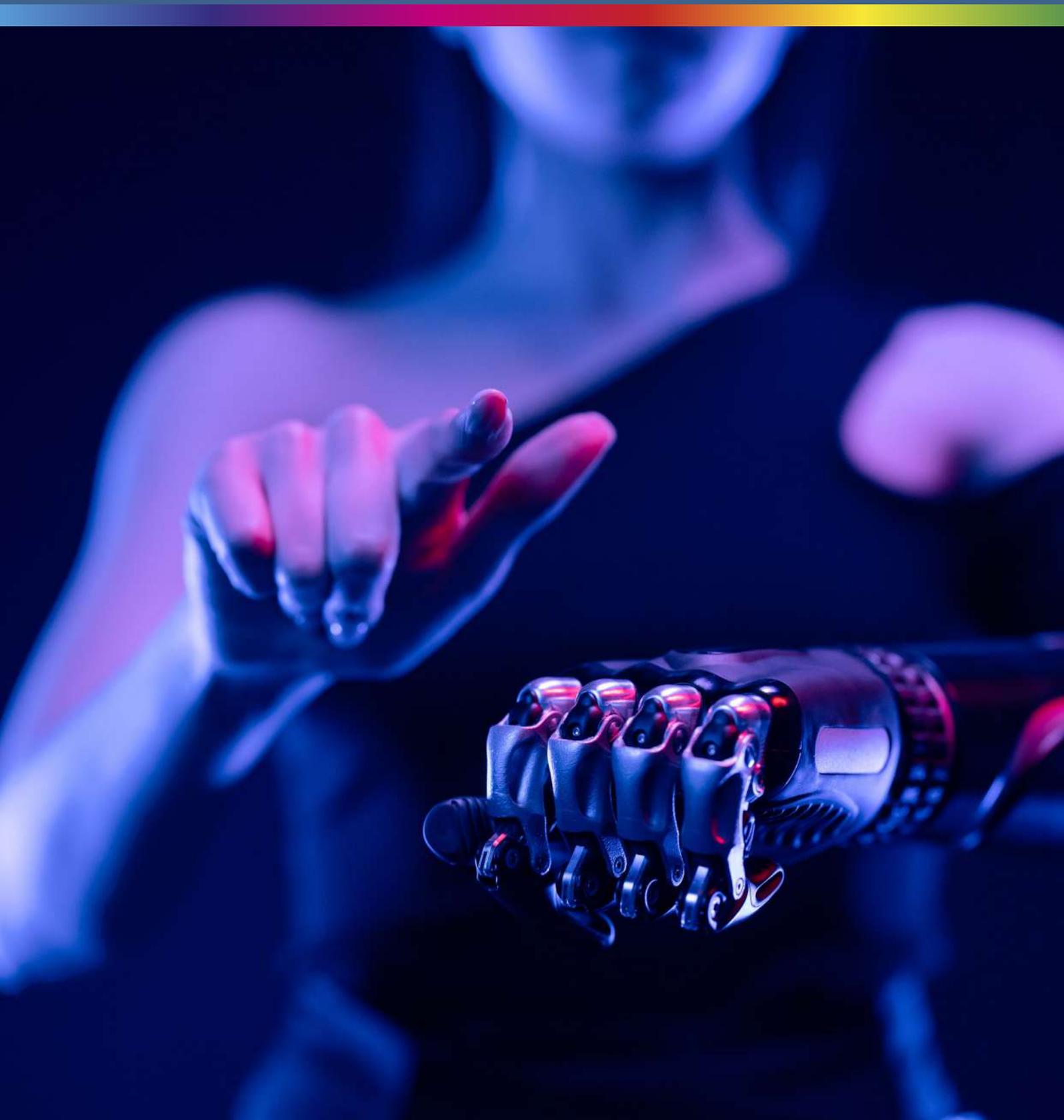


INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Volumen 6 · Número 1 · Junio 2024 · Publicación semestral



INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA

REVISTA DE INVESTIGACIÓN E INNOVACIÓN

INSTITUTO SUPERIOR TECNOLÓGICO CENTRAL TÉCNICO

COMISIÓN DE INVESTIGACIÓN

ISSN 2600-5565

Volumen 6

Número 1

Junio 2024

Publicación Semestral

Dirección:

ISTCT, Av. Isaac Albéniz E4-15 y El Morlán, Sector el Inca, Quito - Ecuador

Contactos:

www.istct.edu.ec

www.investigacionistct.ec

email: investigacionistct20@gmail.com

Telf.: 099 924 1151

Director General

Mgs. Rodrigo Veintimilla, Rector
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico
Quito, Ecuador.

