P_T} * (\%\mathrm{Ox}) = \mathrm{P_1} * (\%\mathrm{Ox_1}) + \mathrm{P_2} * (\%\mathrm{Ox_2})$$

$$2.5 * (\%\mathrm{Ox}) = 0.15 * (0.21) + 2.35 * (1)$$

$$(\%Ox) = \frac{0.15 * (0.21) + 2.35 * (1)}{2.5}$$

$$(\%Ox) = 0.9526 = 95.36\ \%$$

- **Creación del sistema de interfaz de usuario con Nextion editor**

En la Fig. 26 se muestra la interfaz principal del editor Nextion.

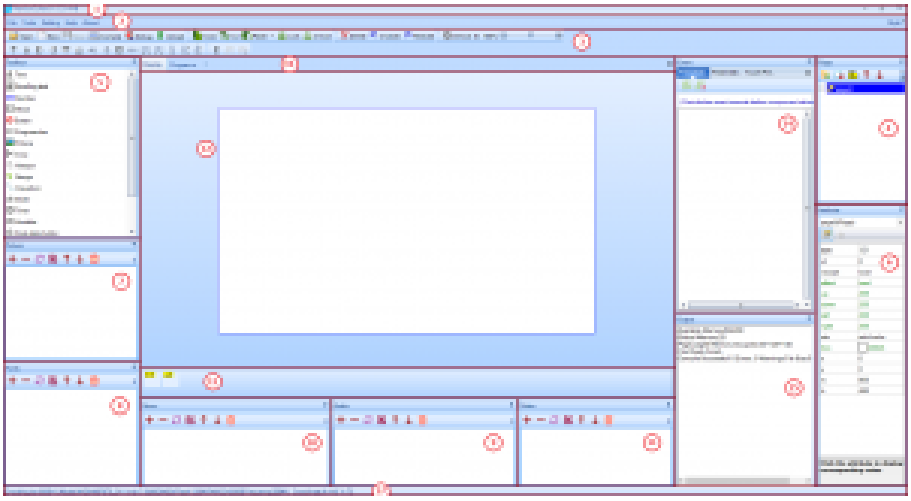


Figura 27. Interfaz principal del editor Nextion.

A continuación, se detalla el paso a paso del sistema de interfaz:

1. Primero se establece la imagen de fondo y el botón de inicio para crear la portada del interfaz de usuario, para iniciar con la programación. Como se muestra en la Fig. 27.

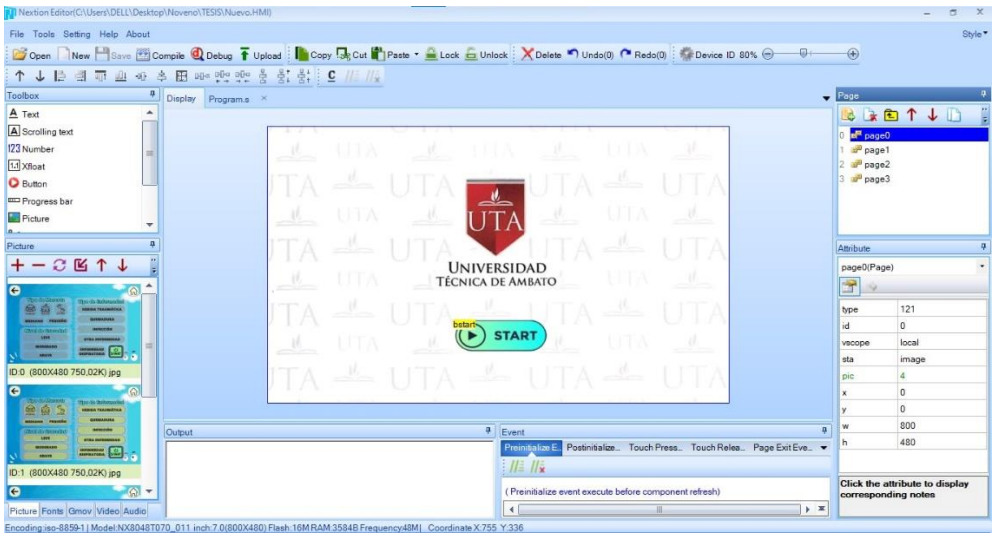


Figura 28. Portada del interfaz de usuario.

2. En la Fig. 28 se añadieron los botones correspondientes a los diferentes tipos y tamaños de mascotas, nivel de gravedad, y el tipo de enfermedad a tratar. Para seleccionar el tratamiento adecuado para cada caso.

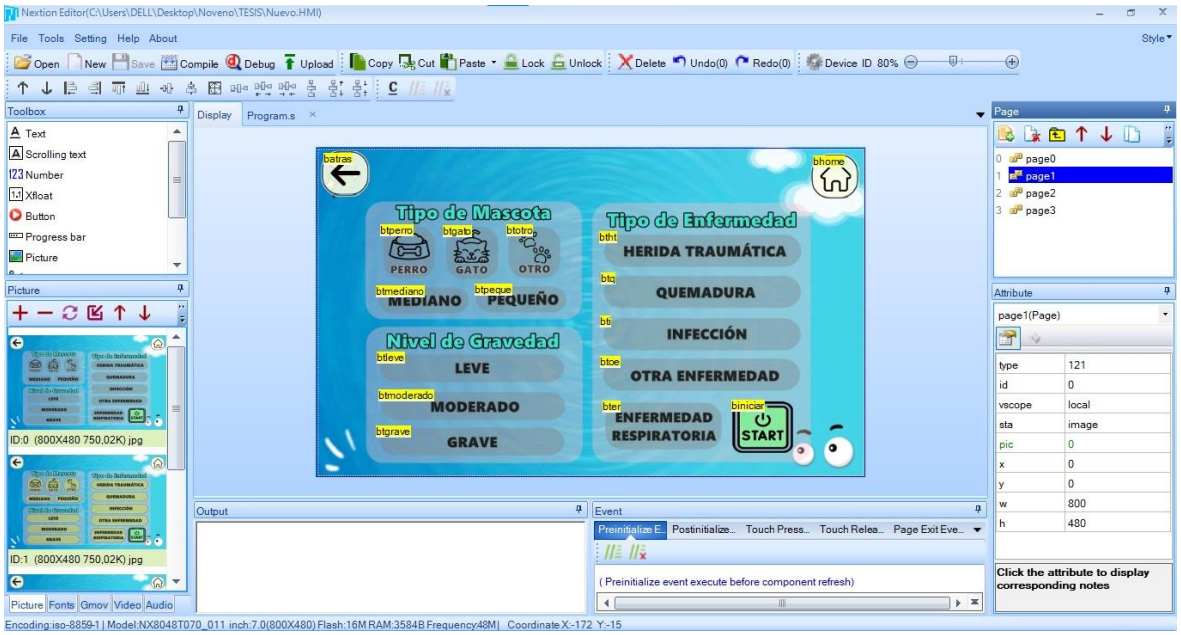


Figura 29. Interfaz de selección de parámetros para inicio de tratamiento.

3. En la Fig. 29, se observa el panel de control donde se muestran los botones que permiten leer y controlar los parámetros internos de la cámara hiperbárica.

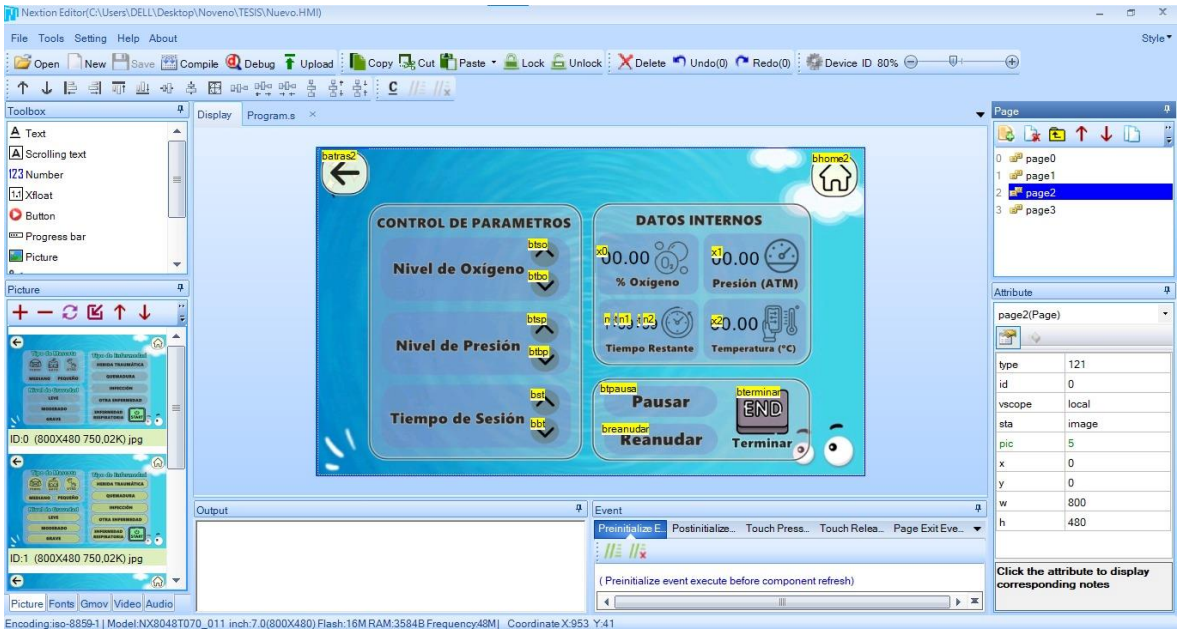


Figura 30. Interfaz de lectura y control de parámetros

- **Descripción del código de automatización de la cámara hiperbárica**

A continuación, se presenta el código desarrollado para la automatización de la cámara hiperbárica teniendo como objetivo controlar las variables principales del sistema, garantizando un funcionamiento seguro y preciso. En las siguientes imágenes se podrá observar partes esenciales del código.

- Estructura del código

La mayor parte del código fue desarrollado en Arduino IDE debido a su versatilidad y facilidad para la integración de los componentes en el sistema.

1. Declaración de librerías necesarias para el funcionamiento del Arduino con los diferentes componentes del sistema. A continuación, se puede observar en la Fig. 30.

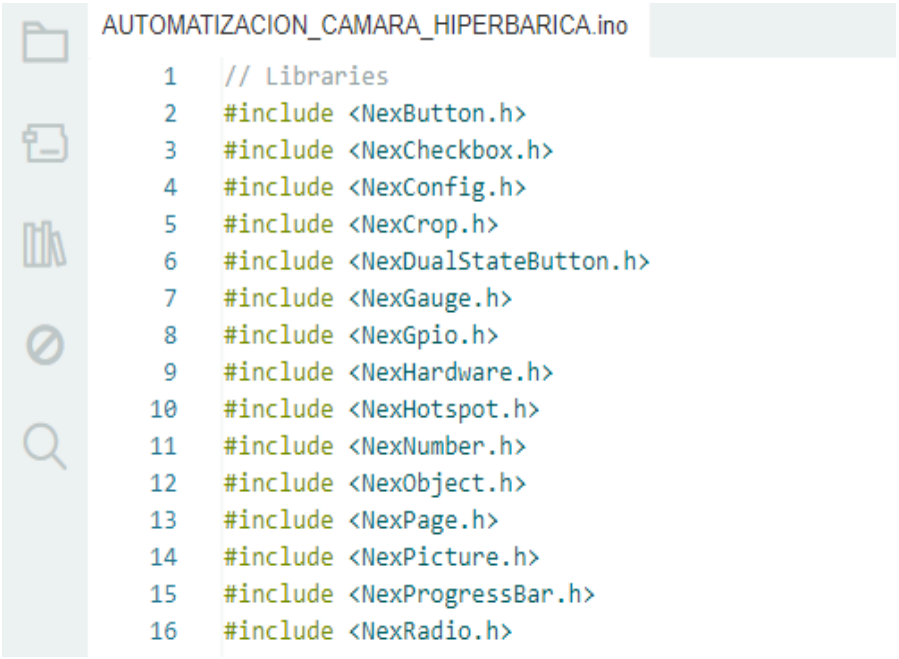


Figura 31. Declaración de librerías.

2. Declaración de las variables de entrada y salida de datos para controlar los parámetros que regula el sistema automatizado. Esto se puede observar en la Fig. 31.

```
//Declaracion de variables
const int valvula_entrada = 52;
const int valvula_salida = 50;

const int sensor_presion = A0;    // Pin analógico donde está conectado el sensor
const float resistencia = 240.0;    // Resistencia en ohmios
const float voltajeReferencia = 5.0;    // Voltaje máximo de referencia del Arduino
const int resolucionADC = 1023;    // Resolución del ADC (10 bits)

//Configuración del rango del sensor
const float corrienteMin = 4.0;    // Corriente mínima en mA
const float corrienteMax = 20.0;    // Corriente máxima en mA
const float presionMin = 0.0;    // Presión mínima (en bar, por ejemplo)
const float presionMax = 10.0;    // Presión máxima (según modelo, 100 bar)

//Variables
float voltaje;    // Voltaje leído en el pin analógico
float corriente;    // Corriente calculada (mA)
float presion;    // Presión calculada
int presion2;
int oxigeno;
int temperatura;
```

Figura 32. Declaración de variables de entrada y salida.

3. Declaración de los botones de la pantalla Nextion para la comunicación con el microcontrolador Arduino y este a su vez con los demás dispositivos. En la Fig. 32 se puede observar la sintaxis de la comunicación con la pantalla.

```
//Declaracion de los botones de nextion
//pagina0
NexButton b_start = NexButton(0, 1, "bstart");

//pagina1
NexDSButton bt_perro = NexDSButton(1, 3, "btperro");
NexDSButton bt_gato = NexDSButton(1, 4, "btgato");
NexDSButton bt_otro = NexDSButton(1, 5, "btotro");
NexDSButton bt_mediano = NexDSButton(1, 6, "btmediano");
NexDSButton bt_peque = NexDSButton(1, 7, "btpeque");
NexDSButton bt_leve = NexDSButton(1, 8, "btleve");
NexDSButton bt_moderado = NexDSButton(1, 9, "btmoderado");
NexDSButton bt_grave = NexDSButton(1, 10, "btgrave");
NexDSButton bt_ht = NexDSButton(1, 11, "btht");
NexDSButton bt_q = NexDSButton(1, 12, "btq");
NexDSButton bt_i = NexDSButton(1, 13, "bti");
NexDSButton bt_oe = NexDSButton(1, 14, "btoe");
NexDSButton bt_er = NexDSButton(1, 15, "bter");
NexButton b_iniciar = NexButton(1, 16, "biniciar");
NexButton b_home_1 = NexButton(1, 2, "bhome");
NexButton b_atras_1 = NexButton(1, 1, "batras");

//pagina2
NexDSButton bt_so = NexDSButton(2, 8, "btso");
NexDSButton bt_bo = NexDSButton(2, 9, "btbo");
NexDSButton bt_sp = NexDSButton(2, 10, "btsp");
NexDSButton bt_bp = NexDSButton(2, 11, "btbp");
```

Figura 33. Declaración de los botones de la pantalla Nextion.

4. Establecer los parámetros de inicio del sistema automatizado en el void setup del microcontrolador para asegurar que todas las condiciones iniciales se cumplan. Esto se puede observar en la Fig. 33.

```
// Setup Function
void setup(void) {

  Serial.begin(9600);
  nexInit();

  //pines de entrada y salida
  pinMode(sensor_presion, INPUT);
  pinMode(valvula_entrada, OUTPUT);
  pinMode(valvula_salida, OUTPUT);
  digitalWrite(valvula_entrada, 1);
  digitalWrite(valvula_salida, 1);

  //botones para las funciones de nextion
  b_start.attachPop(start, &b_start);
  bt_perro.attachPop(valor_perro, &bt_perro);
  bt_gato.attachPop(valor_gato, &bt_gato);
  bt_otro.attachPop(valor_otro, &bt_otro);
  bt_mediano.attachPop(valor_mediano, &bt_mediano);
  bt_peque.attachPop(valor_peque, &bt_peque);
  bt_leve.attachPop(valor_leve, &bt_leve);
  bt_moderado.attachPop(valor_moderado, &bt_moderado);
  bt_grave.attachPop(valor_grave, &bt_grave);
  bt_ht.attachPop(valor_herida_traumatica, &bt_ht);
  bt_q.attachPop(valor_quemadura, &bt_q);
  bt_i.attachPop(valor_infecciones, &bt_i);
  bt_er.attachPop(valor_enfermedad_respiratoria, &bt_er);
```

Figura 34. Parámetros de inicio del sistema automatizado.

5. Establecer todas las condiciones y funciones que deben cumplirse en el void loop del microcontrolador para la ejecución cíclica de estas. Esto se muestra en la Fig. 34 a continuación.

```
// Funcion Loop
void loop()
{
  if (temporizadorActivo && !temporizadorPausado)
  {
    //lectura de la base de datos
    perro = EEPROM.read(0);
    gato = EEPROM.read(1);
    otro = EEPROM.read(2);
    mediano = EEPROM.read(3);
    peque = EEPROM.read(4);
    grave = EEPROM.read(5);
    moderado = EEPROM.read(6);
    leve = EEPROM.read(7);
    herida_traumatica = EEPROM.read(8);
    quemadura = EEPROM.read(9);
    infecciones = EEPROM.read(10);
    enfermedad_respiratoria = EEPROM.read(11);
    otra_enfermedad = EEPROM.read(12);
    int limite_presion = EEPROM.read(13);
    int limite_oxigeno = EEPROM.read(14);
    int tiempo = EEPROM.read(15);

    if(35 <= tiempo <= 120)
    {
    delay(15);
    nexLoop(nex_listen_list);
```

Figura 35. Condicione y funciones que se deben cumplir.

6. Lectura de los datos del sensor y calibración de estos para establecer los parámetros utilizados en el sistema automatizado. Véase la Fig. 35.

```
//Leer el valor analógico y calcular el voltaje
float lecturaADC = analogRead(sensor_presion);
voltaje = (lecturaADC * voltajeReferencia) / resolucionADC;
Serial.print("lectura: ");
Serial.println(lecturaADC);
Serial.print("voltaje: ");
Serial.println(voltaje);

// Calcular la corriente en mA (I = V / R)
corriente = (voltaje / resistencia) * 1000.0;    // Convertir a mA

//Mapear la corriente al rango de presión
float presion1 = mapear(corriente, corrienteMin, corrienteMax, presionMin, presionMax);
presion = (presion1+1.01)*100;    //presion calibrada a atm
Serial.print("presion: ");
Serial.println(presion);
int presion2 = (int)presion;
suma -= valores[indice];
valores[indice] = presion2;
suma += presion2;
indice = (indice + 1) % numValores;
int presion3 = suma / numValores;
int oxigeno = (((presion3-92.5)*1+92.5*0.21)/presion3)*10000;
double valorx = pow((presion3 / presion_inicial), 0.2805755396);
int rgx = (int)valorx;
int temperatura = temperatura_inicial * rgx;
```

Figura 36. Lectura y calibración de datos del sensor.

7. Llamar los datos leídos de los parámetros a controlar hacia la pantalla Nextion para visualizar en la interfaz de usuario. Como se vizualiza en la Fig. 36.

```
//datos de oxigeno, presion y temperatura para imprimir en la pantalla
Serial.print("x0.val=");
Serial.print(oxigeno);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.println(" ");
delay(15);

Serial.print("x1.val=");
Serial.print(presion3);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.println(" ");
delay(15);

Serial.print("x2.val=");
Serial.print(temperatura);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
delay(15);
```

Figura 37. Mandar los datos leídos a la pantalla Nextion.

