

Sistema automatizado Arduino para autoclave digital en laboratorio clínico del Hospital General de Cabimas

Arduino automated system for digital autoclave in the clinical laboratory of the General Hospital of Cabimas

Chacín Aurimar

aurimarchacinf@gmail.com

<http://orcid.org/0009-0004-7903.3506>

Universidad Politécnica del Zulia. Zulia,
Venezuela

José Roberto Ochoa Gómez

jrog8a@gmail.com

<http://orcid.org/0009-0000-4170-4803U>

Universidad ECCI. Bogotá, Colombia

Recibido el 18 de marzo de 2022 / Arbitrado el 30 de marzo de 2022 / Aceptado el 21 de mayo de 2022 / Publicado el 01 de julio de 2022

RESUMEN

En el ámbito sanitario, la esterilización es un proceso fundamental para prevenir infecciones y garantizar la seguridad de los pacientes. La investigación tiene como objetivo diseñar un Sistema automatizado Arduino para autoclave digital en laboratorio clínico del Hospital General de Cabimas. Se adoptó un enfoque mixto de investigación, combinando elementos cuantitativos y cualitativos para una comprensión profunda del problema. El paradigma crítico-reflexivo guió el proceso, enfatizando la reflexión crítica sobre la realidad y la transformación social. Los resultados revelan que la utilización del sistema agiliza el flujo de trabajo y asegura los resultados de esterilización de manera consistente. Se concluye que se logró diseñar del sistema de control automatizado, además del software de ARDUINO permitió compilar la programación necesaria para permitir el correcto funcionamiento del sistema, se concluye que el diseño es rentable, tomando en cuenta los métodos actuales que se están utilizando para esterilizar a falta de equipos autoclaves que estén operativos.

Palabras clave: Autoclave; Arduino, control; sistema

ABSTRACT

In the healthcare field, sterilization is a fundamental process to prevent infections and ensure patient safety. The objective of the research is to design an Arduino automated system for digital autoclave in the clinical laboratory of the Cabimas General Hospital. A mixed research approach was adopted, combining quantitative and qualitative elements for a deep understanding of the problem. The critical-reflexive paradigm guided the process, emphasizing critical reflection on reality and social transformation. The results reveal that the use of the system streamlines the workflow and ensures consistent sterilization results. It is concluded that the design of the automated control system was achieved, in addition to the ARDUINO software it allowed compiling the necessary programming to allow the correct operation of the system, it is concluded that the design is profitable, taking into account the current methods that are being used to sterilize in the absence of autoclave equipment that is operational.

Keywords: Autoclave; Arduino, control; system

INTRODUCCIÓN

En los laboratorios clínicos, las autoclaves digitales son equipos esenciales para la esterilización de material médico y quirúrgico. Sin embargo, la operación manual de estas autoclaves puede ser laboriosa, propensa a errores humanos y consumir tiempo valioso.

Según Marino (2018), se conoce con el nombre de autoclave a un equipo que, a través del calor y el vapor de agua a presión, permite esterilizar sustancias y elementos ubicados en su interior. Se utilizan en diferentes ámbitos y se aprovechan para desinfectar diferentes objetos.

Los autoclaves son unidades importantes para el sector de la salud; esto es debido a que se encargan de esterilizar los instrumentos usados para hacer procedimientos externos o internos en el cuerpo humano. Han sido declarados como elementos obligatorios en el equipo de bioseguridad que se tenga en centros de salud, hospitales, consultorios, incluso en salas de belleza, donde se utilizan instrumentos invasivos para el cuerpo humano, debido a que los pacientes en estos sitios están expuestos a tantas infecciones y enfermedades altamente contagiosas, los materiales quirúrgicos, gasas e incluso los guantes de plástico deben estar libres de cualquier tipo de contaminación, ya que muchas enfermedades son causadas por elementos infectados, por esta razón, en cualquier parte del mundo es esencial el uso de los autoclaves.

La Organización Mundial de la Salud (OMS) en el año 1983 reconoce que la seguridad biológica es de una amplia importancia en el ámbito internacional. Las designaciones del nivel de bioseguridad se basan en una combinación de las características de diseño, construcción, medios de contención, equipo, prácticas y procedimientos de operación necesarios para trabajar con agentes patógenos de distintos grupos de riesgo.

En torno a esto, según una empresa mexicana dedicada a la venta de equipo de laboratorio, estos se clasifican según los niveles de seguridad que posean en:

Nivel 1. Incluye a aquellos laboratorios que manipulan agentes de riesgo mínimo para el personal y la salud pública. Nivel 2 existe una importante similitud en relación con el nivel 1, aunque, en este caso, se manejan agentes de riesgo moderado para los trabajadores y el ambiente. Dista de la primera clasificación en el hecho de que el personal debe contar con un entrenamiento para el manejo de sustancias y patógenos, el acceso es solo para quienes estén autorizados, se toman medidas preventivas con relación a los objetos punzantes o cortantes que puedan contaminarse y se establecen procedimientos para atender a quienes puedan salpicarse con las muestras. Nivel 3, en este rango están ubicados los espacios clínicos, médicos-universitarios y de diagnóstico, debido a que los instrumentos para laboratorio que emplean y las muestras que manejan son de alto riesgo para el personal y el medio ambiente. Nivel 4, son aquellos laboratorios de máxima contención, por lo que sus espacios están pensados para trabajos de muy alto riesgo. En estos casos, los agentes manejados no poseen antídoto, vacuna o medicamento conocido, (El Crisol, 2020).

En torno al tema es importante mencionar que, a nivel mundial la falta de adherencia a los protocolos establecidos de limpieza y desinfección y otros protocolos de control de infecciones, han llevado a brotes de las infecciones asociadas a la atención en salud (IAAS). Estas son la principal causa de complicaciones asociadas al cuidado intrahospitalario (Rutala y Weber, 2017) y son uno de los tres principales eventos adversos en pacientes hospitalizados, junto con aquellos eventos adversos asociados a medicamentos y los eventos adversos relacionados a los procedimientos quirúrgicos (Haque, et al., 2018).

En Estados Unidos, 1 de 17 pacientes que padece una IAAS fallece, y estas se encuentran dentro de las diez principales causas de muerte (Klevens, et, al., 2007). En los países en vías de desarrollo, en general, 7 a 10 de cada 100 pacientes hospitalizados adquieren una IAAS (Danasekaran, et, al., 2014).

En Colombia, en el año 2012, el Ministerio de Salud y Protección Social designó al Instituto Nacional de Salud (INS) para iniciar el desarrollo de estrategias de vigilancia de las IAAS incluyendo la estrategia en el Plan Decenal de Salud Pública (Ministerio de Salud y protección social, 2021).

Esta realidad no es ajena en el ámbito nacional, así pues, la crisis sanitaria en Venezuela se agudiza, en la mayoría de los centros de salud falta el agua y no hay comida, medicinas, e instrumentos básicos como catéteres, para atender a los pacientes.