Editor en Jefe

PhD (c) Elva Gioconda Lara Guijarro
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico

Editor Asociado

Vanessa Cristina Erazo
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio

Ricardo Patricio Arciniega
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio

Vicente Quishpe
Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi

Edgar Valdemar Guamán Tenezaca
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico

Roberto David Lanás Pérez
Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi

Javier Alejandro Núñez Salgado
Investigador independiente

Directora Comité Científico

MSc. Katalina Sarmiento, Vicerrectora
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico Quito,
Ecuador.

Expertos

Néstor Xavier Maya Izurieta
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico

Paúl David Rosero Montalvo
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio

Pamela Estefanía Godoy Trujillo
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio

Carlos Paúl Caza García
Instituto Superior Tecnológico Nueva Vida

Bolívar Alejandro Cuaical Angulo
Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi

Equipo Técnico

Luis Armando Caiza Quishpe
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio

Rodrigo Andrés Cárdenas Yáñez
Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi

Edwin Fernando Díaz Poma
Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi

Edwin Alfonso Chamba Monar
Investigador independiente

Gissele Estefanía Mosquera Campaña
Investigador independiente

Pedro Jijón Cando
Instituto Superior Tecnológico Cotopaxi

Rina Iliana Rosa Sanabria
Investigador independiente - Honduras

Christian Arturo Calderón Gavilanes
Investigador independiente

Luis Enríquez Pinzón Barriga
Instituto Superior Tecnológico 17 de Julio

Katuska Espinoza Pérez
Instituto Técnico San Antonio

Renato Rafael Amores Valiecilia
Investigador independiente

Diego Guacho
Escuela Superior Politécnica de Chimborazo

Diseño y Diagramación

Mgs. Hilda Jacqueline Montesdeoca Orozco Instituto
Superior Tecnológico Central Técnico

Traductora

MSc. Joyce Shirley Narváez Sarango
Instituto Superior Tecnológico Central Técnico

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

La aventura de descubrir



Junio 2024

Nota Editorial

En esta edición de nuestra revista de divulgación científica, nos complace presentar una ecléctica selección de artículos que destacan los avances y desafíos en diversas disciplinas, desde la mecánica industrial hasta la electrónica, la electricidad, la mecánica automotriz y el estudio de materiales. Los expertos y profesionales de estos campos (estudiantes y docentes) comparten sus conocimientos y descubrimientos más recientes, proporcionando una visión profunda de las tendencias emergentes y las tecnologías revolucionarias que están dando forma al futuro de la ingeniería y la tecnología. Con un enfoque en la interconexión entre estas áreas, nuestra revista busca fomentar la colaboración y el intercambio de ideas, impulsando así la innovación y la excelencia en el amplio espectro de las ciencias técnicas y así mismo en los sectores sociales, ambientales, económicos e industriales.

Desde soluciones ingeniosas en la optimización de procesos hasta desarrollos vanguardistas en la electrónica aplicada, esta edición refleja el dinamismo de las carreras técnicas y destaca la importancia de la investigación y la creatividad en la resolución de problemas del mundo real. Nos enorgullece proporcionar un espacio donde la comunidad científica y técnica puede compartir su experiencia y contribuir al progreso continuo de estas disciplinas cruciales.

Además, queremos expresar un especial reconocimiento a quienes conforman el órgano editorial de la revista de divulgación científica, a los integrantes de la coordinación de I+D+i y a las autoridades del Instituto Superior Tecnológico Central Técnico con mención de universitario, rector Rodrigo Veintimilla, Mgs., vicerrectora Katalina Sarmiento, Mgs., por su compromiso en la publicación del quinto número de la revista de divulgación científica "Investigación Tecnológica IST Central Técnico".

PhD (c) Elva Lara G.