8. Manejo del tiemp con temporizador y cálculo del tiempo de sesión dentro de la cámara hiperbárica con el control de timer1 integrado en el Arduino. Véase la Fig. 37.

```
// Calcular horas, minutos y segundos restantes
unsigned int horas = segundosRestantes / 3600;
unsigned int minutos = (segundosRestantes % 3600) / 60;
unsigned int segundos = segundosRestantes % 60;

  if (segundosRestantes <= 0)
  {
    EEPROM.write(15, 0);
    segundosRestantes=0;
    pausarTimer();
    } else {
    EEPROM.put(40, segundosRestantes);
  }

//guardar tiempo
EEPROM.put(20, horas);
EEPROM.put(21, minutos);
EEPROM.put(22, segundos);

  // Guardar tiempo restante en EEPROM cada 5 segundos
  if (millis() - ultimaEscrituraEEPROM >= intervaloEEPROM)
  {
    EEPROM.update(15, (uint8_t)(segundosRestantes >> 8));    // Parte alta
    EEPROM.update(16, (uint8_t)(segundosRestantes & 0xFF));    // Parte baja
    ultimaEscrituraEEPROM = millis();
  }
```

Figura 38. Calculo y control de tiempo de tratamiento.

9. Sistema de control de válvulas de acuerdo con los parámetros de tiempo y presión que se encuentran durante la sesión de tratamiento médico. Esto se puede observar en la Fig. 38.

```
int presion_comparar = EEPROM.read(13);
nexLoop(nex_listen_list);

if(presion3<220){
if(0<segundosRestantes && segundosRestantes<10800){
configurarTimer1();
reanudarTimer();
digitalWrite(valvula_entrada, 0);
digitalWrite(valvula_salida, 1);
}
}
if(presion3<=93||segundosRestantes >0){
digitalWrite(valvula_salida, 1);
segundosRestantes=0;
delay(15);
configurarTimer1();
reanudarTimer();
delay(15);
if(segundosRestantes<=0){
Serial.print("page ");
Serial.print(0);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
Serial.write(0xff);
}
break;
}
```

Figura 39. Función para el control de apertura y cierre de válvulas.

10. Funciones generales para detener, pausar, reanudar y configurar el timer1 integrado en el Arduino para gestionar los tiempos del sistema automático. Compréndase en la Fig. 39.

```
// Funciones del timer

void detenerTimer1() {
    TCCR1B = 0;     // Detener Timer1
    TIMSK1 = 0;     // Deshabilitar la interrupción
}

// Función para reanudar el temporizador
void reanudarTimer() {
    if (temporizadorPausado) {
    temporizadorPausado = false;
    Serial.println("Temporizador reanudado.");
    }
}

// Función para pausar el temporizador
void pausarTimer() {
    if (!temporizadorPausado) {
    temporizadorPausado = true;
    Serial.println("Temporizador pausado.");
    }
}

// Función para configurar Timer1
void configurarTimer1() {
```

Figura 40. Funciones para controlar el tiempo de sesión.

11. Realización de las funciones que se utilizaran para la selección adecuada del tipo de tratamiento que debe usarse para la recuperación de la mascota. Esto se puede observar en la Fig. 40.

```
//funciones para la seleccion del tratamiento
void valor_perro(void *ptr) {
    int perro = EEPROM.read(0);
    if (perro == 1) {
    EEPROM.write(0, 0);    //direccion 0 para perro, 1 como verdadero y 0 como falso
    EEPROM.write(1, 0);    //direccion 1 para gato, 1 como verdadero y 0 como falso
    EEPROM.write(2, 0);    //direccion 2 para otro, 1 como verdadero y 0 como falso
    } else {
    EEPROM.write(0, 1);    //direccion 0 para perro, 1 como verdadero y 0 como falso
    EEPROM.write(1, 0);    //direccion 1 para gato, 1 como verdadero y 0 como falso
    EEPROM.write(2, 0);    //direccion 2 para otro, 1 como verdadero y 0 como falso
    }
}

void valor_gato(void *ptr) {···
}

void valor_otro(void *ptr) {···
}

void valor_mediano(void *ptr) {···
}

void valor_peque(void *ptr) {···
}
```

Figura 41. Funciones para guardar parámetros de selección.

12. Selección del tratamiento a seguir de acuerdo con las variables obtenidas de las funciones anteriormente mencionadas en la figura. Esto permitirá ejecutar un tratamiento con el tiempo y presión necesaria para la recuperación de la mascota. Véase en la Fig. 41.

```
void iniciar() {
    delay(15);
    configurarTimer1();
    reanudarTimer();
    temporizadorActivo = true;
    //tratamiento de 120 minutos
    if (grave == 1) {
    if (perro == 1) {
    if (mediano == 1) {
    if (herida_traumatica == 1) {
    EEPROM.write(0, 0);
    EEPROM.write(1, 0);
    EEPROM.write(2, 0);
    EEPROM.write(3, 0);
    EEPROM.write(4, 0);
    EEPROM.write(5, 0);
    EEPROM.write(6, 0);
    EEPROM.write(7, 0);
    EEPROM.write(8, 0);
    EEPROM.write(9, 0);
    EEPROM.write(10, 0);
    EEPROM.write(11, 0);
    EEPROM.write(12, 0);
    EEPROM.write(13, 225);    //limite de presion
    EEPROM.write(14, 9500);    //limite de oxigeno
    EEPROM.write(15, 120);    //tiempo de sesion
    segundosRestantes = EEPROM.read(15) * 60;
    return segundosRestantes;
```

Figura 42. Función para la selección del tratamiento.

13. Funciones vinculadas con los botones de la pantalla para controlar la activación de las electroválvulas y regular los parámetros de presión, oxígeno y temperatura. Como se visualiza en la Fig. 42.

```
void bajar_presion(void *ptr) {
    uint32_t estado;
    delay(15);
    bt_bp.getValue(&estado);

    while(estado == 1)
    {
    delay(15);
    nexLoop(nex_listen_list);
    //Leer el valor analógico y calcular el voltaje
    float lecturaADC = analogRead(sensor_presion);
    voltaje = (lecturaADC * voltajeReferencia) / resolucionADC;

    // Calcular la corriente en mA (I = V / R)
    corriente = (voltaje / resistencia) * 1000.0;    // Convertir a mA

    //Mapear la corriente al rango de presión
    float presion1 = mapear(corriente, corrienteMin, corrienteMax, presionMin, presionMax);
    presion = (presion1+1.01)*100;    //presion calibrada a atm
    int presion2 = (int)presion;
    suma -= valores[indice];
    valores[indice] = presion2;
    suma += presion2;
    indice = (indice + 1) % numValores;
    int presion3 = suma / numValores;
    int oxigeno = (((presion3-76)*1+76*0.21)/presion3)*10000;
    double valorx = pow((presion3 / presion_inicial), 0.2805755396);
    int rgx = (int)valorx;
```

Figura 43. Funciones para el control de parámetros dentro de la cámara hiperbárica.

14. Funciones para controlar el tiempo durante el tratamiento médico de la mascota, ayudando a restablecer el tiempo requerido según el médico veterinario lo crea pertinente. Véase la Fig. 43.

```
void subir_minutos() {
    if(segundosRestantes<=1 || minutos==1){
    int segundosRestantes=60;
    configurarTimer1();
    reanudarTimer();
    unsigned int minutos = (segundosRestantes) / 60;
    minutos++;
    segundosRestantes = (minutos * 60);
    EEPROM.put(40, segundosRestantes);
    nexLoop(nex_listen_list);
    }
    if(segundosRestantes>0){
    EEPROM.get(40, segundosRestantes);
    configurarTimer1();
    reanudarTimer();
    unsigned int minutos = (segundosRestantes) / 60;
    minutos++;
    segundosRestantes = (minutos * 60);
    EEPROM.put(40, segundosRestantes);
    nexLoop(nex_listen_list);
    }
}

void bajar_minutos() {
    if(segundosRestantes<=0){
    segundosRestantes=0;
    int horas=0;
```

Figura 44. Funciones para controlar el tiempo durante el tratamiento.

15. Función de seguridad para garantizar que no sobrepase los valores máximos de presión a gestionar. Esto se puede observar en la Fig. 44.

```
while (presion3 >= presion_comparar)
{
nexLoop(nex_listen_list);
digitalWrite(valvula_entrada, 1);
digitalWrite(valvula_salida, 0);
delay(15);
nexLoop(nex_listen_list);
```

Figura 45. Función para el sistema de seguridad para controlar la presión máxima.

- **PONDERACIÓN DE TIEMPOS**

Considerando que 10 es el mayor tiempo de sesión y 1 el menor tiempo de sesión, aproximadamente la duración de una sesión de oxigenoterapia es de 30 minutos a 120 minutos. En la Tabla XVI se muestra la ponderación de tiempo de tratamiento para un caso grave.

TABLA XVI

PONDERACIÓN PARA UN CASO GRAVE

	Perro	Gato	Otro	
Herida traumática	10	9	9	Mediano
Quemadura	10	9	9	Mediano
Infecciones	9	9	8	Mediano
Enfermedad respiratoria	9	9	8	Mediano
Otra enfermedad	8	7	7	Mediano
Herida traumática	8	8	7	Pequeño
Quemadura	8	8	7	Pequeño
Infecciones	8	7	6	Pequeño
Enfermedad respiratoria	8	7	6	Pequeño
Otra enfermedad	8	7	6	Pequeño

En la Tabla XVII se muestra la ponderación de tiempo de tratamiento para un caso grave.

TABLA XVII

PONDERACIÓN PARA UN CASO MODERADO

	Perro	Gato	Otro	
Herida traumática	9	8	7	Mediano
Quemadura	9	8	7	Mediano
Infecciones	8	7	6	Mediano
Enfermedad respiratoria	8	7	6	Mediano
Otra enfermedad	7	6	5	Mediano
Herida traumática	7	6	5	Pequeño
Quemadura	7	6	5	Pequeño
Infecciones	6	5	4	Pequeño
Enfermedad respiratoria	6	5	4	Pequeño
Otra enfermedad	6	5	4	Pequeño

En la Tabla XVIII se muestra la ponderación de tiempo de tratamiento para un caso grave.

TABLA XVIII

PONDERACIÓN PARA UN CASO LEVE

	Perro	Gato	Otro	
Herida traumática	7	6	5	Mediano
Quemadura	7	6	5	Mediano
Infecciones	6	5	4	Mediano
Enfermedad respiratoria	6	5	4	Mediano
Otra enfermedad	5	4	3	Mediano
Herida traumática	5	4	3	Pequeño
Quemadura	5	4	3	Pequeño
Infecciones	4	3	2	Pequeño
Enfermedad respiratoria	4	3	2	Pequeño
Otra enfermedad	4	3	2	Pequeño

Determinación del tiempo de sesión en función de las ponderaciones realizadas:

$$10 -> 120\text{min}$$

$$1 -> 30\text{min}$$

A continuación, se detallan los resultados de la ponderación de tiempos para cada caso:

En la Tabla XIX se muestran los resultados de ponderación de tiempos para cada caso, esto se determinó con una regla de tres con los datos obtenidos en la Tabla XVIII.

TABLA XIX

RESULTADOS DE LA PONDERACIÓN DE TIEMPOS PARA CADA CASO

TIEMPO	DIFERENTES CASOS DE TRATAMIENTO EN MASCOTAS
120 MINUTOS	- Para un caso grave de un perro mediano con herida traumática. - Para un caso grave de un perro mediano con quemaduras.
111 MINUTOS	- Para un caso grave de un perro mediano con infecciones. - Para un caso grave de un perro mediano con enfermedad respiratoria.

TIEMPO	DIFERENTES CASOS DE TRATAMIENTO EN MASCOTAS
	- Para un caso grave de un gato mediano con herida traumática. - Para un caso grave de un gato mediano con quemaduras. - Para un caso grave de un gato mediano con infecciones. - Para un caso grave de un gato mediano con enfermedad respiratoria. - Para un caso grave de otro tipo de mascota mediana con herida traumática. - Para un caso grave de otro tipo otra mascota mediana con quemaduras. - Para un caso moderado de un perro mediano con herida traumática. - Para un caso moderado de un perro mediano con quemaduras.
102 MINUTOS	- Para un caso grave de otro tipo de mascota mediana con infección. - Para un caso grave de otro tipo de mascota mediana con enfermedad respiratoria. - Para un caso grave de un perro mediano con cualquier otra enfermedad. - Para un caso grave de un perro pequeño con herida traumática. - Para un caso grave de un gato pequeño con herida traumática. - Para un caso grave de un perro pequeño con quemaduras. - Para un caso grave de un gato pequeño con quemaduras. - Para un caso grave de un perro pequeño con infecciones. - Para un caso grave de un perro pequeño con enfermedad respiratoria. - Para un caso grave de un perro pequeño con cualquier otra enfermedad. - Para un caso moderado de un gato mediano con herida traumática. - Para un caso moderado de un perro mediano con infecciones.

TIEMPO	DIFERENTES CASOS DE TRATAMIENTO EN MASCOTAS
	- Para un caso moderado de un perro mediano con enfermedad respiratoria.
93 MINUTOS	- Para un caso grave de un gato mediano con cualquier otra enfermedad. - Para un caso grave de otro tipo de mascota mediana con otra enfermedad. - Para un caso grave de otro tipo de mascota pequeña con herida traumática. - Para un caso grave de otro tipo de mascota pequeña con quemaduras. - Para un caso grave de un gato pequeño con infecciones. - Para un caso grave de un gato pequeño con enfermedad respiratoria. - Para un caso grave de un gato pequeño con otra enfermedad. - Para un caso moderado de otro tipo de mascota mediana con herida traumática. - Para un caso moderado de otro tipo de mascota mediana con quemaduras. - Para un caso moderado de un gato mediano con infecciones. - Para un caso moderado de un gato mediano con enfermedad respiratoria. - Para un caso moderado de un perro mediano con cualquier otra enfermedad. - Para un caso moderado de un perro pequeño con herida traumática. - Para un caso moderado de un perro pequeño con quemaduras. - Para un caso leve de un perro mediano con herida traumática. - Para un caso leve de un perro mediano con quemaduras.
84 MINUTOS	- Para un caso grave de otro tipo de mascota pequeña con infecciones.

TIEMPO	DIFERENTES CASOS DE TRATAMIENTO EN MASCOTAS
	- Para un caso grave de otro tipo de mascota pequeña con enfermedad respiratoria. - Para un caso grave de otro tipo de mascota pequeña con otra enfermedad. - Para un caso moderado de otro tipo de mascota mediano con infecciones. - Para un caso moderado de otro tipo de mascota mediana con enfermedad respiratoria. - Para un caso moderado de un gato mediano con otra enfermedad. - Para un caso moderado de un gato pequeño con herida traumática. - Para un caso moderado de un gato pequeño con quemaduras. - Para un caso moderado de un perro pequeño con infecciones. - Para un caso moderado de un gato pequeño con enfermedad respiratoria. - Para un caso moderado de un perro pequeño con otra enfermedad. - Para un caso leve de un gato mediano con herida traumática. - Para un caso leve de un gato mediano con quemaduras. - Para un caso leve de un perro mediano con infecciones. - Para un caso leve de un perro mediano con enfermedad respiratoria.
75 MINUTOS	- Para caso moderado de otro tipo de mascota mediana con otra enfermedad. - Para caso moderado de otro tipo de mascota pequeña con herida traumática. - Para caso moderado de otro tipo de mascota pequeña con quemaduras. - Para caso moderado de un gato pequeño con infecciones. - Para caso moderado de un gato pequeño con enfermedad respiratoria.

TIEMPO	DIFERENTES CASOS DE TRATAMIENTO EN MASCOTAS
	- Para caso moderado de un gato pequeño con otro tipo de enfermedad. - Para caso leve de otro tipo de mascota mediana con herida traumática. - Para caso leve de otro tipo de mascota mediano con quemaduras. - Para caso leve de un gato mediano con infección. - Para caso leve de un gato mediano con enfermedad respiratoria. - Para caso leve de un perro mediano con otra enfermedad. - Para caso leve de un perro pequeño con herida traumática. - Para caso leve de un perro pequeño con quemaduras.
66 MINUTOS	- Para un caso moderado de otro tipo de mascota pequeño con infecciones. - Para un caso moderado de otro tipo de mascota pequeño con enfermedad respiratoria. - Para un caso moderado de otro tipo de mascota pequeño con otra enfermedad. - Para un caso leve de otro tipo de mascota mediana con infecciones. - Para un caso leve de otro tipo de mascota mediana con enfermedad respiratoria. - Para un caso leve de un gato mediano con otra enfermedad. - Para un caso leve de un gato pequeño con herida traumática. - Para un caso leve de un gato pequeño con quemaduras. - Para un caso leve de un perro pequeño con enfermedad respiratoria. - Para un caso leve de un perro pequeño con infecciones.
54 MINUTOS	- Para un caso leve de otro tipo de mascota mediana con otra enfermedad. - Para un caso leve de otro tipo de mascota pequeña con herida traumática.

TIEMPO	DIFERENTES CASOS DE TRATAMIENTO EN MASCOTAS
	- Para un caso leve de otro tipo de mascota pequeña con quemaduras. - Para un caso leve de un gato pequeño con infecciones. - Para un caso leve de un gato pequeño con enfermedad respiratoria. - Para un caso leve de un perro pequeño con otra enfermedad.
45 MINUTOS	- Para un caso leve de otro tipo de mascota pequeña con infecciones. - Para un caso leve de otro tipo de mascota pequeña con enfermedades respiratoria. - Para un caso leve de un gato pequeño con otra enfermedad.
35 MINUTOS	- Para un caso leve de otro tipo de mascota pequeña con otra enfermedad.

3.2 Pruebas de funcionamiento del proceso de presurización

A continuación, se presentan las pruebas de funcionamiento desarrolladas para la automatización de la cámara hiperbárica teniendo como objetivo controlar las variables principales del sistema, garantizando un funcionamiento seguro y preciso, las mismas que se hicieron en base a la Tabla XIX. En las siguientes figuras se podrá observar partes esenciales de estas pruebas. Para iniciar con las pruebas de funcionamiento se ocupó un compresor 2.5HP/50L, con una presión de 30Psi como se muestra en la Fig. 46.



Figura 46. Compresor de aire utilizado en las pruebas de funcionamiento y Barómetro inicial del compresor.

En la Fig. 47 se muestra la pantalla de portada con la que se iniciaron las pruebas de funcionamiento.

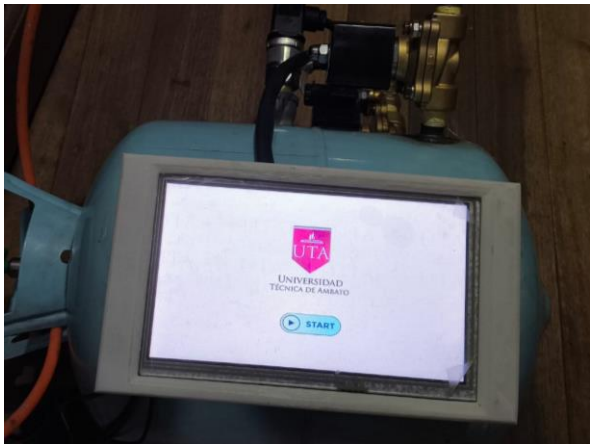


Figura 47. Portada de la interfaz de usuario.

En la Tabla XX se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento del prototipo, considerando los parámetros iniciales para el caso de 120 minutos que es el de mayor tiempo de tratamiento.

TABLA XX

RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL CASO DE MAYOR TIEMPO DE TRATAMIENTO

Resultados registrados para el caso 1			
Tiempo (segundos)	**Presión (atm)**	**%Oxigeno**	**Temperatura (ºC)**
0	1.03	22.48	15.30
1	1.04	25.73	15.45
2	1.10	30.56	15.60
3	1.16	37	15.90
4	1.24	41.06	16.20
5	1.34	45.46	16.50
6	1.46	49.94	15.95
7	1.57	53.45	17.25
8	1.72	57.51	17.70
9	1.82	59.87	18
10	1.92	61.94	18.30
11	2.01	63.64	18.60
12	2.09	65.03	18.75
13	2.17	66.32	18.90
14	2.26	67.66	19.20
15	2.31	68.50	19.35

En las figuras 48, 49 y 50 se presentan los resultados del comportamiento de la presión, el porcentaje de oxígeno y la temperatura dentro del prototipo de la cámara hiperbárica en función del tiempo para el caso 1. Estas gráficas permiten analizar cómo se desarrollan las variables durante el proceso, evidenciando la relación entre el incremento de presión, la variación en la concentración de oxígeno y los cambios en la temperatura. Los resultados obtenidos son fundamentales para evaluar la eficiencia y seguridad del sistema automatizado.