En este sentido, el pasado 7 de abril de 2018, la prestigiosa revista *The Lancet* publicó un artículo Editorial titulado: El colapso del sistema de salud venezolano (1), donde describe la destrucción del sistema de salud venezolano, el retorno de enfermedades controladas, como la malaria y difteria y la falta de información oficial de los indicadores de salud, Editorial. *The collapse of the Venezuelan health system. Lancet 2018* (González, 2018)

Aunado a ello, una encuesta nacional reciente, se obtuvo que la Encuesta Nacional de Hospitales 2018 de la oposición política, la Asamblea Nacional y la organización no gubernamental venezolana Médicos por la Salud, reveló que la crisis de salud de Venezuela es peor de lo previsto. La encuesta, realizada entre el 1 y el 10 de marzo de 2018, evaluó el desempeño de 104 hospitales públicos y 33 privados en Venezuela. Según las cifras, la mayoría de los servicios de laboratorio y de nutrición hospitalaria sólo están disponibles de forma intermitente o están completamente inoperativos. En la encuesta se destaca la escasez de artículos como medicamentos básicos, catéteres, material quirúrgico y fórmula infantil; El 14% de las unidades de cuidados intensivos han sido cerradas porque no pueden funcionar y el 79% de las instalaciones analizadas no tienen agua, (La Lanceta, 2018).

En el campo de la esterilización de material quirúrgico, específicamente en el área de laboratorio clínico, los autoclaves son de vital importancia puesto que es el método más económico y seguro para el proceso. La mayoría de equipos en el país son de función manual, es decir que se necesita de la presencia de un operario para cada una de las etapas del proceso de esterilización del autoclave lo cual ha ocasionado innumerables errores humanos que deterioran tanto el equipo como el instrumental que se está esterilizando y su proceso de esterilización según fabricantes como la famosa empresa argentina AKRIBIS especializada en el diseño y producción de instrumentos de medición, registro y control. A partir de esto nace la necesidad de automatizar los procesos de los autoclaves y dar precisión a las condiciones de esterilización mediante implementación de una tarjeta electrónica.

Las empresas encargadas de distribuir los implementos de mantenimiento de los equipos de esterilización en todos los hospitales y clínicas del Estado Zulia están a la espera de la aprobación de divisas con las cuales surten el 90% de los materiales necesarios para el pleno desarrollo de un laboratorio. Esto ha traído como consecuencia que especialmente las instituciones públicas de salud se vean afectadas por esta situación debido a que son subsidiadas por el Gobierno de la República a través del Ministerio del Poder Popular para la Salud.

En el Municipio Cabimas la falta de mantenimiento en los equipos mencionados anteriormente ha sido crítica debido a que las autoclaves funcionan con mucha deficiencia. La mayoría de la comunidad de este municipio es usuaria del Hospital Municipal de Cabimas, sitio donde se realizará la investigación, enfocada en la deficiencia de los equipos de esterilización autoclaves ubicados en el laboratorio clínico, ya que de tres (3) equipos existentes en esta área, dos (2) son análogos y sólo uno (1) es digital, de los cuales los autoclaves análogos no se encuentran en condiciones óptimas, y el digital no se halla inoperativo a causa de mala manipulación por parte del personal.

Por esta razón se diseñará un sistema de control automatizado basado en el autoclave digital Marca Trinex Meditech Modelo SS-210, que será autónomo ya que contará con un módulo ARDUINO MEGA que controlará las distintas variables que posee el equipo y permitirá que el mismo realice un funcionamiento adecuado; de esta forma solucionará la problemática por falta de material estéril existente en el hospital Municipal de Cabimas.

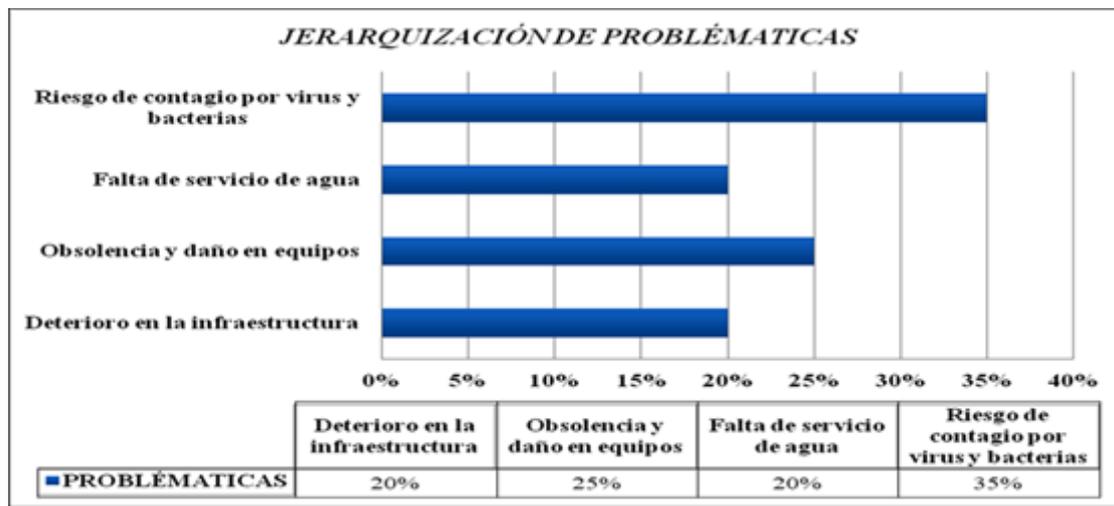
Es importante referir que, los investigadores Pulley y Flores de la Universidad Politécnica Salesiana de Guayaquil, Ecuador, (2019), en su estudio “automatización del proceso de generación de vapor mediante un PLC y una HMI para el Departamento de Esterilización del Hospital León Becerra de Guayaquil”, tuvo como propósito la supervisión y control de encendido remoto del sistema de generación de vapor del cuarto de caldero para el autoclave del área de esterilización. Siendo únicamente los operadores del departamento de mantenimiento y uno del departamento de esterilización los encargados de manejar el caldero arrancando y deteniendo el proceso, este sistema automatizado de control de encendido remoto, monitoreo y supervisión de datos, cimentando su desarrollo mediante el software TIA Portal y SCADA SYSTEM SIMATIC WINCC de Siemens. Esta investigación fue tomada como referencia pues se toma en cuenta otro proceso de automatización como lo fue el PLC y la Interfaz Hombre-Maquina (HMI), haciendo énfasis en la importancia de automatizar los procesos y así evitar el riesgo de accidentes laborales o de contagio de virus y bacterias. A continuación, en la tabla 1 se muestran las problemáticas captadas a través de la observación realizadas en el Hospital General de Cabimas:

Tabla 1. Problemáticas y posibles causas

Problemática	Causa	Observación
Deterioro en la infraestructura.	Pocos recursos destinados a la restauración de las instalaciones Daños causados por el personal y personas ajenas al laboratorio.	Áreas del laboratorio clínico no poseen condiciones óptimas para dar la atención debida a los pacientes.
Obsolescencia y daño en equipos.	Falta de mantenimiento en los equipos y falta de personal técnico que realice dicho mantenimiento Equipos ya obsoletos que cumplieron su tiempo de vida útil Métodos utilizados actualmente no son totalmente eficientes.	El material que debe ser esterilizado (instrumental quirúrgico, guantes, gasa...) tarda en llegar cada una de las áreas correspondientes en el hospital debido a que la mayoría de los autoclaves se encuentran en disfuncionamiento por falta de mantenimiento trayendo como consecuencia accidentes, enfermedades y en algunos casos muerte por infecciones.
Falta de servicio de agua.	La red de aguas blancas a nivel municipal no surte agua regularmente.	Se ha podido observar que en la institución actualmente el servicio de agua proveniente de la red local no es constante.
Riesgo de contagio por virus y bacterias.	Equipos médicos y de bioseguridad no estériles Contacto con algún área o persona contaminada.	Se puede observar que debido al alto contagio en pacientes y personal de salud, producido por diferentes entes patógenos, – entre ellos el COVID-19- es necesario tomar medidas de bioseguridad para reducir el margen de contagios en la ciudad.