Editora General

Revista Investigación Tecnológica ISTCT

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

ÍNDICE

Desarrollo de un Sistema de localización basado en GPS E IOT: un estudio de caso en Quito.	7
Diseño y fabricación de una silla de ruedas para miembros posteriores de canes de raza pequeña hasta 4 Kg mediante impresión 3D.	18
Diseño y fabricación de una prótesis delantera semiflexible para canes de hasta 15 kilogramos mediante impresión 3D.	31
Fabricación aditiva de una férula para artritis de mano en personas de la tercera edad aplicando escaneo e impresión 3D.	41

DESARROLLO DE UN SISTEMA DE LOCALIZACIÓN BASADO EN GPS E IOT: UN ESTUDIO DE CASO EN QUITO

DEVELOPMENT OF A GPS AND IOT BASED LOCALIZATION SYSTEM: A CASE STUDY IN QUITO

¹Stalin Marcelo Hidrobo Proaño, Estudiante de doctorado en la Universidad Politécnica de Valencia

E-mail: stahid@doctor.upv.es

²José Salvador Oliver Gil, Docente Titular en la Universidad Politécnica de Valencia

E-mail: joliver@disca.upv.es ORCID: 0000-0002-2617-0636

³Germán Nimrod Varela Rosario, Investigador y Editor de Textos Académicos

E-mail: nimrodvarelaresario@gmail.com

RECIBIDO: 2024-05-24

ACEPTADO: 2024-06-18

APROBADO: 2024-06-19

RESUMEN

Este documento detalla el desarrollo de un dispositivo para localizar y obtener parámetros de vehículos mediante una app, usando la red Internet de las Cosas (IoT). Su fin es localizar un dispositivo con GPS integrado. Incluye: (1) sistema embebido microcontrolado, (2) servidor en la nube, y (3) servicio web con interfaz gráfica. El sistema embebido recoge datos de ubicación vía sensor GPS y se conecta a internet por GSM, procesa la información y sube datos al servidor en la nube, manteniendo el sistema en reposo para ahorrar energía. El servidor en la nube, comunicándose por GSM, utiliza capacidad computacional alquilada y monitorea el dispositivo, empleando MQTT para transmitir y asociar datos al servicio web. Este último, alojado en el servidor, muestra la información y ubicación del dispositivo en tiempo real en un mapa, accesible desde computadoras o móviles con internet, garantizando monitoreo continuo mientras el dispositivo esté activo.

Palabras clave— GPS, IOT, MQTT, Servicio Web, GSM.

ABSTRACT

This document details the creation of a device for vehicle localization and data acquisition using a mobile app and Internet of Things (IoT) network. The goal is to track a device's precise location via integrated GPS. The system includes three main elements: (1) a microcontrolled embedded system, (2) a cloud server, and (3) a web service with a graphical interface. The microcontrolled system gathers location data through a GPS sensor and GSM network connectivity, processes the data, conserves energy in sleep mode, and uploads information to the cloud server. The cloud server, communicating via GSM, utilizes rented computational resources and specialized programs to monitor the microcontrolled device. It employs MQTT for data relay and integration to the web service. The web service, hosted on the cloud, orderly displays data through a graphical interface, showing the device's real-time location on a map, accessible via internet-connected computers or mobile devices, thus ensuring continuous monitoring provided the device is powered.

Keywords— GPS, IOT, MQTT, Web Service, GSM.

1. INTRODUCCIÓN.

A partir de su desarrollo inicial para aplicaciones y servicios de uso exclusivamente militar en la década de 1970, la tecnología del Sistema de Posicionamiento Global (GPS por sus siglas en inglés) ha transformado de forma vertiginosa la manera en que la gente navega, conoce y comprende el mundo. Desde ese entonces, el GPS ha llegado a constituir una herramienta de uso fundamental para una variedad de aplicaciones civiles (Hegarty & Kaplan, 2005), al punto que hoy es considerada como invaluable y se estima que si todo el sistema llegara a fallar sus consecuencias serían catastróficas (BBC, 2019).

La precisión con que el GPS permite establecer la ubicación de un objeto a nivel geográfico ha impactado de modo tal que muchas áreas de estudio cambiaron por completo respecto de cómo se las llevaba anteriormente. Esto se puede evidenciar en áreas como los diferentes sistemas de navegación, la cartografía, la gestión de flotas, la planificación de rutas, entre otras (Misra & Enge, 2006). Con el desarrollo de la tecnología e incluso la posibilidad de miniaturización alcanzada hasta hoy, el uso del GPS ha encontrado aplicaciones en áreas menos obvias pero igualmente importantes; este es el caso del rastreo de seres animados como personas y animales con la sola implantación de chips o el uso de elementos como relojes, pendientes, etc., Asimismo, el uso del GPS es utilizado en campos como la geología, donde se utiliza para medir el movimiento tectónico (Bilich, Larson, & Axelrad, 2008), y la meteorología, donde se utiliza para medir la humedad atmosférica (Ware, y otros, 2001).