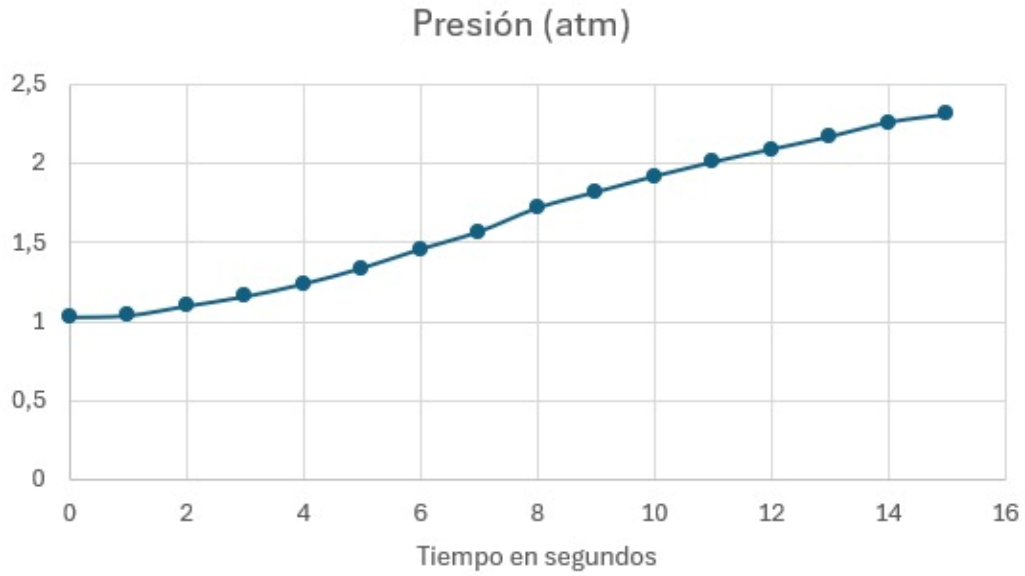


Figura 48. Gráfica de la presión en función del tiempo.

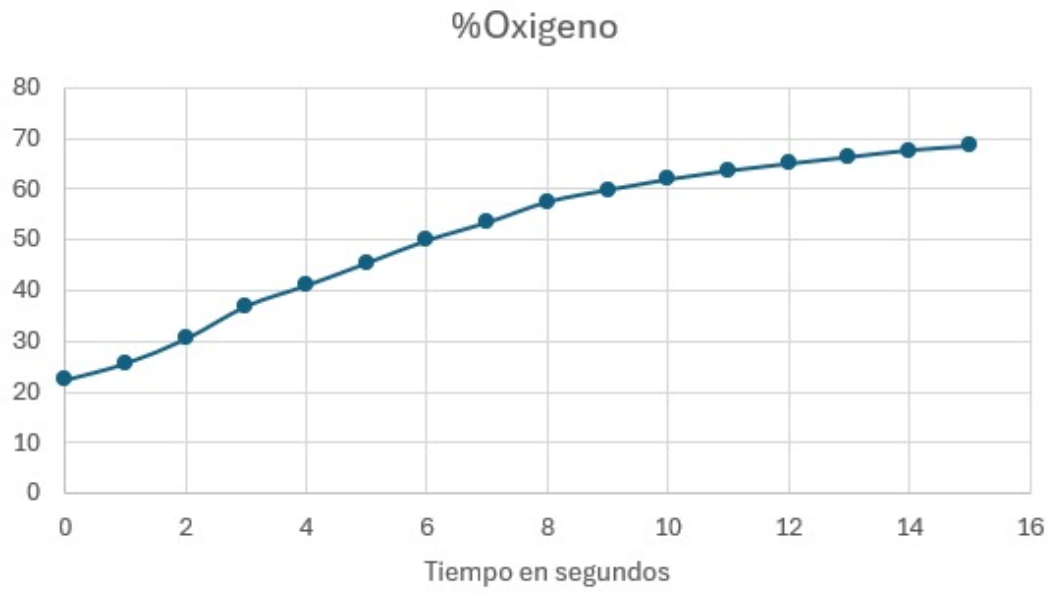


Figura 49. Gráfica del oxígeno en función del tiempo.

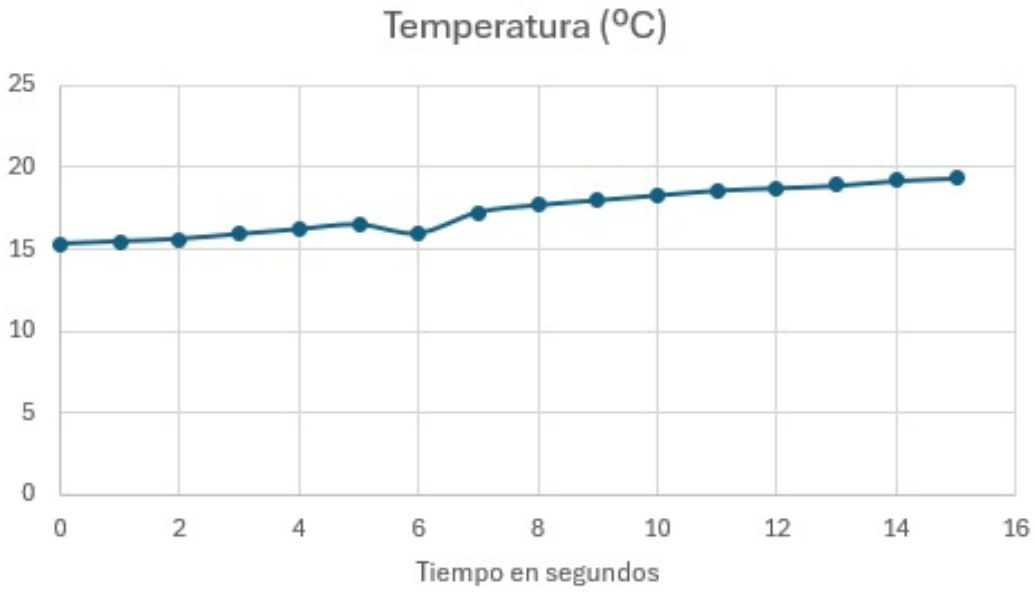


Figura 50. Gráfica de la temperatura en función del tiempo.

En la Tabla XX se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento del prototipo, considerando los parámetros iniciales para el caso de 75 minutos que es el de tiempo intermedio de tratamiento.

TABLA XXI

RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL CASO DE TIEMPO INTERMEDIO DE TRATAMIENTO

Resultados registrados para el caso 2			
Tiempo (segundos)	**Presión (atm)**	**%Oxigeno**	**Temperatura (ºC)**
0	0.94	22.26	15
1	0.98	24.66	15.15
2	1.03	29.05	15.30
3	1.10	33.56	15.60
4	1.23	40.58	16.20
5	1.26	42	16.20
6	1.43	50.28	16.80
7	1.59	52.85	17.25
8	1.67	56.24	17.55
9	1.78	58.97	17.85
10	1.88	61.13	18.15
11	1.98	63.09	18.45
12	2.07	63.69	18.75
13	2.15	66.01	18.90
14	2.23	67.23	19.05
15	2.32	68.22	19.20

En las figuras 51, 52 y 53 se presentan los resultados del comportamiento de la presión, el porcentaje de oxígeno y la temperatura dentro del prototipo de la cámara hiperbárica en función del tiempo para el caso 2. Estas gráficas permiten analizar cómo se desarrollan las variables durante el proceso, evidenciando la relación entre el incremento de presión, la variación en la concentración de oxígeno y los cambios en la temperatura. Los resultados obtenidos son fundamentales para evaluar la eficiencia y seguridad del sistema automatizado.

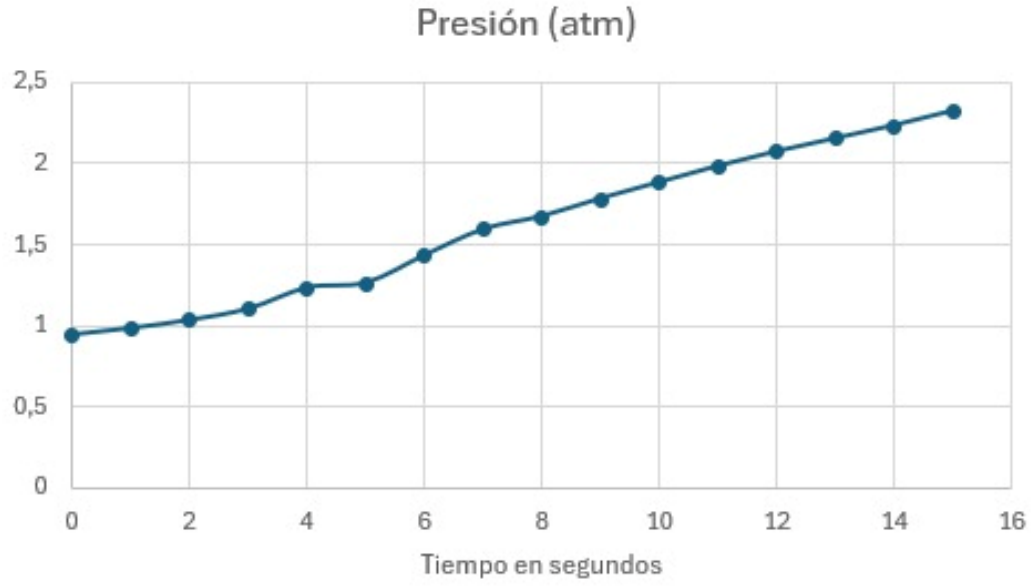


Figura 51. Gráfica de la presión en función del tiempo.

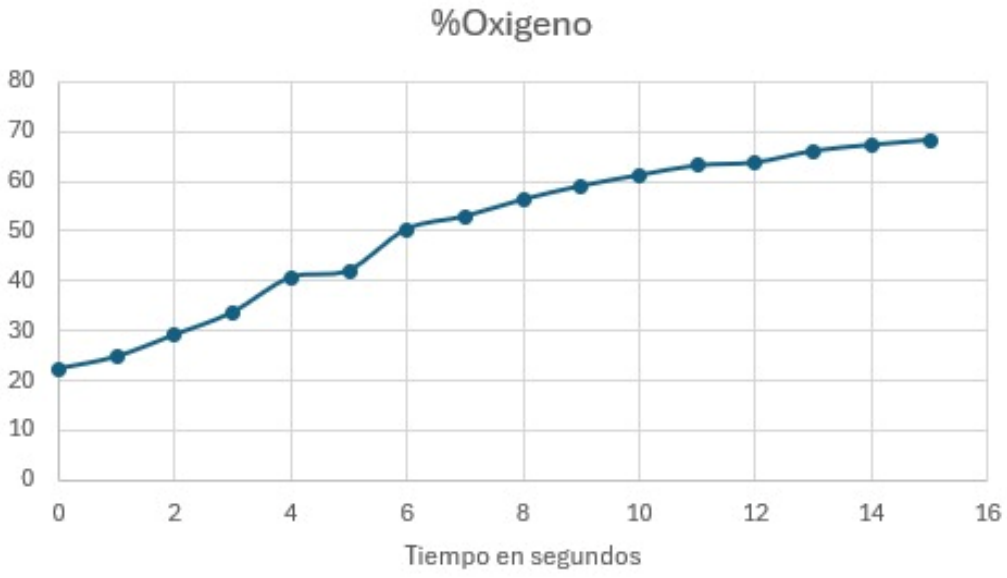


Figura 52. Gráfica del oxígeno en función del tiempo.

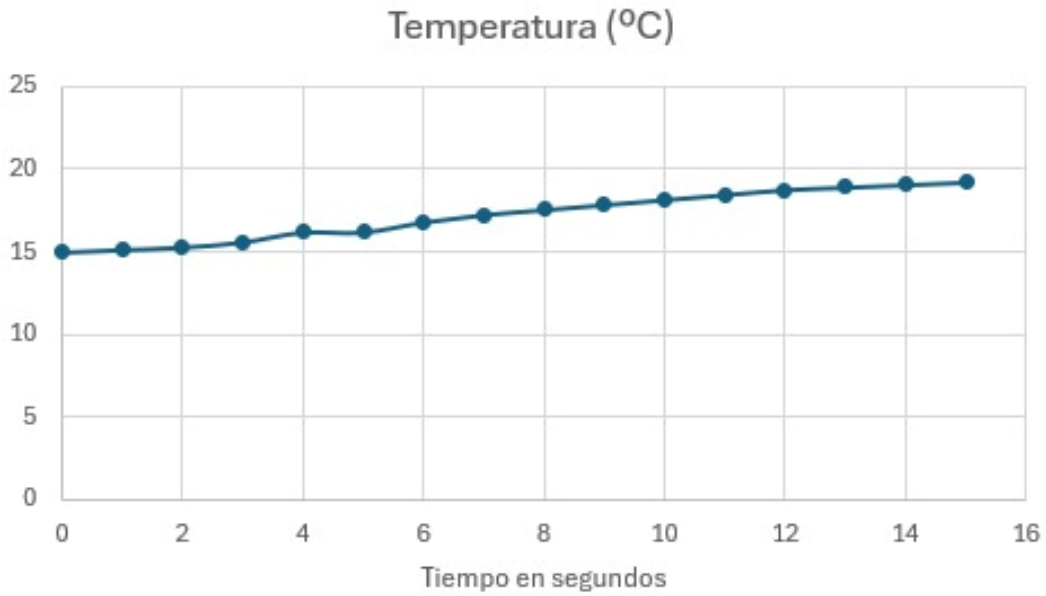


Figura 53. Gráfica de la temperatura en función del tiempo.

En la Tabla XX se muestra los resultados obtenidos de las pruebas de funcionamiento del prototipo, considerando los parámetros iniciales para el caso de 35minutos que es el de menor tiempo de tratamiento.

TABLA XXII

RESULTADOS OBTENIDOS PARA EL CASO DE MENOR TIEMPO DE TRATAMIENTO

Resultados registrados para el caso 3			
Tiempo (segundos)	**Presión (atm)**	**%Oxigeno**	**Temperatura (ºC)**
0	1.15	33.45	15.58
1	1 40	44.63	15.95
2	1.47	50.28	16.95
3	1.57	53.85	17.25
4	1.64	55.97	17.55
5	1.75	57.85	17.78
6	1.91	61.74	18.30
7	2	64.17	18.45
8	2.12	65.53	18.90
9	2.22	67.08	19.05
10	2.32	68.50	19.20
11	2.36	70.03	19.50
12	2.39	72.80	19.64

En las figuras 54, 55 y 56 se presentan los resultados del comportamiento de la presión, el porcentaje de oxígeno y la temperatura dentro del prototipo de la cámara hiperbárica en función del tiempo para el caso 2. Estas gráficas permiten analizar cómo se desarrollan las variables durante el proceso, evidenciando la relación entre el incremento de presión, la variación en la concentración de oxígeno y los cambios en la temperatura. Los resultados obtenidos son fundamentales para evaluar la eficiencia y seguridad del sistema automatizado.

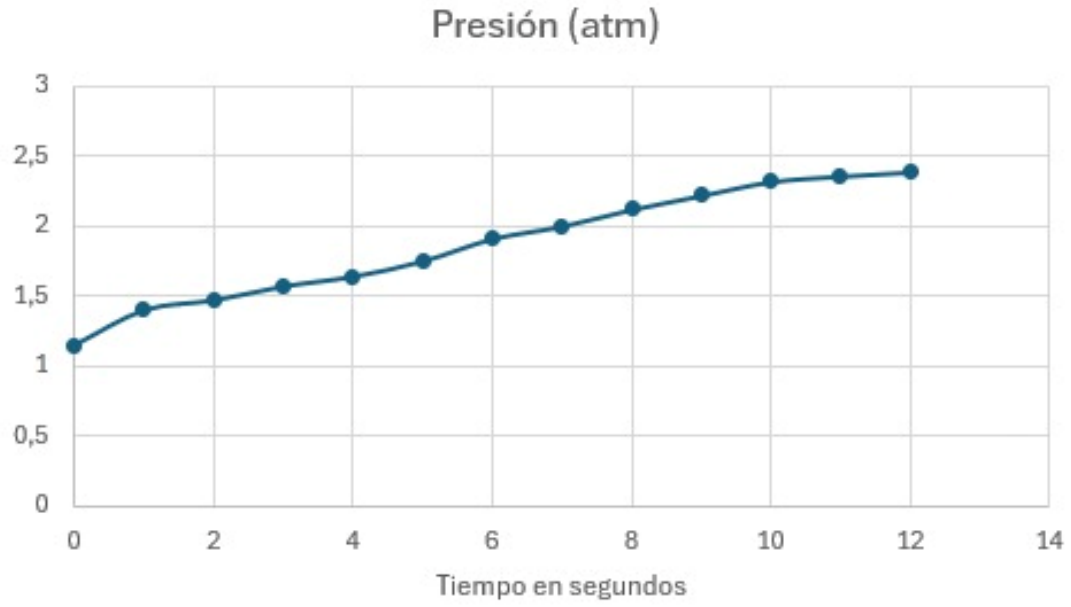


Figura 54. Gráfica de la presión en función del tiempo.

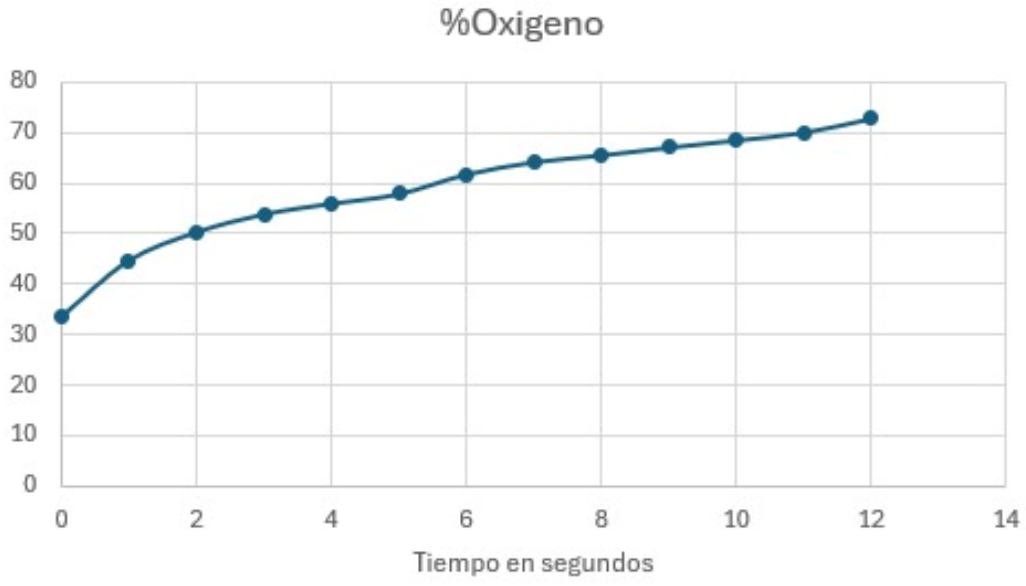


Figura 55. Gráfica del oxígeno en función del tiempo.