A continuación, en la figura 1, se presenta la jerarquización de las problemáticas:

Figura 1. Jerarquización de problemas



La figura 1 refleja la jerarquización de las problemáticas identificadas por los miembros de la comunidad, enfocándose en las posibles soluciones en el área de electrónica. Un aspecto preocupante es el alto riesgo de contagio de virus y bacterias debido a la obsolescencia, el escaso mantenimiento de los equipos médicos y la falta de personal técnico capacitado. Esta situación ha provocado el deterioro de numerosos equipos en distintas áreas del hospital, ocasionando su mal funcionamiento o inoperancia.

En el área de laboratorio clínico, específicamente, los equipos esterilizadores (autoclaves) no funcionan como deberían en mayor medida porque se encuentran obsoletos, lo cual no garantiza su funcionamiento óptimo.

La investigación se elabora según lo definido en el documento rector del Programa Nacional Formación en Electrónica PNF (2009) de la Universidad Politécnica Territorial Del Zulia, dentro del área de Automatización y Control, bajo las líneas de investigación de Controladores e Indicadores de variables porque se lleva a cabo el diseño de un sistema de control automatizado el cual maneja variables como presión, temperatura, humedad y nivel que sea capaz de cumplir con el ciclo completo de esterilización con el fin de eliminar las bacterias y microorganismos existentes en los distintos materiales quirúrgicos.

En otro punto relevante al tema, es importante mencionar algunos términos como:

Los sistemas de control se erigen como herramientas indispensables para optimizar procesos, garantizar la calidad y la seguridad, y maximizar la productividad. Su implementación estratégica en diversos sectores, desde la manufactura hasta la generación de energía, ha revolucionado la forma en que se llevan a cabo las operaciones. Toda producción liderada por ingeniería requiere de este proceso para lograr objetivos determinados. La función de este sistema es la de gestionar o regular la forma en que se comporta otro sistema para así evitar fallas (Gandhi, 2019).

Arduino es una plataforma de creación de electrónica de código abierto, la cual está basada en hardware y software libre, flexible y fácil de utilizar para los creadores y desarrolladores. Esta plataforma permite crear diferentes tipos de microordenadores de una sola placa a los que la comunidad de creadores puede darles diferentes tipos de uso (Fernández, 2022)

Laboratorio clínico es un tipo de instalación con finalidades médicas, pues se analizan muestras y se

realizan pruebas para contribuir en el diagnóstico, tratamiento y prevención de enfermedades (Instituto Europeo de Química, Física y Biología, 2023).

Esterilización es un conjunto de procedimientos destinados a eliminar o destruir todas las formas de vida que se encuentren contenidos en un objeto o sustancia. Este proceso puede realizarse por métodos físicos, mecánicos o químicos (Molina y Treviño, 2022).

Fundamentos Técnicos

Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) Las Normas Venezolanas COVENIN es un organismo creado en el año 1958, mediante Decreto Presidencial No. 501 y cuya misión es planificar, coordinar y llevar adelante las actividades de Normalización y Certificación de Calidad en el país, al mismo tiempo que sirve al Estado Venezolano y al Ministerio de Producción y Comercio en particular, como órgano asesor en estas materias (COVENIN, s/f).

COVENIN 20: 04-003 referida a “Instrumentación y equipos de control. Instalación”.

COVENIN 2217-84 referida a “Generadores de Vapor. Instalación”.

COVENIN 2340-1:2001 Medidas de seguridad e higiene ocupacional en laboratorios. Parte I: Generales.

COVENIN 3558:2000 Riesgos biológicos. Medidas de higiene ocupacional.

Algunas de las normas europeas e internacionales, principales relacionadas con el proceso de esterilización se muestran a continuación.

Las normas ISO son un conjunto de estándares con reconocimiento internacional que fueron creados con el objetivo de ayudar a las empresas a establecer unos niveles de homogeneidad en relación con la gestión, prestación de servicios y desarrollo de productos en la industria. Las iniciales ISO son el acrónimo de International Organization for Standardization (GlobalSuite solutions, 2023).

ISO 11135-1 Esterilización de productos sanitarios. Óxido de etileno. Requisitos para el desarrollo, la validación y el control de rutina de un proceso de esterilización para productos sanitarios.

ISO 17665-1 Esterilización de productos sanitarios. Calor Húmedo. Requisitos para el desarrollo, la validación y el control de rutina de un proceso de esterilización para productos sanitarios.

ISO 11137-1 Esterilización de productos para asistencia sanitaria. Establecimiento de la dosis de esterilización.

ISO 11607 Envasado para productos sanitarios esterilizados terminalmente. Requisitos para los materiales, los sistemas de barrera estéril, sistemas de envasado, requisitos para procesos de conformación, sellado y ensamblado.

ISO 20857:2010 elaborada por el comité técnico ISO/ TC 198, especifica los requisitos para el desarrollo, validación y control rutinario de un proceso de esterilización por calor seco para los dispositivos médicos. También especifica los requisitos y proporciona orientación en relación con los procesos de despirogenización utilizando calor seco.

MÉTODO

Para el desarrollo de esta investigación el enfoque seleccionado fue el mixto (Hernández, et, al, 2014). Según el paradigma crítico reflexivo y el tipo de investigación acción participativa.

Este trabajo se considera investigación acción-participativa Fals (2009) debido a que se trabaja directamente con la comunidad, jugando esta un papel clave en todas sus fases para la elaboración. Para esta

investigación se emplean datos cuantitativos como las pruebas y mediciones correspondientes a la placa original del autoclave tomándose como referencia para diseñar un sistema de control automatizado que sea base para otros tipos de autoclaves. Además, se tomaron datos cualitativos, en los cuales se realizaron las investigaciones necesarias acerca de la comunidad beneficiada y su problemática.

En cuanto a las técnicas e instrumentos, se considera según Arias (2016), la recopilación de datos para el diseño del sistema de control de autoclave esta investigación se sustenta en la meticulosa recopilación y análisis de datos tanto cuantitativos como cualitativos, con el objetivo primordial de diseñar un sistema de control de autoclave eficiente y adaptarlo a las necesidades específicas de la comunidad beneficiada. En el ámbito de los datos cualitativos, se realizó un análisis documental exhaustivo, revisando leyes, reglamentos, revistas y cualquier otro documento relevante para el tema.