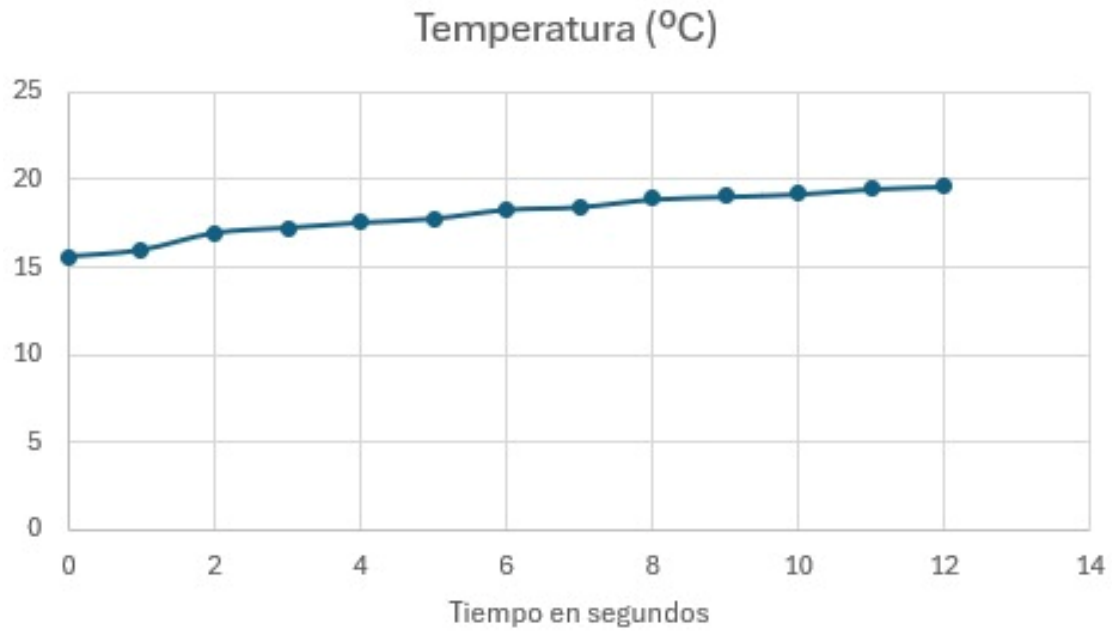


Figura 56. Gráfica de la temperatura en función del tiempo.

3.3 Fichas de recolección de datos

3.3.1 Prueba de tiempo de presurización y despresurización del caso 120 minutos.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA				
Ficha de recolección y tabulación de datos				
Datos Informativos				
Fecha de ejecución:	28-01-25	**Cuidad:**	Ambato	
Elaborado por:	Georgina Cárdenas Raúl García	**Revisado:**		
Tipo de estudio:	Técnico	**Codificación:**	C1	
Parámetros iniciales del sistema automático				
Tipo de mascota	Perro	**Tiempo inicial**	120 min	
Tamaño de mascota	Grande	**Presión inicial**	1.03 atm	
Nivel de gravedad	Grave	**Temperatura inicial**	15.30 °C	
Tipo de enfermedad	Herida traumática	**%Oxigeno inicial**	22.48%	
Proceso de presurización				
	Tiempo de llenado calculado	18.67 seg	Tiempo de llenado registrado	15 seg
	Presión final estimada	2.3 atm	Presión final registrado	2.31 atm
	Temperatura final calculada	63.95 °C	Temperatura final registrado	19.35 °C

	%Oxigeno final calculado	68.4 %	%Oxigeno final registrado	68.50%
Sesión de tratamiento				
	Tiempo de sesión estimado	120 min	Tiempo de sesión registrado	120 min
	Presión estimada	2.3 atm	Presión registrada	2.03 a 2.31atm
	Temperatura estimada	25 °C	Temperatura registrada	20 °C
	%Oxigeno estimado	90%	%Oxigeno registrado	72.06%
Proceso de despresurización				
	Tiempo de vaciado estimado	30 seg	Tiempo de vaciado registrado	34 seg
	Presión final estimada	0.98 atm	Presión final registrado	0.95 atm
	Temperatura final estimada	15 °C	Temperatura final registrado	15.16 °C
	%Oxigeno final estimado	21%	%Oxigeno final registrado	24.55%

3.3.2 Prueba de tiempo de presurización y despresurización del caso 75 minutos.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
Ficha de recolección y tabulación de datos			
Datos Informativos			
Fecha de ejecución:	28-01-25	**Cuidad:**	Ambato
Elaborado por:	Georgina Cárdenas Raúl García	**Revisado:**	
Tipo de estudio:	Técnico	**Codificación:**	C2
Parámetros iniciales del sistema automático			
Tipo de mascota	Otro	**Tiempo inicial**	75 min
Tamaño de mascota	Mediano	**Presión inicial**	0.98 atm
Nivel de gravedad	Moderado	**Temperatura inicial**	15 °C
Tipo de enfermedad	Otra enfermedad	**%Oxigeno inicial**	22.26%
Proceso de presurización			
	Tiempo de llenado calculado	18.67 seg	Tiempo de llenado registrado	15 seg
	Presión final estimada	2.3 atm	Presión final registrado	2.32 atm
	Temperatura final calculada	63.95 °C	Temperatura final registrado	19.20 °C
	%Oxigeno final calculado	68.4 %	%Oxigeno final registrado	68.22%

Sesión de tratamiento				
	Tiempo de sesión estimado	75 min	Tiempo de sesión registrado	75 min
	Presión estimada	2.3 atm	Presión registrada	2.15 a 2.32 atm
	Temperatura estimada	25 °C	Temperatura registrada	19.20 °C
	%Oxigeno estimado	90%	%Oxigeno registrado	68.22%
Proceso de despresurización				
	Tiempo de vaciado estimado	30 seg	Tiempo de vaciado registrado	31 seg
	Presión final estimada	0.98 atm	Presión final registrado	0.97 atm
	Temperatura final estimada	15 °C	Temperatura final registrado	15.48 °C
	%Oxigeno final estimado	21%	%Oxigeno final registrado	21.74%

3.3.3 Prueba de tiempo de presurización y despresurización del caso 35 minutos.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA INGENIERÍA MECÁNICA			
Ficha de recolección y tabulación de datos			
Datos Informativos			
Fecha de ejecución:	28-01-25	**Cuidad:**	Ambato
Elaborado por:	Georgina Cárdenas Raúl García	**Revisado:**	
Tipo de estudio:	Técnico	**Codificación:**	C3
Parámetros iniciales del sistema automático			
Tipo de mascota	Otro	**Tiempo inicial**	35 min
Tamaño de mascota	Pequeño	**Presión inicial**	1.15 atm
Nivel de gravedad	Leve	**Temperatura inicial**	15.58 °C
Tipo de enfermedad	Otra enfermedad	**%Oxigeno inicial**	33.45%
Proceso de presurización			
	Tiempo de llenado calculado	18.67 seg	Tiempo de llenado registrado	12 seg
	Presión final estimada	2.3 atm	Presión final registrado	2.39 atm
	Temperatura final calculada	63.95 °C	Temperatura final registrado	19.64 °C
	%Oxigeno final calculado	68.4 %	%Oxigeno final registrado	72.8%
Sesión de tratamiento				

	Tiempo de sesión estimado	35 min	Tiempo de sesión registrado	35 min
	Presión estimada	2.3 atm	Presión registrada	2 a 2.39 atm
	Temperatura estimada	25 °C	Temperatura registrada	19.64 °C
	%Oxigeno estimado	90%	%Oxigeno registrado	72.80%
Proceso de despresurización				
	Tiempo de vaciado estimado	30 seg	Tiempo de vaciado registrado	35seg
	Presión final estimada	0.98 atm	Presión final registrado	0.96 atm
	Temperatura final estimada	15 °C	Temperatura final registrado	15 °C
	%Oxigeno final estimado	21%	%Oxigeno final registrado	23.88%

- **Análisis de datos tabulados**

La automatización de la cámara hiperbárica para mascotas tiene como objetivo mejorar la seguridad, eficiencia y precisión en la administración del tratamiento. Se han implementado mejoras en la regulación de presión, control de oxígeno y monitoreo remoto de parámetros críticos.

1. Precisión en el control de presión y oxígeno

Antes de la automatización: Variaciones manuales en la presión y concentración de oxígeno, con posibles errores humanos.

Después de la automatización: Implementación de sensores de presión y oxígeno con control automático, reduciendo la variabilidad y mejorando la estabilidad del ambiente hiperbárico.

2. Seguridad en la operación

Antes: Dependencia de la intervención humana para abrir/cerrar válvulas, con riesgos de sobre presurización o fuga de oxígeno.

Después: Electroválvulas programadas y sistemas de alerta temprana que reducen la posibilidad de errores y mejoran la seguridad del paciente y operador.

3. Tiempo de operación y eficiencia

Antes: Proceso manual que requería mayor tiempo de supervisión y ajustes constantes.

Después: Automatización que permite optimizar tiempos de llenado, mantenimiento y purga de la cámara, reduciendo el tiempo total de tratamiento en un 30-40%.

4. Monitoreo y control remoto

Antes: Supervisión presencial continua.

Después: Integración de sistemas de monitoreo remoto que permiten visualizar y ajustar parámetros desde una aplicación o sistema centralizado.

5. Registro de datos y trazabilidad

Antes: Registros manuales propensos a errores o falta de seguimiento detallado.

Después: Base de datos automatizada que permite registrar tratamientos, facilitar auditorías y mejorar la toma de decisiones clínicas.

- **Resultados cuantitativos**

Indicador	**Antes de la automatización**	**Después de la automatización**	**Mejora (%)**
Variabilidad en sensor de presión (kPa)	± 5kPa	± 1kPa	80%
Tiempo de tratamiento (min)	60	40	33%
Supervisión requerida	Constante	Solo en alertas	70% reducción
Errores en administración	10-15%	<3%	80%
Seguridad general	Media	Alta	Mejora significativa

- Impacto y Conclusión

Mayor seguridad: Reducción de riesgos para operadores y pacientes.

Mayor precisión y eficiencia: Eliminación de errores humanos en la regulación de parámetros.

Optimización de tiempos: Reducción en el tiempo de tratamiento y menor carga de trabajo para el operador.

Monitoreo avanzado: Control en tiempo real y almacenamiento de datos para mejor análisis clínico.

3.4 Manual de uso del interfaz d para Cámara Hiperbárica de Mascotas

- **Introducción**

Propósito del Sistema: Automatización del tratamiento hiperbárico para mascotas.

Descripción de la Interfaz: La pantalla permite al usuario seleccionar el tipo de mascota, enfermedad y nivel de gravedad, optimizando los parámetros de tratamiento.

- **Descripción de la Pantalla Principal**

➢ Tipo de Mascota:

Opciones: Perro, Gato, Otro.

Instrucciones: Toca el ícono correspondiente para seleccionar la especie.

➢ Tamaño de la Mascota:

Opciones: Pequeño, Mediano.

Instrucciones: Selecciona el tamaño aproximado.

➢ Nivel de Gravedad:

Opciones: Leve, Moderado, Grave.

Instrucciones: Elige el nivel según la evaluación previa.

➢ Tipo de Enfermedad:

Opciones: Herida Traumática, Quemadura, Infección, Enfermedad Respiratoria, Otra Enfermedad.

Instrucciones: Selecciona la condición del paciente.

➢ Botón de Inicio:

Función: Inicia el protocolo automático de tratamiento.

Instrucciones: Presiona "Start" para comenzar.

- **Pasos para Operar el Sistema**

1. Enciende la cámara hiperbárica y asegúrate de que todos los componentes estén conectados.

2. Selecciona el tipo de mascota tocando el ícono adecuado.

3. Define el tamaño del paciente (Pequeño o Mediano).

4. Elige el nivel de gravedad de acuerdo con la condición del animal.

5. Selecciona la enfermedad o condición del paciente.

6. Presiona el botón "Start" para iniciar el tratamiento.

7. Sigue las instrucciones adicionales que puedan aparecer en la pantalla.

- **Mantenimiento del Sistema**

Limpieza regular de la pantalla táctil con un paño suave.

Verificar el correcto funcionamiento del software antes de cada uso.

- **Solución de Problemas**

La pantalla no responde: Reinicia el sistema.

Error en la configuración: Revisa los pasos anteriores y asegúrate de que todas las opciones sean seleccionadas.

3.4 Recursos financieros para la automatización del prototipo de una cámara hiperbárica

Al ser un proyecto técnico en donde se realizó la automatización de un prototipo de una cámara hiperbárica, el costo estimado se presenta en la Tabla XXIII a continuación:

TABLA XXIII

RECURSOS ECONÓMICOS

Descripción	Costo ($)
Pantalla Nextion	250
Sensor de presión	290
Electroválvulas	305
Construcción	250

Accesorios de instalación	180
Arduino	30
Impresión de case para la pantalla	35
Otros	100
Total	**1440**

CAPÍTULO IV.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 Conclusiones

- Se concluye que el análisis de los sistemas y procesos automáticos de las cámaras hiperbáricas, respaldado por el estudio de diversas fuentes científicas, proporcionó una comprensión más profunda sobre su funcionamiento. Este conocimiento detallado constituye una base sólida para la automatización del equipo.
- Se definieron los parámetros clave para la automatización de una cámara hiperbárica para mascotas, garantizando tratamientos seguros y efectivos. Este avance optimiza el proceso, reduce la intervención manual y mejora la precisión en la terapia veterinaria, contribuyendo al bienestar animal y a la modernización de la medicina veterinaria.
- A través del análisis de las variables involucradas en el proceso de tratamiento médico permitió identificar y comprender los parámetros que influyen directamente con el control del sistema automático, optimizando así los tratamientos hiperbáricos.
- El diseño de una interfaz de usuario simple, desarrollado mediante el uso de software especializado, permitió simplificar el control y monitoreo de la cámara hiperbárica. Este diseño priorizó la facilidad de uso, reduciendo la complejidad operativa y mejorando la eficiencia de los operadores. Como resultado, se facilita una gestión más segura y confiable, asegurando un desempeño óptimo de la cámara hiperbárica y estableciendo un estándar para futuras aplicaciones en automatización y control.
- La implementación de un sistema automatizado en una cámara hiperbárica para mascotas ha demostrado ser una solución eficaz y segura. Los controladores desarrollados permiten un control preciso de los parámetros críticos, optimizando los tratamientos y mejorando los resultados clínicos. Si bien se identificaron algunas limitaciones, este trabajo sienta las bases para futuras investigaciones y aplicaciones en el campo de la medicina veterinaria. La automatización de cámaras hiperbáricas representa un avance significativo en el cuidado de la salud animal, ofreciendo a las mascotas un acceso más amplio a terapias de vanguardia y mejorando su calidad de vida.

- Se llevó a cabo una serie de pruebas exhaustivas para validar el funcionamiento del sistema automatizado. Las pruebas incluyeron la evaluación de cada componente y función, así como la ejecución de simulaciones de diferentes escenarios clínicos. Los resultados obtenidos demostraron que el sistema es capaz de controlar de manera precisa y confiable todos los parámetros de la cámara hiperbárica, garantizando la seguridad y eficacia de los tratamientos.

4.2 Recomendaciones

- Los resultados y producto final de este proyecto tienen un carácter netamente académico, por lo tanto, no son considerados como estudios definitivos sobre el tema.
- Se recomienda realizar pruebas exhaustivas del prototipo en condiciones que simulen el entorno real de funcionamiento de una cámara hiperbárica. Estas pruebas deben incluir la evaluación de parámetros como presión, flujo de oxígeno, temperatura y tiempos de operación, asegurándose de que el sistema responda adecuadamente ante variaciones y posibles fallos.
- Se recomienda que si en una próxima ocasión se va a realizar la instalación en la cámara hiperbárica de la Clínica SNAP se adquieran los elementos correctos, con la certificaciones y especificaciones que requieran para su uso en un flujo de oxígeno al 99%.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] A. W. Technologies, «Información de cámaras hiperbáricas», Augusta Wellness. Accedido: 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.augusta-apar
atologia-medica-estetica.com/post/camaras-hiperbaricas

[2] O. Huchin-Lara, F. Rivas, N. Mendez, y N. Canul, 350 años de la medicina hiperbárica: aspectis históricos, fisiopatogénicos y terapéuticos, GMM.17002950., vol. 153, 10.24875 vols. Gaceta medica de Mexico, 2019.

[3] «Avances en TOHB: exploración de la tecnología y las características de la cámara de vanguardia». Accedido: 19 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://alltechbuzz.net/es/Avances-en-hbot-que-exploran-la-tecnolog%C3%ADa-y-las-caracter%C3%ADsticas-de-vanguardia-de-las-c%C3%A1maras./

[4] Y. A. Y. Londoño, «SECTION VIII R ules for Construction of Pressure Vessels 2019 ASME Boiler and Pressure Vessel Code An International Code», Accedido: 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.academia.edu/44511106/SECTION_VIII_R_ules_for_Construction_of_Pressure_Vessels_2019_ASME_Boiler_and_Pressure_Vessel_Code_An_International_Code

[5] «Terapia de Oxigenación Hiperbárica: Método multipropósito eficaz | Tobar Escudero | Correo Científico Médico». Accedido: 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://revcocmed.sld.cu/index.php/cocmed/article/view/4655/2235

[6] L. Ramallo, «Terapia de oxigenación hiperbárica en el tratamiento del dolor», vol. 39, 2019, [En línea]. Disponible en: https://www.biobarica.com/es/noticias/terapia-de-oxigeno-hiperbarico-en-el-tratamiento-del-dolor-M0VekUMPIDaxS1PkXn97/

[7] «Medicina hiperbárica y de buceo | Harrison. Principios de Medicina Interna, 20e | AccessMedicina | McGraw Hill Medical». Accedido: 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://accessmedicina.mhmedical.com/content.aspx?bookid=2461&sectionid=213022130#1162413977

[8] P. M. Emilia, «Bioquímica de la oxigenación hiperbárica», [En línea]. Disponible en: https://www.redalyc.org/journal/651/65171750004/html/#:~:text=Bioqu%C3%ADmica%20de%20la%20oxigenaci%C3%B3n%20hiperb%C3%A1rica&text=Resum

en%3A%20La%20terapia%20de%20oxigenaci%C3%B3n,lograr%20un%20estado%20de%20hiperoxia.

[9] Editor, «Hyperbaric oxygen therapy for pets», Vet Practice Magazine. Accedido: 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.vetpracticemag.com.au/hyperbaric-oxygen-therapy-for-pets/

[10] S. de Salud, «¿Sabes para qué se usa una cámara hiperbárica?», gob.mx. Accedido: 18 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: http://www.gob.mx/salud/articulos/sabes-para-que-se-usa-una-camara-hiperbarica

[11] «Camaras hiperbaricas para animales». Accedido: 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.aemedi.es/sechristvet.htm

[12] N. A. ROSAS RÍOS, «"PROYECTO CÁMARA HIPERBÁRICA MULTIPLAZA PARA TRATAMIENTO DE ENFERMEDAD DESCOMPRESIVA EN BUZOS PROFESIONALES». 2005. [En línea]. Disponible en: http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2005/bmfcir789p/doc/bmfcir789p.pdf

[13] J. Desola, «REVISTA VIRTUAL DE MEDICINA HIPERBARICA», jun. 1998, [En línea]. Disponible en: https://www.cccmh.com/REVISTA-OHB/Bases-OHB-ROHB-Desola.pdf

[14] «V-890V - Cámara hiperbárica veterinaria móvil by ARI Vetcare | MedicalExpo». Accedido: 24 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.medicalexpo.es/prod/ari-vetcare/product-4580644-1132557.html

[15] E. F. Casa Molina y W. W. Jati Chanchicocha, «Diseño y construcción de una cámara hiperbárica para mascotas pequeñas y medianas para la clínica veterinaria Snap de la ciudad de Ambato», bachelorThesis, Universidad Técnica de Ambato. Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, Carrera de Ingeniería Mecánica, 2023. Accedido: 24 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/39621

[16] «Nueva y moderna Cámara Hiperbárica del Hospital de Coquimbo inicia su funcionamiento | La Serena Online». Accedido: 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://laserenaonline.cl/2021/09/23/nueva-y-moderna-camara-hiperbarica-del-hospital-de-coquimbo-inicia-su-funcionamiento/

[17] «Oxigeno en la Cámara Hiperbárica - Camara hiperbarica en Valencia (España)». Accedido: 25 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://clinicahiperbarica.es/oxigeno/

[18] KIBO y V. por: S. Hospitales, «Cámara hiperbárica: Beneficios, contraindicaciones y tratamientos», Portal de Salud. Accedido: 25 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://tusdudasdesalud.com/estetica/camara-hiperbarica/

[19] «Cámara Hiperbárica Veterinaria Pets - FABRICACIÓN Y VENTA DE CÁMARAS HIPERBÁRICAS BLUE OCEAN». Accedido: 25 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.camarahiperbaricablueocean.com/camara-hiperbarica-veterinaria-pets/

[20] «Todo sobre la función de la cámara hiperbárica - Biobarica». Accedido: 25 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://centers.biobarica.com/es/noticias/camara-hiperbarica-para-que-sirve-y-cuales-son-sus-beneficios-VkyxqgKk429M2V244NNw/

[21] «Cámaras Hiperbáricas Veterinarias Oxicab y un tratamiento exitoso en India by Oxicab - HyperbaricMedicalExpo». Accedido: 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://trends.medicalexpo.es/oxicab-hyperbaric-chambers/project-111085-436647.html

[22] L. García-Covarrubias y E. C. Sánchez-Rodríguez, «Terapia con oxigenación hiperbárica, conceptos básicos», vol. 136, n.º 1, 2000, [En línea]. Disponible en: https://www.anmm.org.mx/bgmm/1864_2007/2000-136-1-45-56.pdf

[23] L. A. Monge, G. Schmitz, y X. A. González, «OXiGenOTerapia hiperbárica», [En línea]. Disponible en: https://www.binasss.sa.cr/revistas/rmcc/599/art2.pdf

[24] «Cámara Hiperbárica Veterinaria para animales menores», ECD Veterinaria. Accedido: 25 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://ecdveterinaria.com/producto/camara-hiperbarica-veterinaria/

[25] «Cámaras hiperbáricas de uso Veterinario | Oxicab». Accedido: 25 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://hyperbaricsac.com/camara-hiperbarica-veterinaria.html

[26] AJL, «Canine breeds & IOL sizes», AJL Ophthalmic. Accedido: 17 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://ajlsa.com/en/product/canine-breeds-iol-sizes/

[27] admin, «Composición y Características del Aire», Revista Completa. Accedido: 17 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://revistacompleta.com/composicion-y-caracteristicas-del-aire/

[28] D. J. Pastorini, A. Menchaca, y M. Alberti, «¿Qué es la oxigenoterapia hiperbárica?».