Esta revisión permitió comprender el marco legal y contextual en el que se enmarca el proyecto, proporcionando bases sólidas para el diseño del sistema de control automatizado. La observación fue un elemento fundamental durante el proceso de investigación, permitiendo a los investigadores obtener una comprensión profunda y de primera mano de la realidad de la comunidad y los problemas que enfrenta. A través de técnicas como el diario de campo y las anotaciones detalladas durante las visitas al hospital, se pudo constatar de manera directa las deficiencias en los procesos de esterilización y su impacto en la salud de los pacientes. A continuación, en la tabla 2, el plan de acción de la investigación:

Tabla 2. Plan de acción

Operación o actividades principales	Actividades soporte	Tiempo	Responsables	Resultado o producto esperado
Entrevistas a profesores, técnicos especializados en el área. Consultas a distintos tipos de materiales de apoyo para evaluar las mejores alternativas en cuanto a la realización del sistema de control.	Visitas planificadas a la comunidad. Entrevistas no estructuradas, búsqueda de información referente a los sistemas de control automatizados	3 meses.	Investigador colaboradores	Como resultado de dicha investigación se obtuvo un conocimiento más a fondo acerca de los diferentes elementos y software necesarios para el óptimo funcionamiento en la realización del producto
Lista de presupuestos de las distintas alternativas en cuanto a los elementos a utilizar en el sistema de control. Adquisición de componentes, materiales y dispositivos necesarios.	Visitas planificadas a la comunidad. Búsqueda por medios electrónicos de información y tiendas de electrónica locales	4 meses.	Investigador colaboradores	Se determinó la mejor solución entre todas las alternativas presentes. Se realizó una lista de presupuesto de los elementos a adquirir.
Se realizó el circuito equivalente del sistema de control, mediante el uso de programas de simulación	Simulación por medio de software proteus, programación mediante software Arduino.	4 meses.	Investigador colaboradores	Por medio de simulaciones se diseñó un sistema capaz de controlar de manera automatizada las diferentes variables encontradas en cada etapa del funcionamiento de un autoclave.

Operación o actividades principales	Actividades soporte	Tiempo	Responsables	Resultado o producto esperado
Se realizó un prototipo con elementos similares al del autoclave para demostrar el buen funcionamiento del sistema de control.	Simulación por medio de Proteus, programación con software arduino, Montaje realizado en protoboard	3 meses.	Investigado Tutor técnico.	Solución de fallas de diseño y montaje final.
Pruebas de control de calidad al producto final y ajustes técnicos del proyecto	Simulación por medio de Proteus, programación con software arduino, Montaje realizado en protoboard	2 meses.	Investigado Tutor técnico.	Solución de fallas de diseño y montaje final.

RESULTADOS

Acción transformadora

A continuación, se explica la descripción detallada de la elaboración del producto:

Se trata de un sistema de control automatizado mediante Software de Arduino, el cual permite que se cumpla de manera correcta y eficaz el proceso de esterilización de material quirúrgico y de laboratorio por medio de autoclave. Dicho proceso será monitoreado por medio de una pantalla LCD y un panel de selección simple, los cuales le permitirán al personal que operará iniciar el proceso por medio de un botón, y sólo bastará seleccionar el tipo de material a esterilizar para que dicho sistema ajuste las variables de temperatura y presión a las condiciones necesarias para cumplir con el proceso, con el fin de minimizar el contacto del operador con la máquina y evitar accidentes, contaminación del material y cualquier condición que pueda acarrear consecuencias peores.

Incluye una programación de alto nivel dentro de un Arduino Mega 2560, el cual se encarga de tomar las señales enviadas desde los sensores, activar todo el sistema de llenado y crear un ambiente libre de cualquier agente patógeno para así cumplir con un correcto proceso de esterilización, y este a su vez permite que los usuarios de los distintos centros de salud puedan gozar de una buena calidad al momento de ser atendidos y a su vez sentirse con la confianza de que serán tratados con implementos estériles.

Esto nace de la necesidad de que existan en Venezuela más equipos de esterilización activos y que trabajen de manera automática, puesto a que a diario se conoce que la cantidad de contagios por distintos virus, bacterias y agentes patógenos sigue en aumento. La idea fue realizar un sistema que sea adaptable a los parámetros que manejan todos los autoclaves a nivel regional y nacional y que a la vez sea funcional y sencillo, sin embargo se tomó como referencia los parámetros del autoclave digital marca TRINEX MEDITECH SS-210, pero de una manera mucho más sencilla y eficaz.

Lo que lo diferencia del resto es que a pesar de ser programado con un nivel alto de tecnología, sigue siendo sumamente sencillo al momento de que el operador de la máquina necesite iniciar el ciclo de esterilización por medio de un simple botón, además de que mientras se cumple el ciclo dicho operador podrá realizar otras actividades y luego regresar al momento en que termine todo el proceso, reduciendo

el contacto Hombre-Máquina.

Ante el alto riesgo de contagios, infecciones y muertes a causa de instrumentos e insumos contaminados cada vez son más necesarios estos equipos, los cuales llegan a alcanzar las temperaturas necesarias para eliminar los virus y bacterias que puedan existir, en este caso alcanza una temperatura máxima de 135°C, y esta misma varía dependiendo del tipo de material que se necesite esterilizar, aclarando que el ciclo de esterilización está completo cuando termina el tiempo de drenado, a continuación se mostrará las tablas de variables necesarias:

Tabla 3. Tablas de variables necesarias para una buena esterilización.

TIPO DE MATERIAL	PRESIÓN (PSI)	TEMPERATURA °C	TIEMPO DE ESTERILIZACIÓN	TIEMPO DE DRENADO
INSTRUMENTOS	28,45 PSI	132°C	15 MIN	20 MIN
GASAS	28,45 PSI	132°C	20 MIN	30 MIN
GUANTES	17,06 PSI	121°C	20 MIN	20 MIN
LÍQUIDO	17,06 PSI	121°C	30 MIN	0 MIN
FUGA DE VACÍO	-0.0116021 PSI	132°C	3 MIN	30 MIN

En la tabla 3, se muestran la presión, temperatura, tiempo de esterilización y tiempo de drenado correspondiente para cada material (Instrumentos de metal, Gasas, Guantes, Líquido respectivamente). A continuación, en las figuras 2 y 3 se muestran ejemplos de procesos de esterilización:

Figura 2. Proceso de esterilización de material quirúrgico.

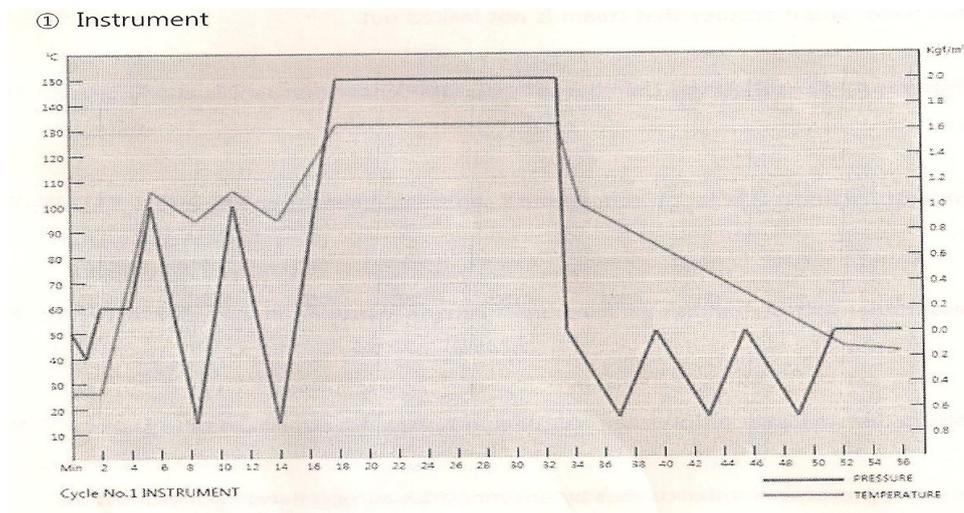
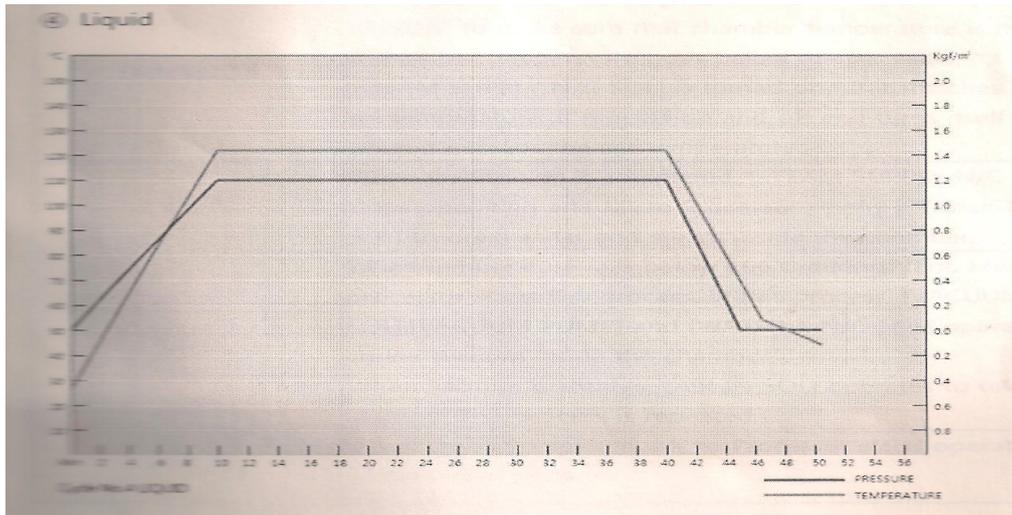