[29] R. M. Stulgis, «Estudio Experimental de Oxigenoterapia Hiperbárica para Cirugía Bucomaxilofacial, Traumatología y Osteología. Terapéutica de lesiones óseas con elementos reactantes biológicos en estado gaseoso hiperbáricos». 2020. [En línea]. Disponible en: https://core.ac.uk/download/543240208.pdf

[30] D. Dr. Barrera, «Datos generales sobre tratamientos hiperbaricos para recuperacion de mascotas», 29 de febrero de 2024. [Oral y escrito]. Disponible en: https://snap.ec/

[31] PetIndustry, «Razones para la oxigenoterapia hiperbárica en lesiones traumáticas y cuidado de heridas en animales pequeños», Pet Industry. Accedido: 20 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://petindustry.co/veterinaria/razones-para-la-oxigenoterapia-hiperbarica-en-lesiones-traumaticas-y-cuidado-de-heridas-en-animales-pequenos/

[32] «Infecciones Necrotizantes de Tejidos Blandos», Cámara Hiperbárica Málaga. Medicina Regenerativa Xanit Benalmadena, Málaga. Accedido: 22 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://lacamarahiperbarica.com/indicaciones-oxigenacion-hiperbarica-ohb/urgencias/infecciones-necrotizantes-de-tejidos-blandos/

[33] esndea, «Beneficios de la Cámara (Medicina) Hiperbárica», AEDN. Accedido: 30 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.aedn.es/beneficios-camara-hiperbarica/

[34] «EQUIPOS MÉDICOS | INTELNET MEDICA | COLOMBIA», intelnetmedica. Accedido: 22 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.intelnetmedica.com/productos

[35] A. Borraz, «Automatización de los ensayos en cámara hiperbàrica en los laboratorios del observatorio Obsea conforme la norma NF X10-812-2013», 2016, [En línea]. Disponible en: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/101050/memoria.pdf?sequence=1&isAllowed=y

[36] J. L. Castañeda Paulino y P. A. Haro Dávila, «Implementación de prototipo de cámara hiperbárica portátil, con control PID», Univ. Peru. Cienc. Apl. UPC, jul. 2018, doi: 10.19083/tesis/624779.

[37] Autex.Training, «Controladores para Automatización», Universidad PROFINET. Accedido: 25 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://profinetuniversity.com/automatizacion-industrial/controladores-para-automatizacion/

[38] «Arduino Mega 2560 R3», AV Electronics. Accedido: 14 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://avelectronics.cc/producto/arduino-mega-2560-r3/

[39] J. Ramiréz, V. Reyes, y J. Sánchez, «SISTEMA DE CONTROL PARA UNA CÁMARA HIPERBÁRICA PORTÁTIL MONOPLAZA», en TRABAJO ESPECIAL DE GRADO PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA MENCIÓN: AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL, 2022, pp. 74-94. [En línea]. Disponible en: https://virtual.urbe.edu/tesispub/0109361/

[40]? «Arduino UNO R3 Características, Especificaciones», Proyecto Arduino. Accedido: 8 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://proyectoarduino.com/arduino-uno-r3/

[41] J. Ruiz, «PLIEGO DE PRESCRIPCIONES TÉCNICAS PARA LA CONTRATACIÓN DEL SERVICIO DE MANTENIMIENTO DE LAS CÁMARAS HIPERBÁRICAS Y COMPLEJOS ASOCIADOS DE LOS SERVICIOS DE MEDICINA HIPERBÁRICA Y SUBACUÁTICA INSTALADAS EN EL HOSPITAL CENTRAL DE LA DEFENSA “GÓMEZ ULLA” Y EN EL HOSPITAL GENERAL DE LA DEFENSA EN ZARAGOZA “ORAD GAJÍAS”». [En línea]. Disponible en: https://contrataciondelestado.es/wps/wcm/connect/aad4be74-e280-4f42-9bac-d9b2a4771c2d/DOC20190923154531PPT.pdf?MOD=AJPERES

[42] «MPL3115A2- I2C Sensor de presión barométrica / altitud / temperatura - Melopero Electrónica», Melopero Electronics. Accedido: 9 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.melopero.com/es/tienda/sensori/temperatura/mpl3115a2i2csensor-de-temperatura-de-altitud-de-presi%C3%B3n-barom%C3%A9trica/

[43] «SENSOR BME680 PRESIÓN, TEMPERATURA, HUMEDAD Y GAS», MEGATRONICA. Accedido: 9 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://megatronica.cc/producto/sensor-bme680-presion-temperatura-humedad-y-gas/

[44] «BME280 Sensor de Presión Tem / Hum 5V», UNIT Electronics. Accedido: 9 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://uelectronics.com/producto/bme280-sensor-de-presion-temperatura-humedad-5v/

[45] «Sensor de oxígeno - Spectra Premium». Accedido: 10 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.spectrapremium.com/es/aftermarket/north-america/oxygen-sensor

[46] «¿Qué es una electroválvula y para qué sirve? – Distritec». Accedido: 25 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.distritec.com.ar/que-es-una-electrovalvula-y-para-que-sirve/

[47] «Electrovalvulas Neumáticas de Mando asistido | Compra al mejor precio». Accedido: 10 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.disumtec.com/es/130227-electrovalvulas-neumaticas-mando-asistido

[48] G. López, «Funcionamiento de microcontroladores». [En línea]. Disponible en: https://www.fing.edu.uy/inco/grupos/mina/pGrado/construccion2003/Documentos/IntroduccionPics.doc#:~:text=Un%20microcontrolador%20es%20un%20circuito,propio%20dispositivo%20al%20que%20gobierna

[49] «ConceptoDefinición | Monitor - ConceptoDefinición». Accedido: 25 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://conceptodefinicion.de/monitor/

[50] «[Discontinued] 7" TFT LCD Screen SD Card Slot + TFT Shield For Arduino Due», SainSmart.com. Accedido: 10 de mayo de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.sainsmart.com/products/7-tft-lcd-screen-sd-card-slot-tft-shield-for-arduino-due

[51] zeta, «12 medidas de seguridad del controlador de cámara hiperbárica», Instituto Español de Medicina Hiperbárica. Accedido: 25 de abril de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.institutomedicinahiperbarica.es/las-12-medidas-de-seguridad-del-controlador-de-camara-hiperbarica/

[52] «The Nextion Editor Guide – Nextion». Accedido: 17 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://nextion.tech/editor_guide/

[53] «Nextion Pantalla Touch con Arduino HeTPro Tutorial». Accedido: 17 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://hetpro-store.com/TUTORIALES/pantalla-nextion-arduino/

[54] «NX4827T043 – Nextion». Accedido: 17 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://nextion.tech/datasheets/nx4827t043/

[55] masterplc, «Arduino Mega 2560 Diseño y Especificaciones», MasterPLC. Accedido: 17 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://masterplc.com/arduino/arduino-mega-2560/

[56] antonio, «Arduino Mega 2560», Proyecto Arduino. Accedido: 17 de enero de 2025. [En línea]. Disponible en: https://proyectoarduino.com/arduino-mega-2560/

ANEXOS

FORMATO DE LA ENTREVISTA A LA CLÍNICA SNAP

Fecha de entrevista: 29 de febrero de 2024
Cargo: Dueño y médico veterinario de la clínica SNAP
Nombre y apellido completo: Dr. Diego Barrera

- **¿Qué tipo de mascotas frecuentemente son tratadas en la cámara?**

Las mascotas que han sido tratadas en la cámara hiperbárica instalada en la clínica SNAP son:

- Gatos de toda raza y tamaño
- Perros (raza pequeña y mediana)

- **¿Con que tipo de heridas o enfermedades ingresan a la cámara?**

Ocasionalmente el tipo de enfermedades con los que los pacientes han requerido ser tratados en la cámara son enfermedades respiratorias, heridas abiertas, sin embargo, se encontró casos en los que no se han podido ingresar a la mascota por problemas dermatológicos.

- **Normalmente, ¿Cuánto dura una sesión?**

El tiempo que dura una sesión lo determina el tipo de enfermedad del paciente, pero el rango está entre los 60 min a 90 min.

- **¿De acuerdo a qué condiciones se determinan el número de sesiones que un paciente necesita?**

Después de una cirugía, se recomiendan realizar 2 sesiones diarias (una en la mañana y una en la tarde) aunque esto depende de la recuperación de la mascota, es recomendable realizar entre 6 a 10 sesiones.

- **¿Se pueden establecer manualmente los valores de las variables tales como la presión, la temperatura y la concentración de oxígeno dentro de la cámara hiperbárica?**

Sí, es posible establecer manualmente los valores de variables como la presión, la temperatura y la concentración de oxígeno dentro de la cámara, si embargo, me gustaría que el control de estos sea automatizado por cuestión de falta de personal.

- **¿Cuál es el rango de ajuste de estas variables?**

La presión se ajusta entre 1.3 ATA y 3.0 ATA. (atmósferas absolutas)

La temperatura dentro de una cámara hiperbárica suele mantenerse entre 20°C y 25°C para el confort del paciente.

En los tratamientos hiperbáricos realizados, una concentración entre 80% a 100% de oxígeno es la más común.

- **¿Cuánto tarda la cámara hiperbárica en alcanzar la presión deseada?**

No hay un estimado exacto, el tiempo que tarda depende de la tasa de flujo de gas que esté utilizando la cámara.

- **¿Qué porcentaje de oxígeno suministra esta, o en base a que parámetros se determina el porcentaje?**

Entre 15-20 psi (1.5 atm) máximo de la cámara.

- **¿Con qué frecuencia se regula el suministro de oxígeno?**

En un rango de 10 a 15 min se realiza manualmente el cambio de oxígeno.

- **¿Cómo se comportan las mascotas dentro de la cámara?**

Tienen un comportamiento tranquilo, gracias a que se les suministra un sedante ligero.

- **¿Cada qué tiempo realiza una verificación del estado de la mascota durante el tratamiento?**

Los operarios o encargados están al pendiente de ésta durante toda la sesión para verificar el comportamiento del paciente.

- **¿Qué parámetros le gustaría regular manualmente y cuáles automáticamente?**

AUTOMATIZADO: Temperatura, presión atmosférica, tiempo de sesión según la gravedad del paciente, tipo de mascota que ingresa

MANUAL: Iluminación

- **¿Qué sugerencias tiene sobre la cámara hiperbárica?**

- Incrementar la iluminación por comodidad del paciente
- Realizar un interfaz fácil de usar
- Tomar en cuenta los parámetros necesarios para cada sesión dentro de la cámara hiperbárica.

STNC®

TUW Series Solenoid Valve



● TUW-40

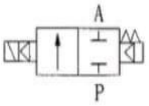


● TUW-25



● TUW-15

■ Graphics Sign



II

● Ordering Code

TUW — 10 — AC220V

TUW	10	AC220V
TUW Series	Pipe size 10 ; ZG3/8 15 ; ZG1/2 20 ; ZG3/4 25 ; ZG1 35 ; ZG1¼ 40 ; ZG1½ 50 ; ZG2	Standard Voltage AC110V AC220V AC380V DC24V

■ Character

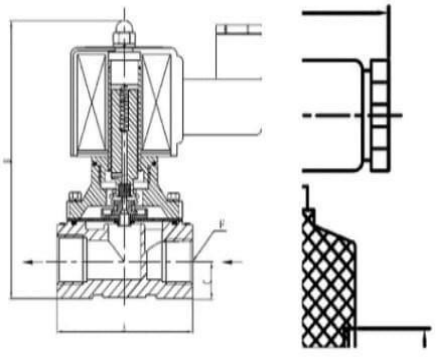
This guiding type valve adopts the diaphragm seal structure, with zero differential pressure starting function, large flow, simple structure, easy maintenance, good waterproof performance directions and multiple wiring directions.

Type 6027

■ Technical Parameter

Item \ Specification	TUW-10	TUW-15	TUW-20	TUW-25	TUW-35	TUW-40	TUW-50
Material of Body	Foundry						
Operating Method	Film Pilot						
Pipe Size	ZG3/8	ZG1/2	ZG3/4	ZG1	ZG1¼	ZG1½	ZG2
Nominal Diameter(mm)	16	20	20	25	37	37	50
Applicable Flujd	Air, Water, Oil(50CST Bellow)						
Pressure Range	0 ~ 0.8MPa						
Medium Temperature	-10 ~ 60℃ (No Freeze)						
Specified Voltage	AC24V, AC36V, AC110V, AC220V, AC380V, DC24V, DC110V						
Operating Voltage Range	±10%						
Min. Activating Time	0.05S						
Install Method	Horizontal Installation						

■ Figure Dimension



Specification	A	B	C	D	E	F
TUW-10	70	102	13	ϕ48	57	ZG3/8
TUW-15	70	102	13	ϕ48	57	ZG1/2
TUW-20	78	110	16	ϕ48	57	ZG3/4
TUW-25	92	118	19	ϕ48	73	ZG1
TUW-35	122	159	25	ϕ63.5	94	ZG1¼
TUW-40	122	162	28	ϕ63.5	94	ZG1½
TUW-50	170	182	35	ϕ63.5	124	ZG2

Transmisor de presión

TiposMBS 1700 y MBS

Los transmisores de presión compactos MBS 1700 y MBS 1750 están diseñados para el uso en aplicaciones de carácter general y ofrecen una medida de la presión fiable, incluso en condiciones ambientales adversas.

La versión MBS 1750 con amortiguador de pulsos integrado está diseñado para su uso en aplicaciones en las que el medio provoque efectos negativos graves, como cavitación, golpes de ariete o picos de presión, y proporciona una medida fiable de la presión, incluso en condiciones ambientales adversas.

Su excelente estabilidad ante vibraciones, sólida estructura y alto nivel de protección EMC/EMI permiten a estos transmisores de presión satisfacer los requisitos industriales más estrictos.

Características

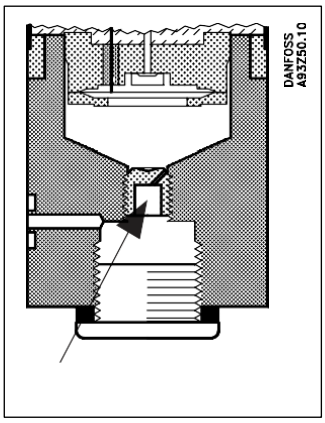


- Carcasa y piezas en contacto con el medio fabricadas en acero resistente a los ácidos (AISI 316L)
- Rango de presión manométrica (relativa): 0 – 25 bar
- Señal de salida: 4-20 mA
- Conexiones de presión:
  - G 1/4 A y G 1/2 A, EN 837 (MBS 1700)

Aplicación

Aplicación y condiciones del medio (MBS 1750)

Figura 1: MBS 1750



Aplicación

La cavitación, los golpes de ariete y los picos de presión son frecuentes en sistemas llenos de líquido cuya velocidad de flujo sufre fluctuaciones como resultado, por ejemplo, del cierre rápido de una válvula o los arranques y paradas de una bomba. El problema puede ocurrir a la entrada o la salida, incluso con presiones de funcionamiento muy bajas.

Condiciones del medio

Los líquidos que contienen partículas pueden obstruir la boquilla. Instalar el transmisor en posición vertical minimiza el riesgo de obstrucción, ya que el paso a través de la boquilla se limita al período de tiempo comprendido entre el arranque y el momento en que se llena el volumen muerto situado tras el orificio de la boquilla. La viscosidad del medio afecta en muy poca medida al tiempo de respuesta. Incluso con viscosidades de hasta 100 cSt, el tiempo de respuesta no supera los 4 ms.

Datos técnicos

Tabla 1: Rendimiento (EN 60770)

Características		Descripción
Precisión (incluye no linealidad, histéresis y repetibilidad)		≤ ±0,5 % FS (típ.)
		≤ ±1,0 % FS (típ.)
No linealidad, BFSL (conformidad)		≤ ±0,2 % FS
Histéresis y repetibilidad		≤ ±0,1 % FS
Desplazamiento del punto cero térmico		≤ ±0,1 % FS/10 K (típ.)
		≤ ±0,2 % FS/10 K (máx.)
Desplazamiento de la sensibilidad térmica (span)		≤ ±0,1 % FS/10 K (típ.)
		≤ ±0,2 % FS/10 K (máx.)
Tiempo de respuesta	Aire y gases (MBS 1700)	< 4 ms
	Aire y gases (MBS 1750)	< 35 ms
Presión de sobrecarga (estática)		6 × FS (1500 bar, máx.)
Presión de rotura		6 × FS (máx. 2000 bar)
Tiempo de encendido		<50 ms
Durabilidad, P: 10-90 % FS		> 10 × 10^6 ciclos

Tabla 2: Especificaciones eléctricas

Características	Descripción
Señal de salida nominal (con protección contra cortocircuito)	4 – 20 mA
Tensión de alimentación [UB], con polaridad protegida	9 – 32 V c.c.
Alimentación (consumo de intensidad)	–
Dependencia de la tensión de alimentación	≤ ± 0,1 % FS/10 V

Limitación de corriente	22,4 mA (típ.)
Impedancia de salida	–
Carga [RL] (carga conectada a 0 V)	RL ≤ (UB - 9 V)/0,02 A [Ω]

Tabla 3: Condiciones ambientales

Caracteristicas			**Descripción**
Rango de temperatura del sensor		Normal	De –40 a 85 °C
Rango de temperatura del medio			De –40 a 85 °C
Rango de temperatura ambiente			De –40 a 85 °C
Rango de temperatura compensada			De 0 a 80 °C
Rango de temperatura de transporte/almacenamiento			De –50 a 85 °C
EMC (emisión)			EN 61000-6-3
EMC, inmunidad			EN 61000-6-2
Resistencia del aislamiento			> 100 MΩ a 100 V
Prueba de frecuencia de la red			Según norma SEN 361503
Estabilidad frente a vibraciones	Sinusoidal	15,9 mm-pp, 5 Hz – 25 Hz	IEC 60068-2-6
		20 g, 25 Hz – 2 kHz	
	Aleatorias	7,5 g, 5 Hz – 1 kHz	IEC 60068-2-64
Resistencia a impactos	Impactos	500 g/1 ms	IEC 60068-2-27
	Caída libre	1 m	IEC 60068-2-32
Protección			IP65

Winters Instruments
121 Railside Road
Toronto, ON M3A 1B2
Canada

Tel: 416-444-2345
Fax: 416-444-8979
1-800-WINTERS
www.winters.com

CERTIFICATE OF COMPLIANCE

Issued to: **Whom it may concern**

Date Issued : 2021.09.01

PO No. : 152955
Cert. No. :
Project No. :

SYSTEM/EQUIPMENT ID:

Clean for Oxygen Service of the following Pressure Gauges:

PFQ200R11-DRY-OXY	7 pcs
PFQ775R1R11-DRY-OXY	6 pcs
PFQ187R11-DRY-OXY	6 pcs

APPLICABLE STANDARDS:

ASTM G93-03	Standard Practice for Cleaning Methods and Cleanliness Levels for Material and Equipment Used in Oxygen-Enriched Environments.
CGA G-4-1	Cleaning Equipment for Oxygen Service.

PROCEDURES FOLLOWED:

Cleaning Procedure for Material and Equipment Used in Oxygen-Enriched Environments (SOP-CFOS-010)

BATCH AND LOT NUMBERS OF CHEMICALS USED:

CHEMICAL	BATCH CODE	CUSTOMER PO. NO.
CARBON TETRACHLORIDE	P2221	PI210601_DM

SUMMARY OF THE PUREPASS PASSIVATION PROCESS:

1. Caustic cleaning by immersion PUREKLEAN at 65°C for a period of 120 minutes.
2. Rising with DI Water to a neutral pH.
3. Perform "Wipe Test" with passing results.
4. Air dry.
5. Package and seal in plastic bags with appropriate labels.



Winters Instruments
121 Railside Road
Toronto, ON M3A 1B2
Canada

Tel: 416-444-2345
Fax: 416-444-8979
1-800-WINTERS
www.winters.com

CERTIFICATE OF COMPLIANCE

Issued to: **Whom it may concern**

Date Issued : **2021.09.01**

PO No. :**152955**
Cert. No. :
Project No. :

SYSTEM/EQUIPMENT ID:

Clean for Oxygen Service of the following Pressure Gauges:

PFQ200R11-DRY-OXY	7 pcs
PFQ775R1R11-DRY-OXY	6 pcs
PFQ187R11-DRY-OXY	6 pcs

APPLICABLE STANDARDS:

ASTM G93-03	Standard Practice for Cleaning Methods and Cleanliness Levels for Material and Equipment Used in Oxygen-Enriched Environments.
CGA G-4-1	Cleaning Equipment for Oxygen Service.

PROCEDURES FOLLOWED:

Cleaning Procedure for Material and Equipment Used in Oxygen-Enriched Environments (SOP-CFOS-010)

BATCH AND LOT NUMBERS OF CHEMICALS USED:

CHEMICAL	BATCH CODE	CUSTOMER PO. NO.
CARBON TETRACHLORIDE	P2221	PI210601_DM

SUMMARY OF THE PUREPASS PASSIVATION PROCESS:

1. Caustic cleaning by immersion PUREKLEAN at 65°C for a period of 120 minutes.
2. Rising with DI Water to a neutral pH.
3. Perform "Wipe Test" with passing results.
4. Air dry.
5. Package and seal in plastic bags with appropriate labels.

David Reay
Winters Instruments

David Reay

Digitally signed by David Reay
DN: cn=David Reay, o=Winters Instruments, ou, email=dreay@winters.com, c=CA
Date: 2021.09.02 12:02:19 -04'00'

- **Norma ASTM G93 – 03 para uso con oxígeno**

NOTICE: This standard has either been superseded and replaced by a new version or withdrawn.
Contact ASTM International (www.astm.org) for the latest information

Designation: G93 – 03 (Reapproved 2011)

Standard Practice for Cleaning Methods and Cleanliness Levels for Material and Equipment Used in Oxygen-Enriched Environments[1]

This standard is issued under the fixed designation G93; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

1. Scope

1.1 This practice covers the selection of methods and apparatus for cleaning materials and equipment intended for service in oxygen-enriched environments. Contamination problems encountered in the use of enriched air, mixtures of oxygen with other gases, or any other oxidizing gas may be solved by the same cleaning procedures applicable to most metallic and nonmetallic materials and equipment. Cleaning examples for some specific materials, components, and equipment, and the cleaning methods for particular applications, are given in the appendices.

1.2 This practice includes levels of cleanliness used for various applications and the methods used to obtain and verify these levels.

1.3 This practice applies to chemical-, solvent-, and aqueous-based processes.

1.4 This practice describes nonmandatory material for choosing the required levels of cleanliness for systems exposed to oxygen or oxygen-enriched atmospheres.

1.5 This practice proposes a practical range of cleanliness levels that will satisfy most system needs, but it does not deal in quantitative detail with the many conditions that might demand greater cleanliness or that might allow greater contamination levels to exist. Furthermore, it does not propose specific ways to measure or monitor these levels from among the available methods.

1.6 The values stated in both inch-pound and SI units are to be regarded separately as the standard unit. The values given in parentheses are for information only.

1.7 *This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* Federal, state and local safety and disposal regulations concerning the particular hazardous materials, reagents, operations, and equipment being used should be reviewed by the user. The user is encouraged to obtain the Material Safety Data Sheet (MSDS) from the manufacturer for any material incorporated into a cleaning process. Specific cautions are given in Section 8.

2. Referenced Documents

2.1 *ASTM Standards:*[2]

A380 Practice for Cleaning, Descaling, and Passivation of Stainless Steel Parts, Equipment, and Systems
D1193 Specification for Reagent Water
E312 Practice for Description and Selection of Conditions for Photographing Specimens Using Analog (Film) Cameras and Digital Still Cameras (DSC)
E1235 Test Method for Gravimetric Determination of Nonvolatile Residue (NVR) in Environmentally Controlled Areas for Spacecraft
E2042 Practice for Cleaning and Maintaining Controlled Areas and Clean Rooms
F312 Test Methods for Microscopical Sizing and Counting Particles from Aerospace Fluids on Membrane Filters
F331 Test Method for Nonvolatile Residue of Solvent Extract from Aerospace Components (Using Flash Evaporator)
G63 Guide for Evaluating Nonmetallic Materials for Oxygen Service
G88 Guide for Designing Systems for Oxygen Service
G121 Practice for Preparation of Contaminated Test Coupons for the Evaluation of Cleaning Agents
G122 Test Method for Evaluating the Effectiveness of Cleaning Agents
G125 Test Method for Measuring Liquid and Solid Material Fire Limits in Gaseous Oxidants
G127 Guide for the Selection of Cleaning Agents for Oxygen Systems
G128 Guide for Control of Hazards and Risks in Oxygen Enriched Systems

[1] This practice is under the jurisdiction of ASTM Committee G04 on Compatibility and Sensitivity of Materials in Oxygen Enriched Atmospheres and is the direct responsibility of Subcommittee G04.02 on Recommended Practices.

Current edition approved April 1, 2011. Published April 2011. Originally approved in 1987. Last previous edition approved in 2003 as G93 – 03e01. DOI: 10.1520/G0093-03R11.

[2] For referenced ASTM standards, visit the ASTM website, www.astm.org, or contact ASTM Customer Service at service@astm.org. For *Annual Book of ASTM Standards* volume information, refer to the standard's Document Summary page on the ASTM website.

FICHA TECNICA
ACERO INOXIDABLE
316/316L

Aceros Inoxidables	Normas		
	AISI	W. Nr.	DIN
Austeníticos	**316** **316L**	**1.4401** **1.4404**	**X5CrNiMo17-12-2** **X2CrNiMo17-12-2**

Aplicaciones



Acero resistente a la corrosión intercristalina hasta 300° C bajo condiciones de operación contínua. Con la adición de molibdeno se le confiere una alta resistencia a ácidos no oxidantes y corrosión por picado. El acero AISI 316 es utilizado en piezas y elementos de la industria de celulosa, textiles, seda artificial, equipos para el desarrollo de fotografía ejes de hélices, acoples. Usualmente utilizado en la industria química y farmacéutica. Ideal para ser usado en piezas y elementos expuestos a la corrosión localizada originada por el ácido sulfuroso, baños de pinturas con ácido sulfúrico, baños clorados, etc.

La calidad 316L, con su bajo contenido de carbono hace aumentar la temperatura de resistencia a la corrosión intercristalina hasta los 400°C. además de mejorar su soldabilidad.

Composición Química (Valores promedio, %)

Calidad	C	Cr	Mo	Ni
316	≤ 0,07	16,5 - 18,5	2 - 2,5	10 - 13
316L	≤ 0,03	16,5 - 18,5	2 - 2,5	10 - 13

Características del Acero



El acero AISI 316/316L corresponde a un acero inoxidable aleado con molibdeno. Esta adición le confiere mejores propiedades anticorrosivas que los de la familia 304, debido principalmente a que se disminuye en forma importante la susceptibilidad a la corrosión por picado, en virtud que la capa pasiva formada es mucho más resistente.

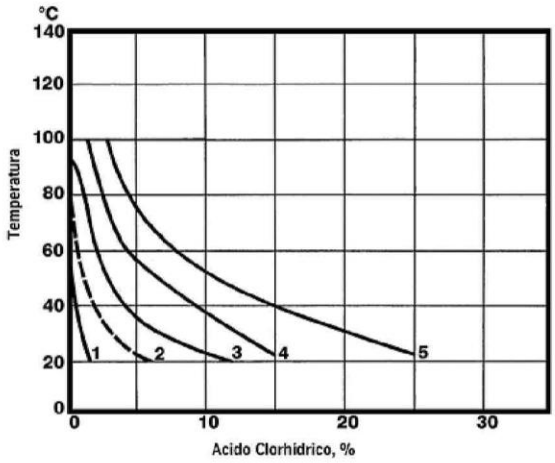
Presenta una muy buena resistencia a la oxidación en condiciones intermitentes a temperaturas no superiores a 870 °C y en contínuo a 930 °C. No se recomienda el uso de estos aceros en temperaturas que oscilen en el rango 420/860 °C, pero en

valores por debajo y por encima de estos, su comportamiento es bueno, esto principalmente debido a la posibilidad de precipitaciones de carburos de cromo en los bordes de grano, lo que lo vuelve sensible y por ende su resistencia a la corrosión se ve drásticamente comprometida. Estos aceros no pueden ser endurecidos mediante TT. Presenta buenas condiciones de soldabilidad y se recomienda que en las secciones soldadas se realice un recocido posterior con el objetivo de obtener la más alta resistencia a la corrosión.

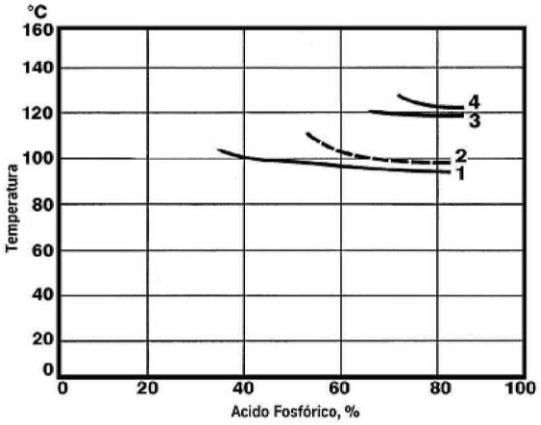
Resistencia a la corrosión.

En los diagramas se observan las pérdidas de peso, determinadas experimentalmente para diferentes probetas atacadas con concentraciones variables para distintos ácidos en función de la temperatura. Las curvas representan la pérdida de peso de 0,1 0,3 1,0 3,0 y 10,0 gr/m^2·Hr. Generalmente una pérdida de peso de 0,3 gr/m^2·hr (línea segmentada) se considera en el límite para ser considerado económicamente viable un acero inoxidable.

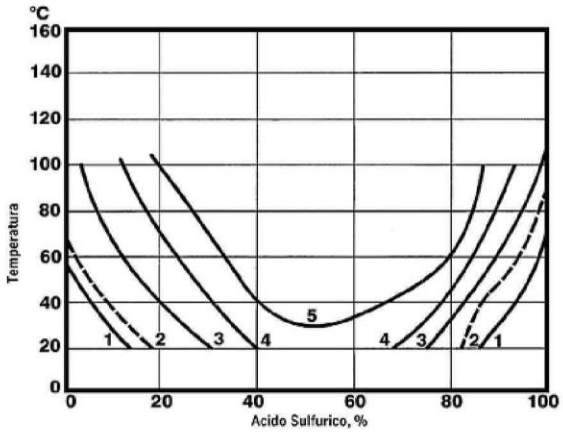
Acido Clorhídrico HCl



Acido Fosfórico H_3PO_4



Acido Sulfúrico H_2SO_4



Curva	Pérdida de peso
1	0,1 gr/m^2·hr.
2	0,3 gr/m^2·hr.
3	1,0 gr/m^2·hr.
4	3,0 gr/m^2·hr.
5	10,0 gr/m^2·hr.

Catálogo Comercial

Propiedades del Acero

Propiedades mecánicas

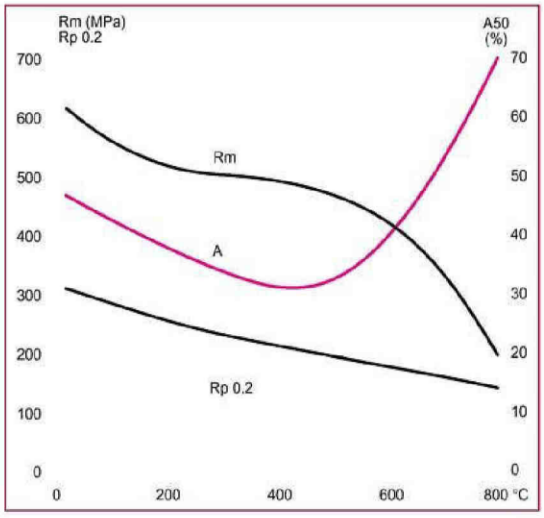
Temperatura ambiente

Tipo Acero	Rango de dimensiones	Límite Elástico 0,2% ($R_{p\,o,2}$) min. N/mm^2	Resistencia a la tracción (R_m) N/mm^2	Elongación (A_5) min. %
316	Laminado en frío e ≤ 6 mm.	≥240	530 - 680	≥ 40
	Laminado en caliente e ≤ 12 mm.	≥220		
316L	Laminado en frío e ≤ 6 mm.	≥240	530 - 680	≥ 40
	Laminado en caliente e ≤ 12 mm.	≥220		

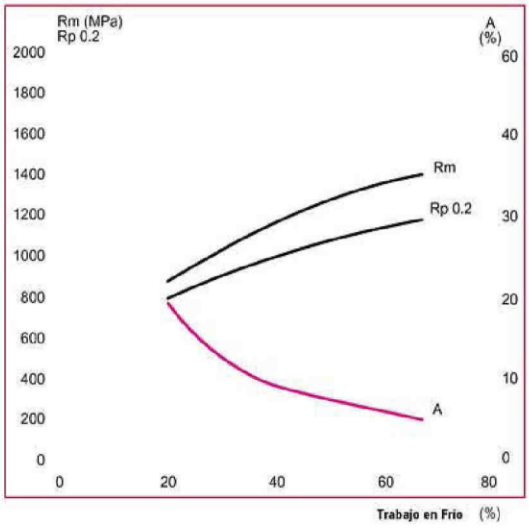
Temperatura variable

Tipo Acero	Temperatura °C	50	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
316	Límite elástico 0,2% ($R_{p\,o,2}$) min. N/mm^2	196	177	162	147	137	127	120	115	112	110	108
316L		182	166	152	137	127	118	113	108	103	100	98

Efecto de la temperatura en las propiedades mecánicas



Efecto del trabajo en frío en las propiedades mecánicas



Catálogo Comercial

Propiedades físicas

Densidad a 20°C kg/dm^3	Conductividad Térmica 20 °C W·m $^{-1}$·K^{-1}	Calor Específico 20°C J·kg^{-1}K^{-1}	Resistencia Eléctrica 20°C Ω·mm^2/m
7,98	15	500	0,75

Modulo de elasticidad kN/mm^2

20°C	100° C	200°C	300° C	400°C	500° C
200	194	186	179	172	165

Coeficiente de expansión térmica in 10^{-6} · K^{-1} entre 20 °C y

	100 °C	200 °C	300 °C	400 °C	500 °C
	16,5	17,5	17,5	18,5	18,5

Tratamiento Térmico

Trabajo en caliente °C	enfriamiento	Tratamiento térmico °C	Enfriamiento	Estructura
1150 - 850	aire	1000 – 1100	Agua, aire forzado.	Austenita con un contenido menor de ferrita

Recomendaciones sobre mecanizado

Los parámetros de corte que se encuentran a continuación deben ser considerados como valores guía. Estos valores deberán adaptarse a las condiciones locales existentes.

TORNEADO

Parámetros de corte	Torneado con metal duro		Torneado con acero rápido
	Torneado de desbaste	Torneado fino	Torneado fino
Velocidad de corte (vc) m/min.	170 -145	160 - 200	25 - 45
Avance (f) mm/r	0,2 - 0,4	0,1 - 0,2	0,1 - 0,5
Profundidad de corte (ap) mm.	1 - 4	0,5 - 1	0,5 - 3
Mecanizado grupo ISO	M20 - M30	M10	-

Fresado con metal duro

Parámetros de corte	Fresado con metal duro	
	Fresado de desbaste	Fresado en fino
Velocidad de corte(vc) m/min.	60 - 120	100 - 155
Avance (fz) mm/diente	0,2 - 0,3	0,2
Profundidad de corte (ap) mm.	≤ 4	≤ 0,6
Mecanizado grupo ISO	M20 - M30	M10

Taladrado con broca HSS

Diámetro	20	30	40
Velocidad de corte (vc) m/min.	200	200	200
Avance (f) mm/r	0,01	0,12	0,15

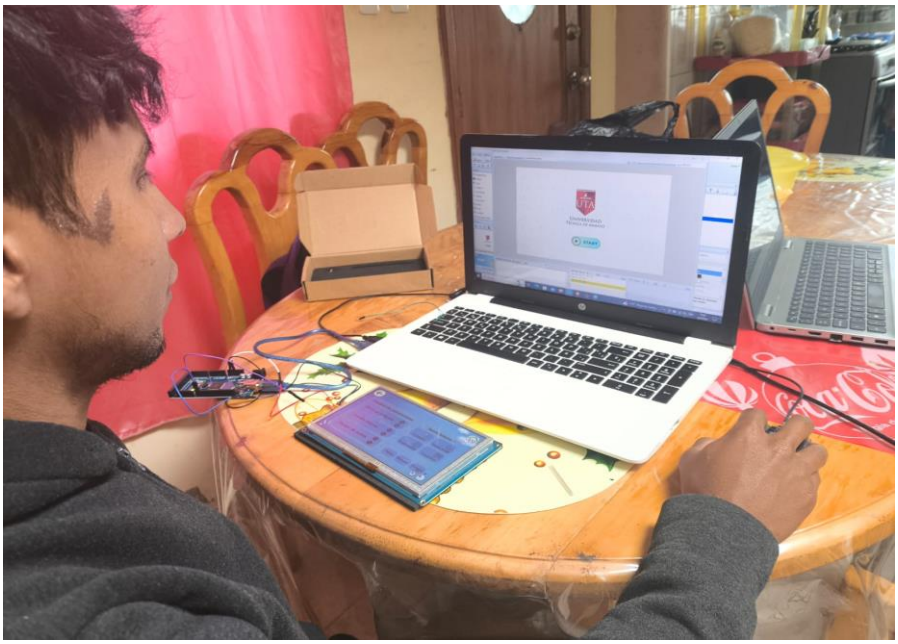
Casa Matriz: Radal #868, Qta Normal. stgo. Fono: 232 787 700 **www.europer.c**