Figura 3. Proceso de esterilización de líquido.



Fuente: Manual de Usuario de Autoclave Digital Trinex Meditech ss-210 (2017).

Cabe destacar, que cada uno de estos procesos de las figuras 2 y 3 son sumamente importantes pues evitan la propagación de distintos virus y bacterias que habitan en los centros de salud y pueden afectar gravemente el organismo humano. Muchos de estos virus mueren a cierta temperatura y en el proceso de esterilización este rango es mucho mayor para asegurar que estos mismos sean totalmente eliminados. Para ello, se elaboró la siguiente tabla de comparación de las distintas infecciones ocasionadas en los centros de salud:

Tabla 4. Tablas de variables necesarias para una buena esterilización.

Temperatura necesaria para eliminar virus y bacterias en centros de salud	
SARS-Cov-2	+92°C
Campylobacter	+100°C
E-COLLI	+70°C
Candida albicans	+121°C
Staphylococcus aureus	+60°C
Streptococcus	+65°C
Clostridium	+100°C
Klebsiella	+95°C
Pseudomona aeruginosa	+121°C
Acinetobacter baumannii	+123°C

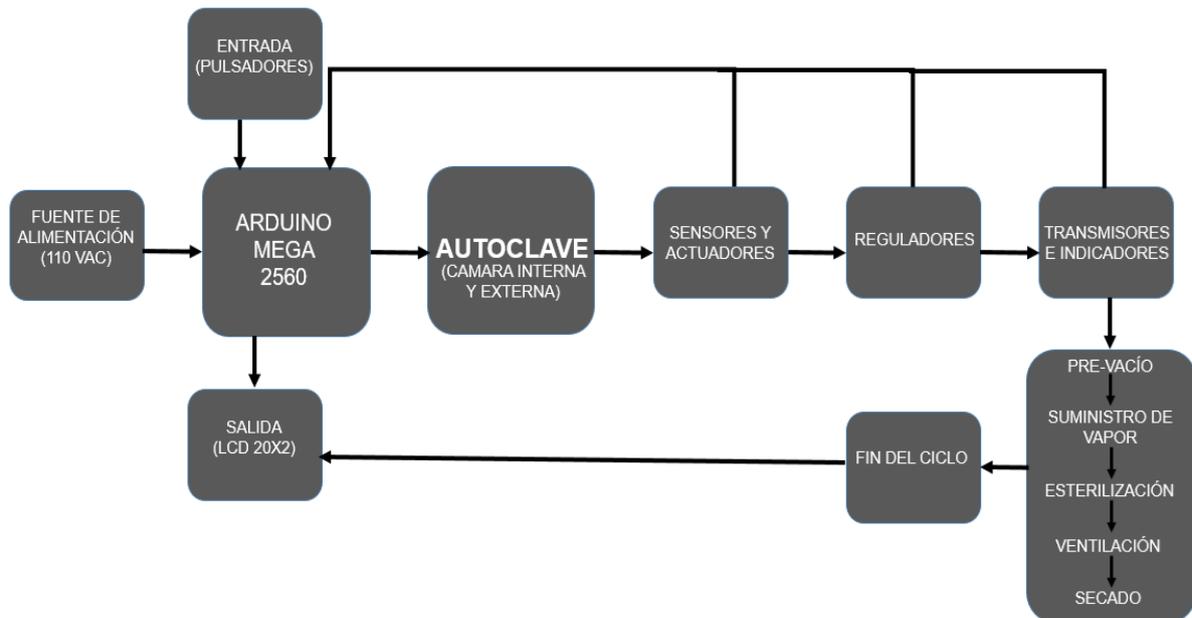
La tabla 4, refleja que la temperatura mínima requerida para eliminar un patógeno específico varía según el tipo de microorganismo. En ella se notan que las bacterias gram positivas son más susceptibles al calor que las bacterias gram negativas. Igualmente, los virus suelen ser más resistentes al calor que las bacterias. Las esporas bacterianas son las estructuras más resistentes al calor y requieren temperaturas aún

más altas para su eliminación.

Funcionamiento del producto o prestación del servicio.

Para el diseño se comienza con la elaboración de un diagrama de bloques que describe las partes funcionales del “Sistema de control automatizado mediante arduino para el autoclave digital en el Laboratorio Clínico del Hospital General de Cabimas”. Se observa la figura 4:

Figura 4. Diagrama de Bloque



Fuente: Alimentación

Para este diseño se tienen que considerar los parámetros en cuanto a tensión y corriente que será suministrada al resto de dispositivos o componentes que conformen el equipo y que opere satisfactoriamente.