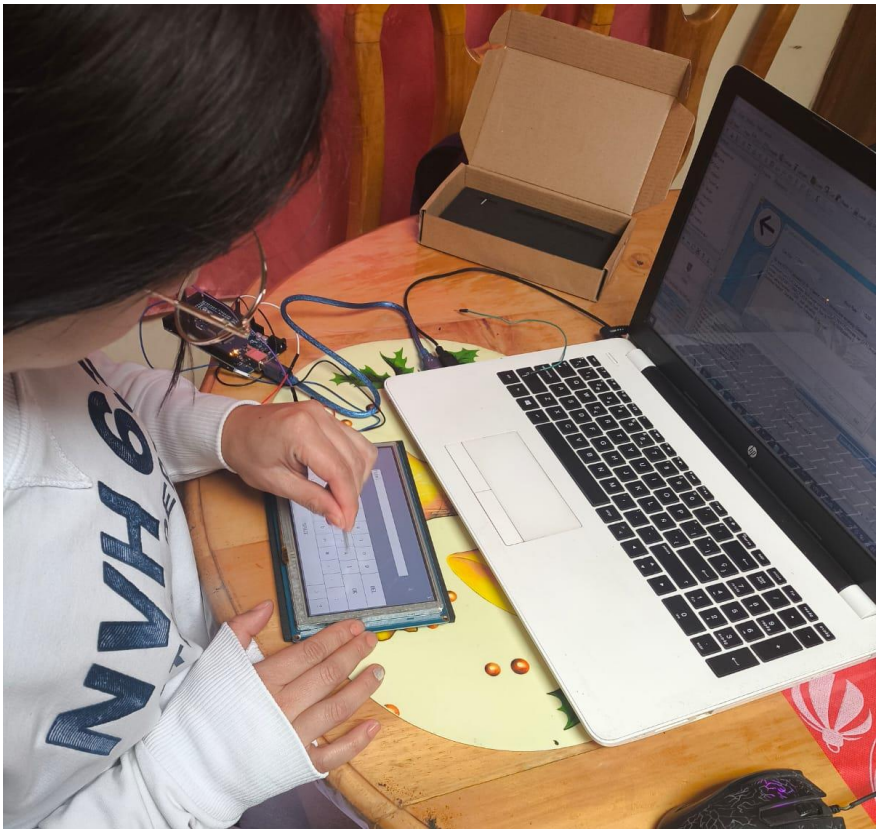
- **Código de programación**

https://drive.google.com/file/d/1Nf6oNVsKGrrzJN4rU_IQgbL0bYaQYBWm/view?usp=sharing

- **Fotos proceso**

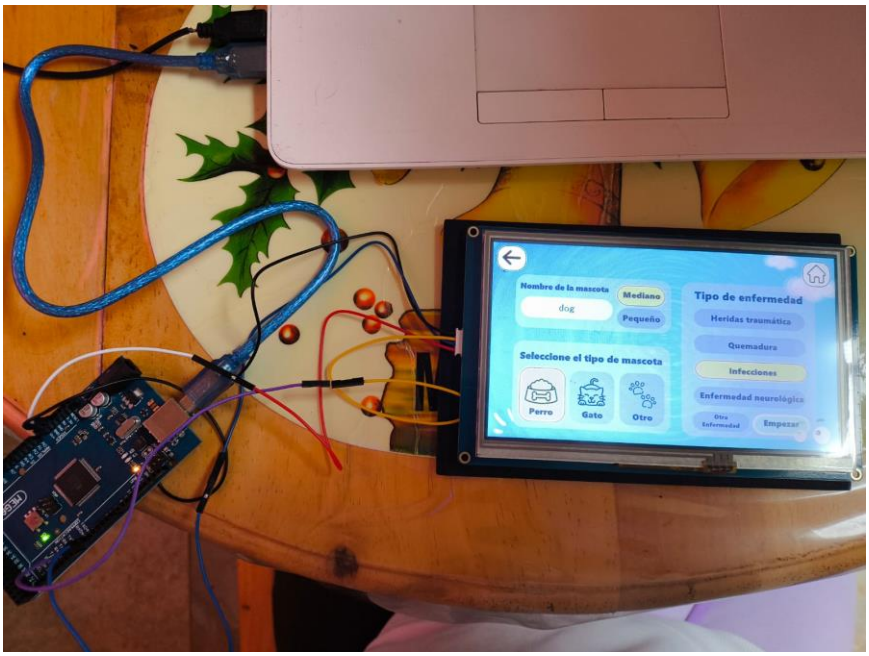
6. En esta página, con las siguientes imágenes se muestra la creación del interfaz de usuario



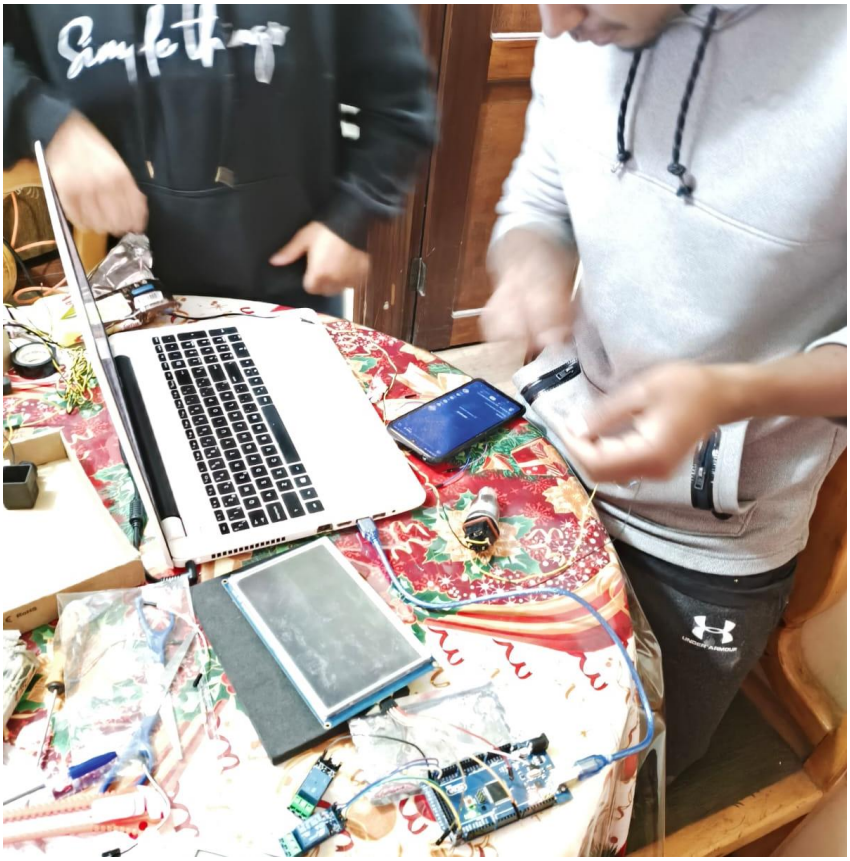


Dfdfs

7. La primera interfaz de usuario creada.



8. Conexión del Arduino y la pantalla Nextion

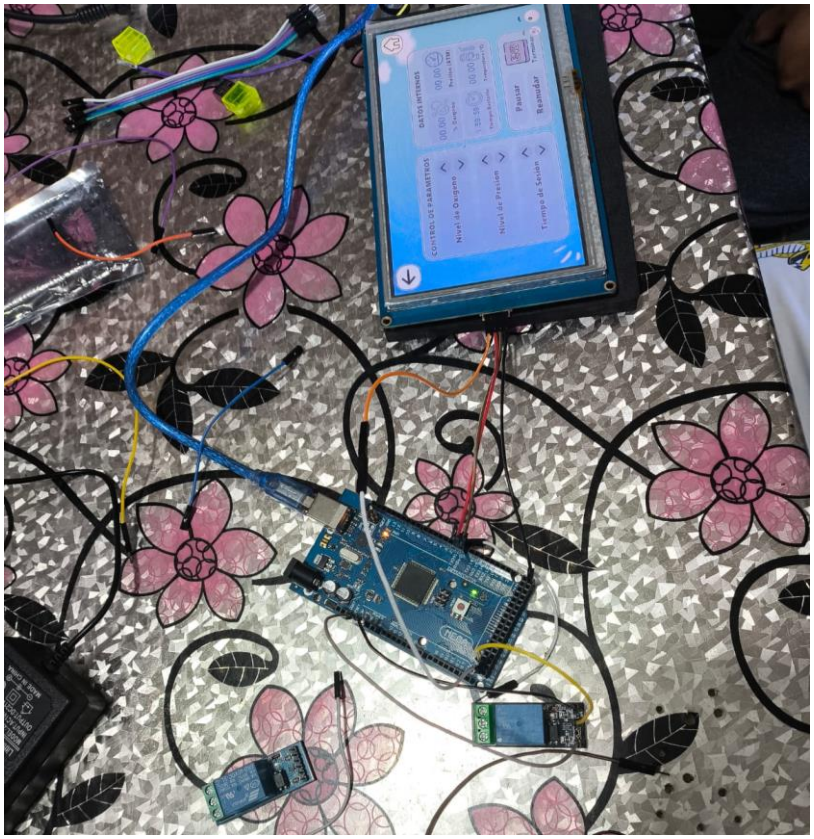


9. Presión del tanque de oxígeno y entrada del mismo.





10. Prueba de relés y tanque usado para el prototipo.



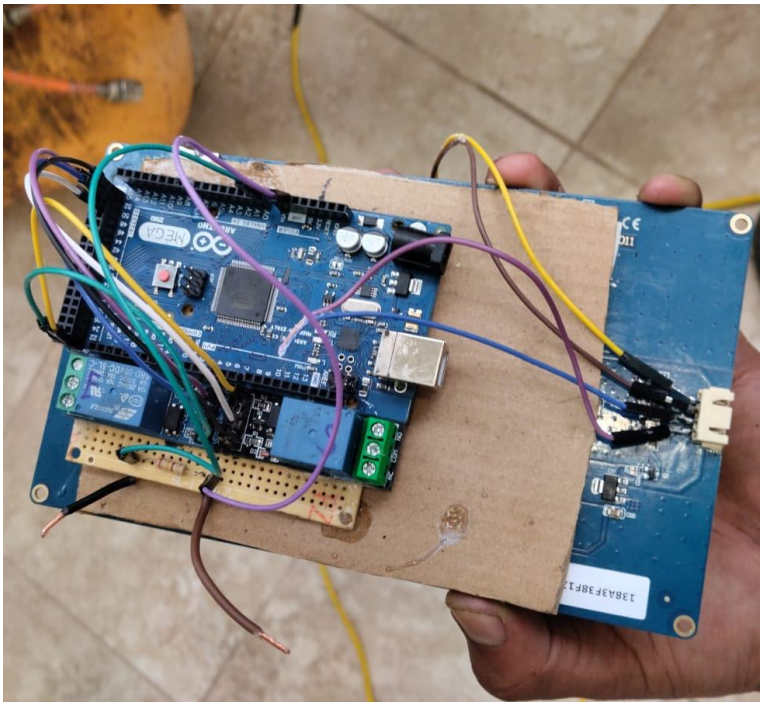


11. Instalación de la pantalla, sensores y electroválvulas en el prototipo.

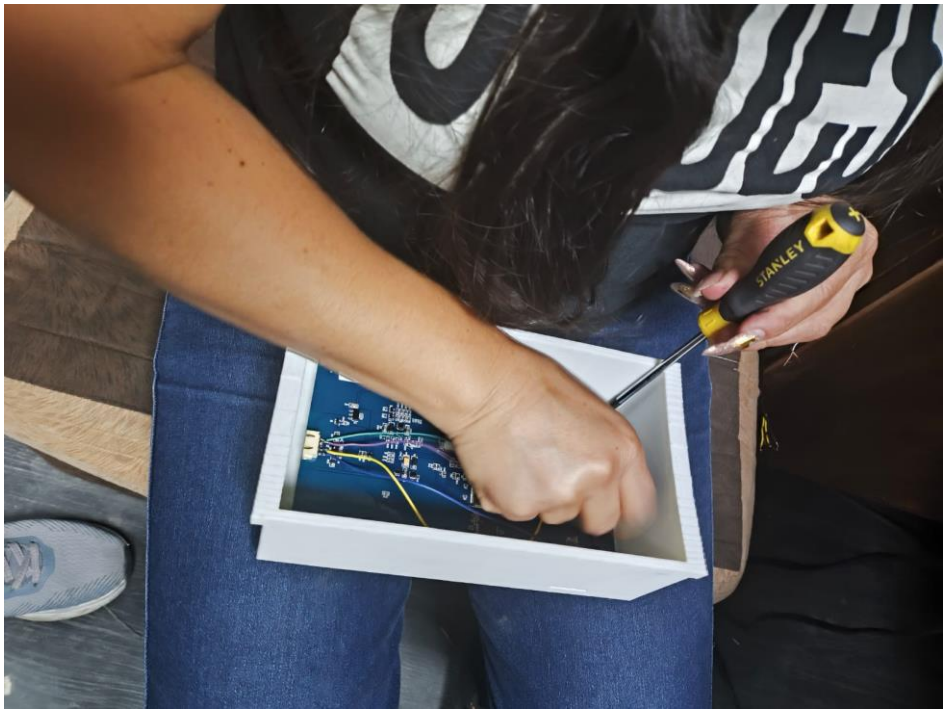




12. Conexiones seguras entre pantalla y Arduino.

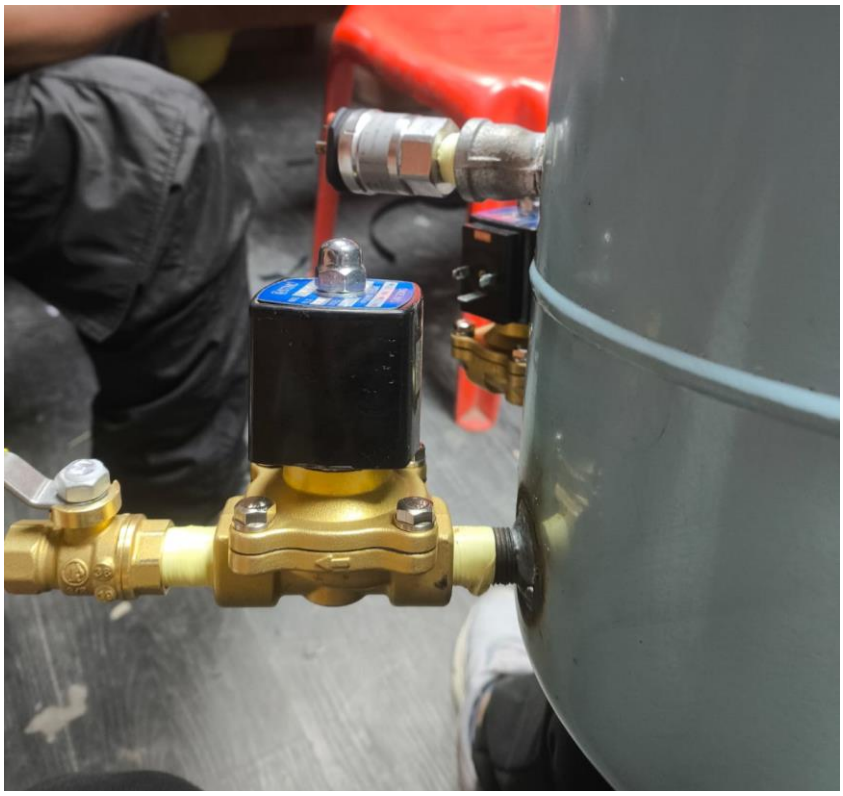





STANLEY



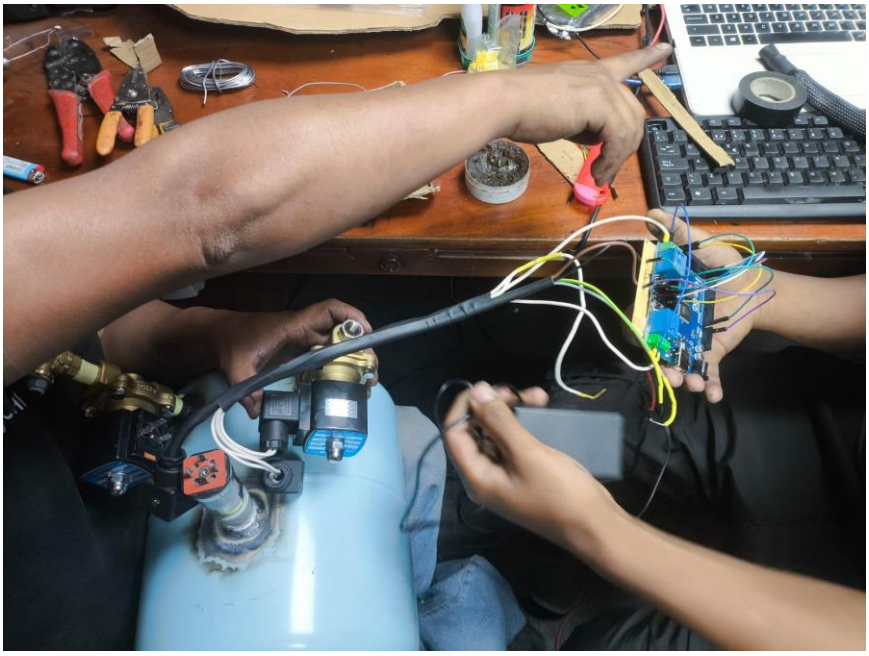
13. Lugar de instalación del sensor y las electroválvulas.