Especificaciones Técnicas

Tensión de Entrada. 125 Volt AC 60Hz

Tensión de Salida. +12VDC – 12VDC y 5VDC

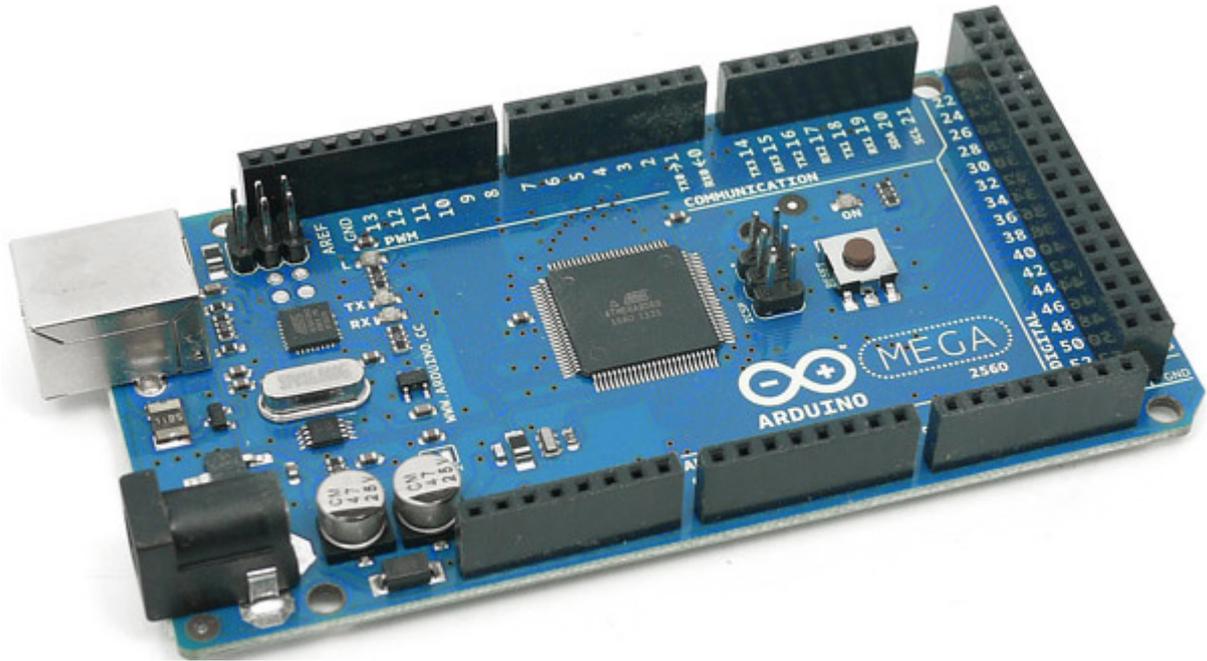
Corriente de Salida. 800 mili Amperios mA

Con estos datos se realizan los cálculos pertinentes y la selección de los componentes que satisfagan las necesidades del equipo.

Arduino Mega 2560

El Arduino Mega 2560 es una placa de desarrollo basada en el microcontrolador ATmega2560. Tiene 54 entradas/salidas digitales (de las cuales 15 pueden ser usadas como salidas PWM), 16 entradas analógicas, 4 UARTs, un cristal de 16Mhz, conexión USB, jack para alimentación DC, conector ICSP, y un botón de reseteo. La placa Mega 2560 es compatible con la mayoría de shields compatibles para Arduino UNO. El Arduino Mega 2560 es una actualización que reemplaza al Arduino Mega, a continuación, en la figura 5.

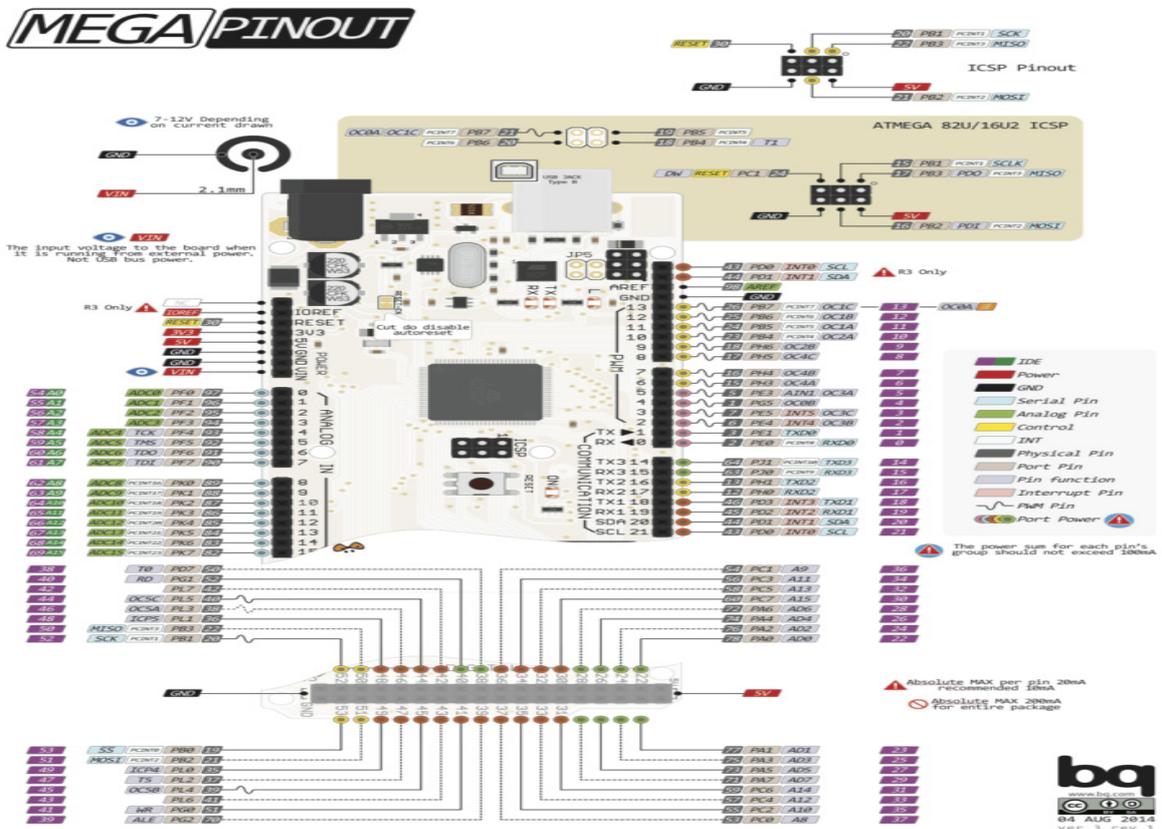
Figura 5. Arduino Mega 2560



Fuente: Google imagen. <https://www.arduino.cc/>

En la figura 6, a continuación, la imagen del Datasheet Arduino Mega 2560

Figura 6. Datasheet Arduino Mega 2560.



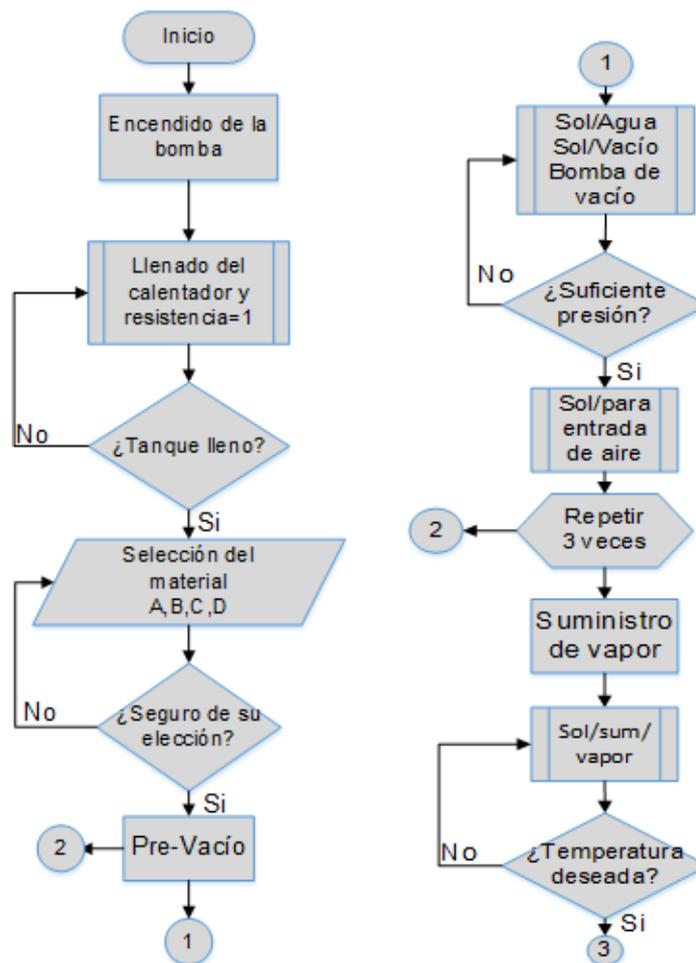
Fuente: Google imagen (2019).

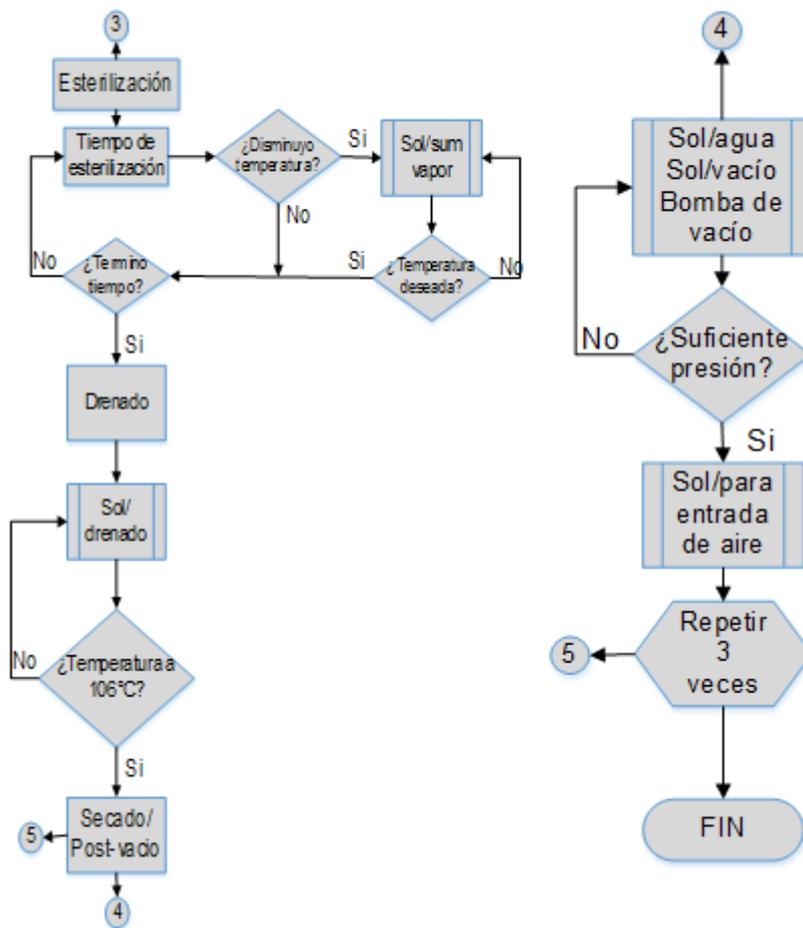
Este dispositivo por su gran variedad de entradas y salidas tanto análogas como digitales será el encargado de automatizar todo el proceso de esterilización; este mismo debe estar conectado a una entrada de +5VDC y por medio de pulsadores iniciar el proceso de la adquisición de datos por medio de los sensores, los cuales le envían una señal al arduino y este de acuerdo a los parámetros analizados preparara la cámara tanto interna como externa para efectuar el proceso de esterilización y su correcto funcionamiento durante cada ciclo. Esto a su vez enviará el resultado de los datos adquiridos desde el Arduino a una pantalla LCD de 20x2 en donde el operador podrá monitorear el proceso. Es el componente que ejecuta la acción de control ON/OFF/del proceso del autoclave.

Una vez iniciado el proceso, los valores del nivel del agua, temperatura y presión comienzan la etapa de precalentamiento, en la cual la cámara externa llega a una temperatura de 106°C mientras se elige el tipo de material a esterilizar, para luego por medio de solenoides liberar vapor hasta llegar a la cámara interna, donde dicho material estará todo el ciclo y la cual no deberá llegar a una temperatura mayor a 135°C, pues implicaría en algunos casos pérdida de insumos pues algunos no resisten altas temperaturas.

A continuación, la figura 7 ilustra el proceso de esterilización:

Figura 7. Proceso de esterilización





El diagrama de flujo explica y define el proceso sistemático a detalle, lo cual facilitó la programación del sistema de control.

Modelado Matemático

Para elaborar este sistema se utilizaron distintas fórmulas de conversión, las cuales facilitaron el proceso de programación y a su vez llevar a cabo la mejor comprensión del funcionamiento, pues fueron llevadas a las unidades de medida utilizadas en Venezuela.

La fórmula para convertir de kg/cm² a libras sobre Pulgada cuadrada, facilitó la comprensión del manual de usuario del Autoclave Trinex Meditech SS-210, el cual fue base referencial de este proyecto y al ser un equipo traído desde otro país las unidades de presión utilizadas eran distintas. Se utilizó

$$\frac{kg}{cm^2} * 14.223 = PSI$$

Del mismo modo se utilizó la fórmula $PSI = 6.895KPa$ ya que el sensor de presión utilizado MPX5700AP interpreta la señal en KiloPascal fue necesario realizar esta conversión para que la unidad mostrada en la pantalla LCD fuese Libras sobre pulgada cuadrada (PSI).

Como se muestra en la figura 9, ya confirmado el diseño se muestra en pantalla la presión y temperatura a la cual se configuró según los parámetros correspondientes para cada material, esto le da al usuario la facilidad de monitorear estos valores y asegurarse de que estén dentro del rango permitido para ese tipo de material. A continuación, la tabla 5.

Tabla 5. Estudio de Tiempo de ejecución.

Tiempos de Ejecución del producto	
Seleccionar	Luego de ejecutar los estudios necesarios que permitieran seleccionar la alternativa adecuada, para el sistema de control automatizado en el autoclave digital del laboratorio clínico del Hospital General de Cabimas
Registrar	Procura, Modelado matemático, Simulaciones, montajes, Pruebas, identificación.
Examinar	Procura: 20 días Modelado matemático: 22 días Simulación: 28 días Armado y montaje: 4 días Pruebas: 10 días Construcción: 5 días Identificación; 2 días
Medir	Las Horas de ejecución de la labor de los trabajadores incluyendo sus horas de descanso deberían ser 6 Horas por persona
Compilar	Recolectar la información de la medición de los tiempos y procesarla para determinar el tiempo de ejecución de la actividad o labor
Definir	Definir el estándar de los tiempos en cada una de las secciones de la producción del producto
Horas Hombre	Son las horas de labor del personal en la ejecución de una tarea según la definición

En la tabla 5 se muestra que, el ciclo de tiempo del trabajo puede aumentar considerablemente a causa de un mal diseño del producto, un mal funcionamiento del proceso o por tiempo improductivo imputable a la dirección o a los trabajadores. El estudio de métodos es la técnica por excelencia para minimizar la cantidad de trabajo, eliminar los movimientos innecesarios y substituir métodos. La medición del trabajo a su vez, sirve para investigar, minimizar y eliminar el tiempo improductivo, es decir, el tiempo durante el cual no se genera valor agregado.