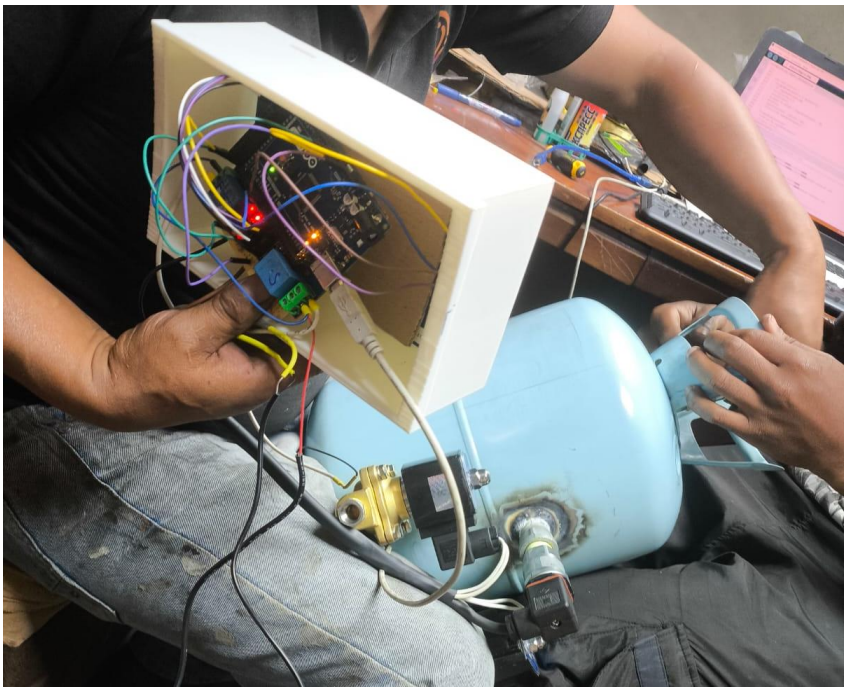


14. Reajuste de conexiones y energía.





15. Montaje de pantalla en el prototipo.



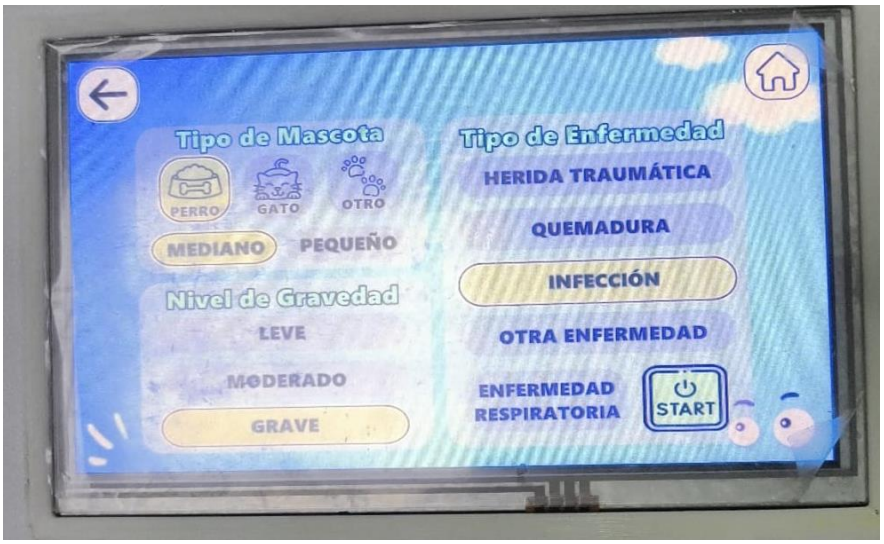


16. Prototipo finalizado.





17. Pruebas de funcionamiento con el caso de 111 minutos.









18. Pruebas de funcionamiento con el caso de 102 minutos.






CONTROL DE PARAMETROS
Nivel de Oxígeno
Nivel de Presión
Tiempo de Sesión
DATOS INTERNOS
00.00
% Oxígeno
02.14
Presión (ATM)
1:41:20
Tiempo Restante
14.15
Temperatura (°C)
Pausar
Reanudar
END
Terminar

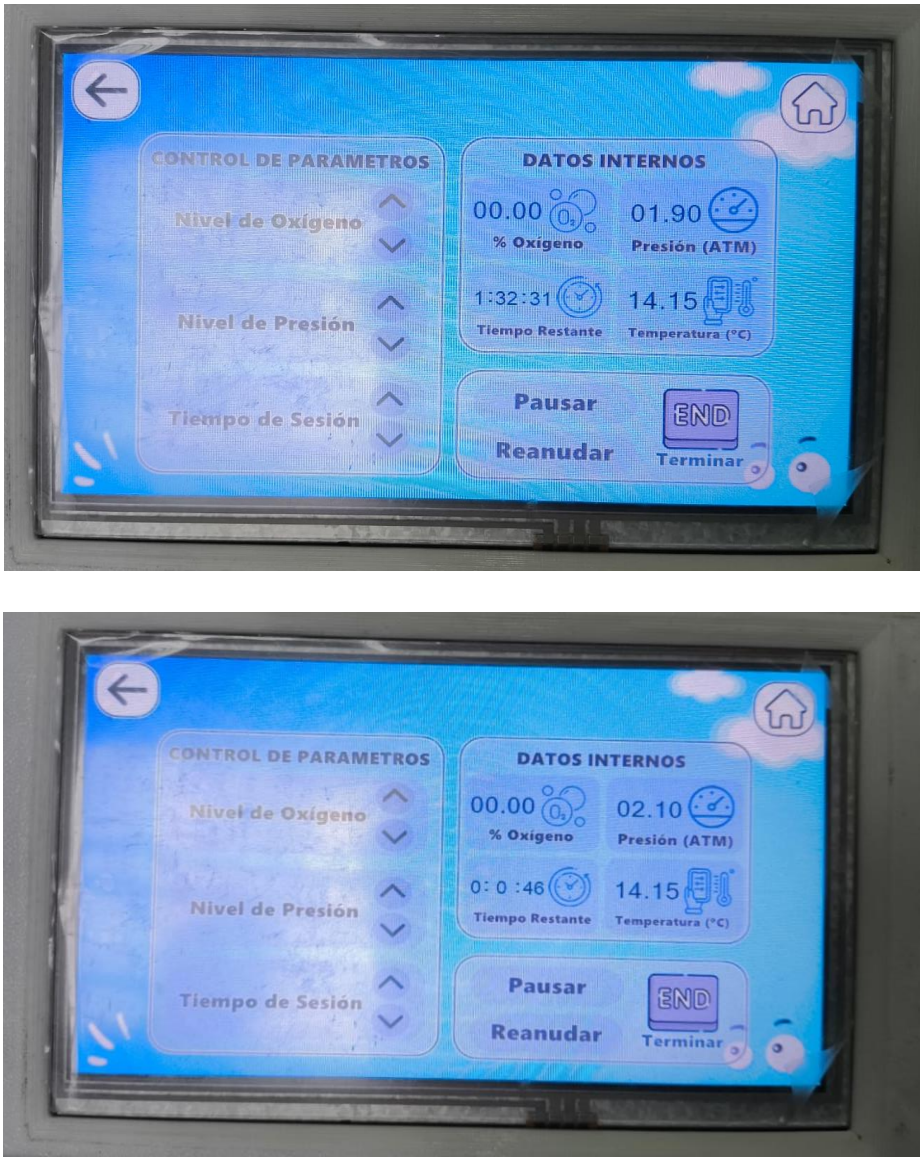

CONTROL DE PARAMETROS
Nivel de Oxígeno
Nivel de Presión
Tiempo de Sesión
DATOS INTERNOS
00.00
% Oxígeno
01.56
Presión (ATM)
0: 1 :53
Tiempo Restante
14.15
Temperatura (°C)
Pausar
Reanudar
END
Terminar


CONTROL DE PARAMETROS
Nivel de Oxígeno
Nivel de Presión
Tiempo de Sesión
DATOS INTERNOS
00.00
% Oxígeno
01.00
Presión (ATM)
0: 0 : 0
Tiempo Restante
14.15
Temperatura (°C)
Pausar
Reanudar
END
Terminar

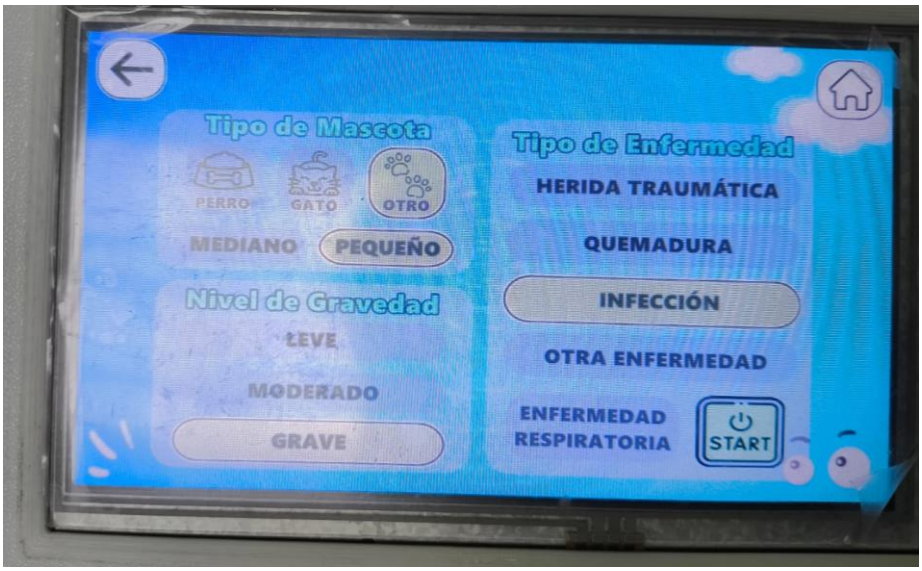
19. Pruebas de funcionamiento con el caso de 93 minutos.







20. Pruebas de funcionamiento con el caso de 84 minutos.


Tipo de Mascota
PERRO
GATO
OTRO
MEDIANO
PEQUEÑO
Nivel de Gravedad
LEVE
MODERADO
GRAVE
Tipo de Enfermedad
HERIDA TRAUMÁTICA
QUEMADURA
INFECCIÓN
OTRA ENFERMEDAD
ENFERMEDAD RESPIRATORIA
START

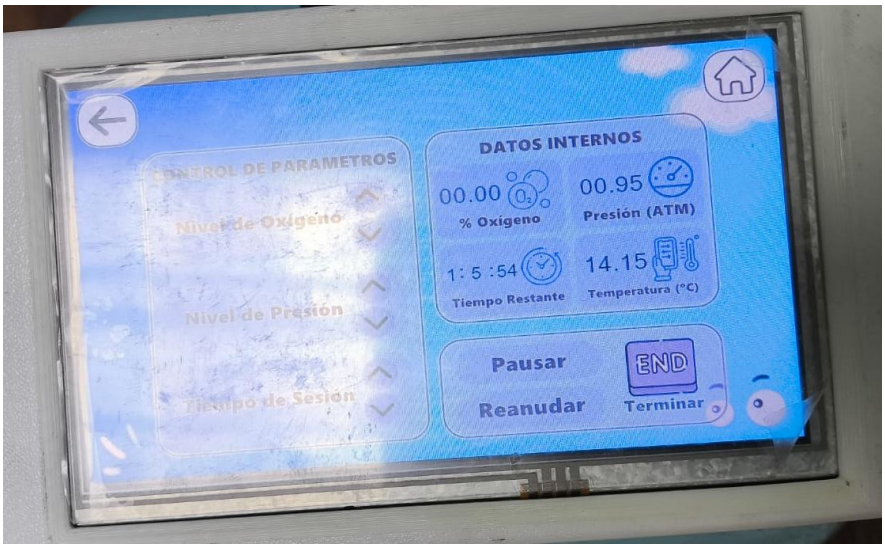

CONTROL DE PARAMETROS
Nivel de Oxígeno
Nivel de Presión
Tiempo de Sesión
DATOS INTERNOS
00.00
% Oxígeno
00.97
Presión (ATM)
1:23:48
Tiempo Restante
14.15
Temperatura (°C)
Pausar
Reanudar
END
Terminar

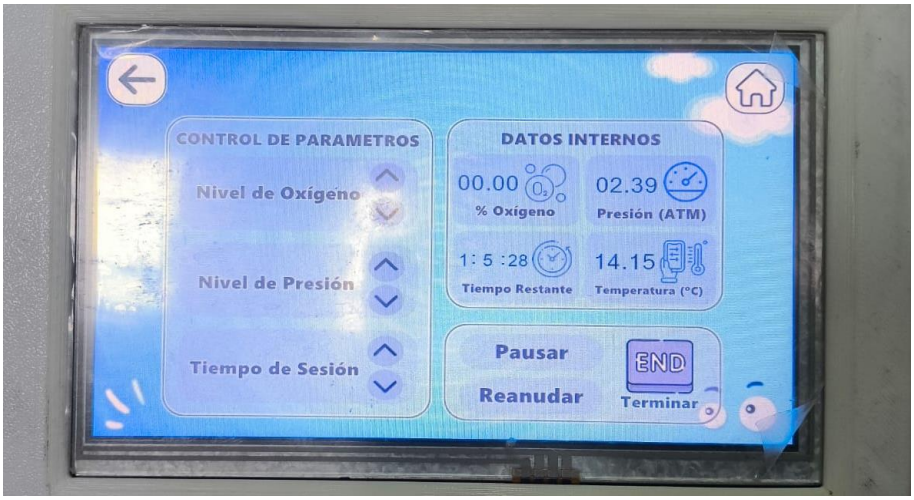

CONTROL DE PARAMETROS
Nivel de Oxígeno
Nivel de Presión
Tiempo de Sesión
DATOS INTERNOS
00.00
% Oxígeno
01.98
Presión (ATM)
1:23:24
Tiempo Restante
14.15
Temperatura (°C)
Pausar
Reanudar
END
Terminar



21. Pruebas de funcionamiento con el caso de 6 minutos.

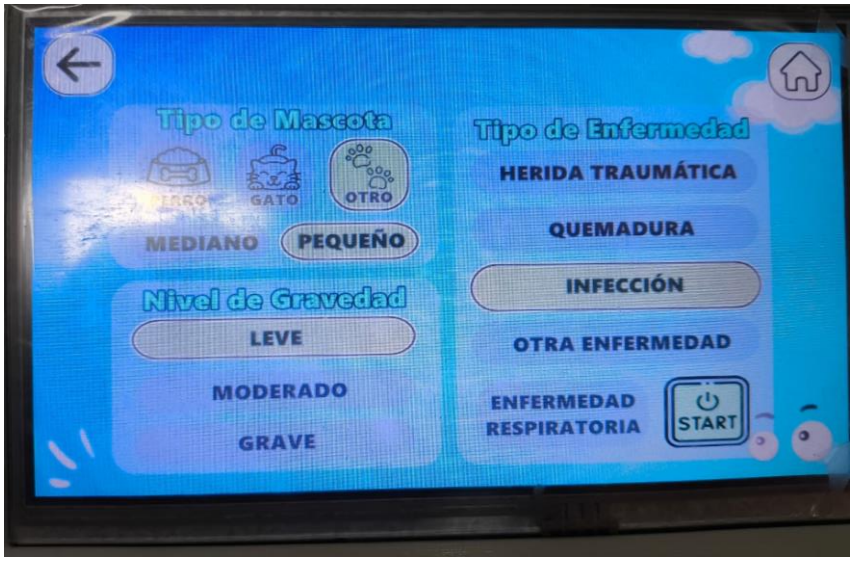




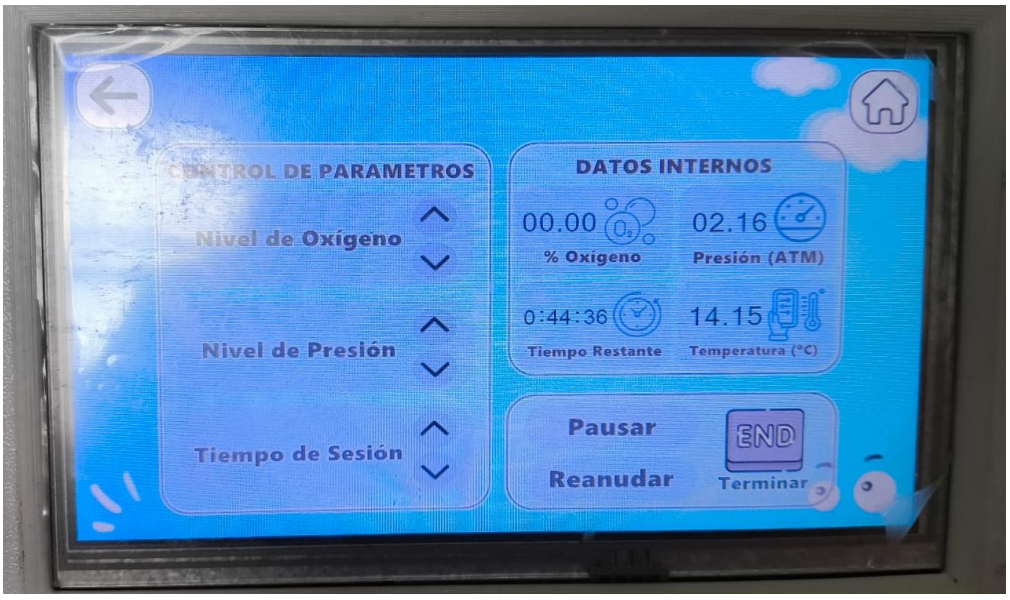




22. Pruebas de funcionamiento con el caso de 45 minutos.

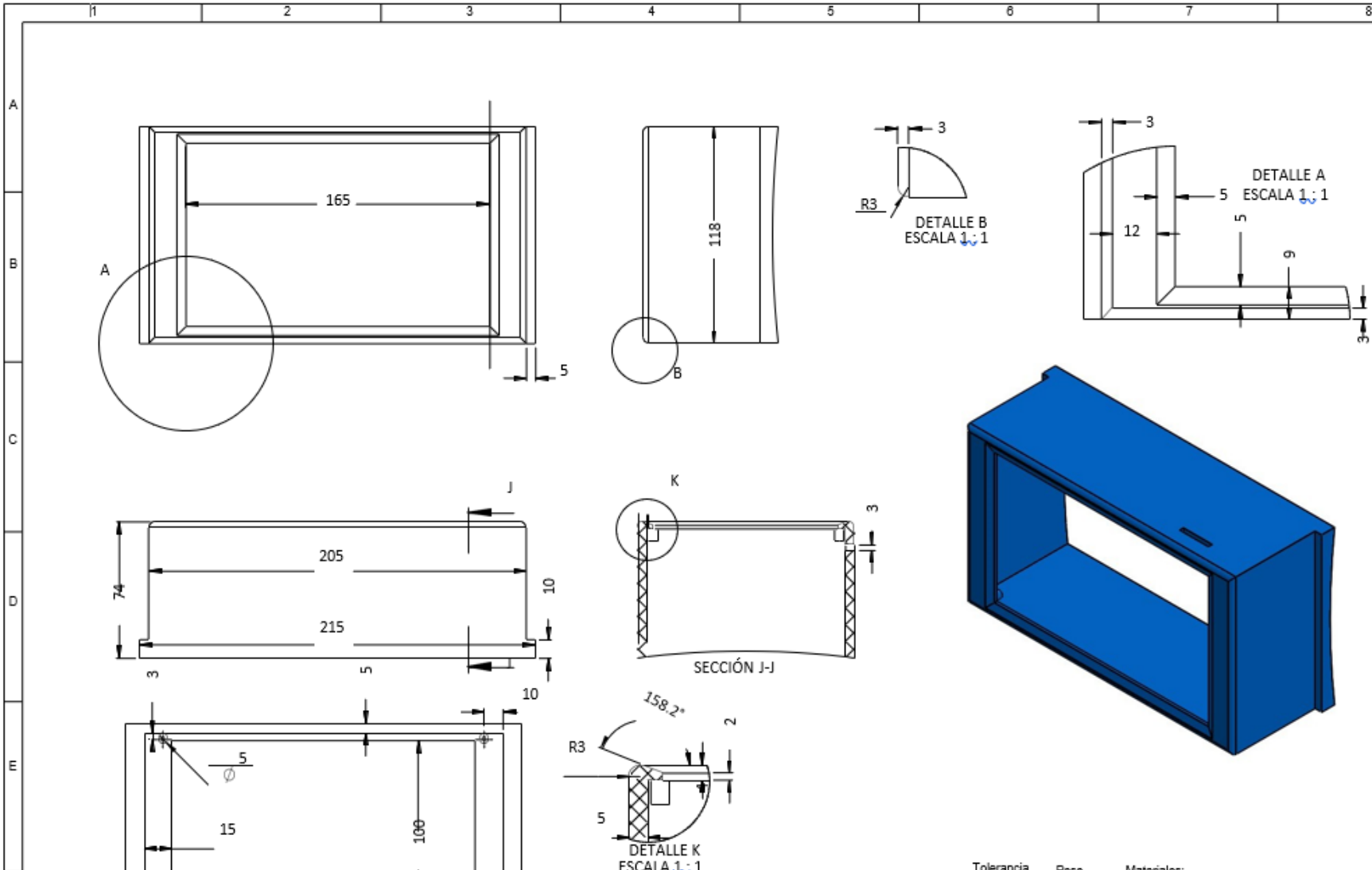

Tipo de Mascota
PERRO
GATO
OTRO
MEDIANO
PEQUEÑO
Nivel de Gravedad
LEVE
MODERADO
GRAVE
Tipo de Enfermedad
HERIDA TRAUMÁTICA
QUEMADURA
INFECCIÓN
OTRA ENFERMEDAD
ENFERMEDAD RESPIRATORIA
START


CONTROL DE PARAMETROS
Nivel de Oxígeno
Nivel de Presión
Tiempo de Sesión
DATOS INTERNOS
00.00
% Oxigeno
01.38
Presión (ATM)
0:44:52
Tiempo Restante
14.15
Temperatura (°C)
Pausar
Reanudar
END
Terminar


CONTROL DE PARAMETROS
Nivel de Oxígeno
Nivel de Presión
Tiempo de Sesión
DATOS INTERNOS
00.00
% Oxígeno
02.16
Presión (ATM)
0:44:36
Tiempo Restante
14.15
Temperatura (°C)
Pausar
Reanudar
END
Terminar



PLANOS DE LA CARCASA



				Tolerancia	Peso	Materiales:	
				±1	gr	ACIDO POLILACTICO (PLA)	
				Fecha	Nombre	Denominación:	Escala:
				Dib. 06/09/2024	CARDENAS G.	CARCASA PANTALLA	1:2
				Rev. 06/09/2024			
				Apro. 06/09/2024			
				U.T.A F.I.C.M.		Número del dibujo: 01	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			Sustitución	