DISCUSIÓN

Los resultados obtenidos apuntan a que el sistema de control basado en Arduino garantiza un proceso de esterilización preciso y sin errores, minimizando la intervención humana y los posibles fallos. Esta automatización agiliza el flujo de trabajo, reduciendo el tiempo necesario para la operación manual y asegurando resultados de esterilización consistentes. La pantalla LCD y el panel de selección simple brindan una interfaz amigable para el personal del laboratorio. Con solo presionar un botón y seleccionar el material, el sistema ajusta automáticamente los ajustes de temperatura y presión, eliminando la necesidad de configuraciones manuales complejas. Esta sencillez minimiza los requisitos de capacitación del operador y reduce el riesgo de errores. En contraste a lo referido por Pulley y Flores (2019), quienes hicieron énfasis en la importancia de automatizar los procesos y así evitar el riesgo de accidentes laborales o de contagio de

virus y bacterias

También, se tiene que el sistema automatizado promueve la seguridad al limitar el contacto humano con el autoclave, lo que reduce el riesgo de accidentes, contaminación y exposición a sustancias peligrosas. Esto es particularmente crucial para prevenir infecciones y contaminación cruzada en entornos sanitarios, igualmente es de fácil adaptabilidad debido a su versatilidad siendo aplicable a una amplia gama de entornos clínicos.

Finalmente, los resultados revelan que, este diseño aborda la necesidad crítica de equipos de esterilización más accesibles y automatizados en Venezuela, especialmente a la luz de la creciente preocupación por las infecciones y la propagación de patógenos, contribuyendo a mejorar los resultados de salud pública al garantizar la esterilización adecuada de instrumentos médicos y suministros de laboratorio.

CONCLUSIONES

Luego de haber finalizado esta investigación, se concluyó que diseñar e implementar el sistema de control automatizado para el funcionamiento de los autoclaves es una alternativa de solución a una problemática ya existente, en la necesidad de innovar y automatizar el proceso de esterilización para evitar contaminaciones al personal que operará el equipo.

Igualmente, se alcanzó la elaboración exitosa del sistema de control automatizado a través de simulaciones de circuitos electrónicos, desarrollándose las simulaciones respectivas, correspondientes con el software ISIS PROTEUS 8.6, comprobándose que el diseño del circuito fue el adecuado, además del software de ARDUINO que permitió compilar la programación necesaria para permitir el correcto funcionamiento del sistema.

Otro punto conclusivo tiene que ver con la realización de las pruebas físicas correspondientes al sistema de control en protoboard, por medio de diferentes componentes electrónicos que simularan el ciclo de esterilización, durante las cuales se utilizaron parámetros similares a las variables utilizadas en el autoclave. Este sistema se realizó basándose en las normas de calidad ISO y COVENIN para garantizar que cada parte del sistema se ajuste con eficiencia a los requerimientos establecidos, cada parte del dispositivo presenta una función específica.

Finalmente se concluye que el diseño es rentable, tomando en cuenta los métodos actuales que se están utilizando para esterilizar a falta de equipos autoclaves que estén operativos.

REFERENCIAS

- Arias Fideas (2016). El proyecto de investigación. 7ma Edición. <https://es.slideshare.net/slideshow/arias-f-2016-el-proyecto-de-investigacin-7-ed-caracas-epstemepdf/257243361>
- Danasekaran R, Mani G, Annadurai K. Prevention of healthcare-associated infections: protecting patients, saving lives. *International Journal of Community Medicine and Public Health*. 2014;1(1):67. https://acin.org/images/guias/LIMPIEZA_Y_DESIN_2022_2_ACINcap_central_SDS.pdf
- El Crisol (2020) Tipos de laboratorios según su nivel de bioseguridad. 7 de julio 2020. <https://elcrisol.com.mx/blog/post/tipos-de-laboratorios-segun-su-nivel-de-bioseguridad>
- Fals Borda, O. (2009). Experiencias teórico-prácticas. En Fals Borda, O., Una sociología sentipensante para América Latina, (pp. 303-365). CLACSO-Siglo del Hombre. <https://biblioteca.clacso.edu.ar/clacso/>

se/20160308052028/10expe.pdf

- Fernández, Y. (2022) Qué es Arduino, cómo funciona y qué puedes hacer con uno. <https://www.xataka.com/basics/que-arduino-como-funciona-que-puedes-hacer-uno>
- Haque M, Sartelli M, McKimm J, Bakar MA. Health care-associated infections – An overview. *Infection and Drug Resistance*. 2018; 11:2321-33. https://acin.org/images/guias/LIMPIEZA_Y_DESIN_2022_2_ACINcap_central_SDS.pdf
- Hernández, R. Fernández, C. Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- GlobalSuit Solutions, (2023) ¿Qué son las normas ISO? <https://www.globalsuitesolutions.com/es/que-son-normas-iso/>
- González, G. (2018) La crisis del Sistema de Salud en Venezuela. <https://www.redalyc.org/journal/3759/375956270002/html/>
- Google imagen (2019). <https://bit.ly/4bBZvnT>
- Google imagen (2021) <https://bit.ly/3K3JStS>
- Hernández, R. Fernández, C. Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación. <https://www.esup.edu.pe/wp-content/uploads/2020/12/2.%20Hernandez,%20Fernandez%20y%20Baptista-Metodolog%C3%ADa%20Investigacion%20Cientifica%206ta%20ed.pdf>
- Klevens RM, Edwards JR, Richards CL, et al. Estimating health care-associated infections and deaths in U.S. hospitals, 2002. *Public Health Rep*. 2007;122(2):160-6. https://acin.org/images/guias/LIMPIEZA_Y_DESIN_2022_2_ACINcap_central_SDS.pdf
- Gandhi, M. (2019) ¿Qué es un sistema de control?. <https://www.autycom.com/que-es-un-sistema-de-control/>
- Instituto Europeo de Química, Física y Biología (IEQFB) (2023) ¿Qué es y qué se hace en un laboratorio clínico? <https://ieqfb.com/laboratorio-clinico-que-se-hace/>
- La Comisión Venezolana de Normas Industriales (COVENIN) https://issuu.com/eyemilyrodriguez/docs/inspecciones_de_seguridad/s/11693766
- La Lanceta (2018) El colapso del sistema de salud venezolano. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(16\)00277-4](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(16)00277-4)
- Marino, E. (2018) Autoclave. <https://es.slideshare.net/slideshow/12-autoclave/114744861>
- Ministerio de salud y protección social. Circular 00000045 Implementación de la estrategia de vigilancia en salud pública de infecciones asociadas a la atención en salud IAAS, resistencia y consumo de antimicrobianos. <https://www.minsalud.gov.co/sites/rid/Lists/BibliotecaDigital/RIDE/DE/DIJ/circular-0045->
- Molina, N., Treviño, N. (2022) Material de cátedra correspondiente a la clase: Bioseguridad en el ámbito de la salud. https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/138091/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Programa Nacional de Formación en Electrónica (2009). https://www.academia.edu/44745027/Programa_Nacional_de_Formaci%C3%B3n_en_Electr%C3%B3nica
- Pulley, I., Flores, J. (2018) Automatización del proceso de generación de vapor mediante un plc y una hmi para el departamento de esterilización del hospital León Becerra de Guayaquil. <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/17918>
- Rutala WA, Weber DJ. Disinfection and sterilization in health care facilities: an overview and current issues. *Infect Dis Clin North Am*. 2016;30(3):609-37. https://acin.org/images/guias/LIMPIEZA_Y_DESIN_2022_2_ACINcap_central_SDS.pdf