Para la sociedad en general, el GPS ha llegado a establecerse como una herramienta de uso cotidiano. Los dispositivos GPS son instalados en aplicaciones de mapas en los teléfonos inteligentes y automóviles, tanto para usarlos en servicios de navegación (Axelrad & Comp, 2008) como seguridad por su capacidad de rastreo (Pritpal,

Tanjot, Bunil Kumar, & Bibhuti Bhushan, 2015). Además, el GPS se utiliza en aplicaciones de fitness para rastrear rutas de carrera y ciclismo, y en aplicaciones de redes sociales para compartir ubicaciones.

En relación con el Internet de las Cosas (IoT por sus siglas en inglés), el GPS desempeña un rol fundamental. Prácticamente todo dispositivos IoT debe contar con GPS para enviar datos de su ubicación y garantizar su correcto funcionamiento. Los drones, por ejemplo, usan el GPS para navegar y los hogares inteligentes pueden utilizar el GPS para ajustar su comportamiento en función de su ubicación geográfica (Borgia, 2014).

En lo que concierne a este estudio, se realizó un análisis de los errores absoluto y relativo que surgen al medir las coordenadas de longitud y latitud en 20 locaciones distintas de la ciudad de Quito, utilizando un módulo GPS desarrollado e implementado con el objetivo de compararlo y mejorar las prestaciones de otros productos del mercado. Esto se logró al comparar los datos que arroja el dispositivo GPS con los del dispositivo móvil Sony Xperia AX1 Mini.

Además, se desarrolló una aplicación, disponible tanto para dispositivos móviles como para plataforma web, que muestra en tiempo real las coordenadas del módulo GPS integrado, empleando principalmente herramientas de código abierto.

El marco teórico de este estudio abarca los conceptos de: Internet de las Cosas (IoT) (Laghari, Wu, Laghari, Ali, & Khan, 2022, págs. 1395-1410), protocolos de comunicación IoT, redes, sensores inalámbricos (WSN), sistema de control, computación en la nube (cloud), Sistema de Posicionamiento Global (GPS) y geolocalización.

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

La implementación del sistema GPS requiere una combinación de hardware y software para garantizar un funcionamiento preciso y confiable.

Los componentes de hardware aseguran la adquisición de datos de ubicación, mientras que el software permite la programación y visualización de estos datos de manera efectiva. La selección de estos materiales se basa en su capacidad para cumplir con los requisitos específicos del proyecto y garantizar un rendimiento óptimo.

A continuación, se describen en detalle las tecnologías utilizadas:

2.1. Hardware

2.1.1. Arduino Uno: Este dispositivo se compone principalmente de un microcontrolador ATmega328P ([Banzi & Shiloh, 2015](#)) que facilita la programación y control de componentes sin necesidad de un programador externo, gracias a su puerto USB. Su diseño abierto, respaldado por una extensa comunidad, ofrece una amplia compatibilidad con módulos y sensores ([Arduino, 2023](#)).

2.1.2. Módulo de Identificación de Abonado (SIM): Este chip es fundamental para la identificación en la red móvil telefónica. Almacena de manera segura la clave de servicio del beneficiario y varía en capacidad de almacenamiento, siendo comúnmente de 16 a 32 kb ([Edwards, 2023](#)).

2.1.3. Módulo GPS NEO 6M: Este módulo compacto se comunica a través del puerto serial UART, lo que facilita su uso con diversos dispositivos como Arduino, Raspberry Pi y computadoras. El módulo NEO 6M mide magnitudes clave como latitud, longitud, velocidad y altitud. Las características técnicas se resumen en la Tabla 2.1 ([ublox, 2011](#)).

2.1.4. Módulo SIM GSM/GPRS 808: Esta solución integrada SIM808 fusiona capacidades GSM/GPRS y GPS en un único dispositivo. Facilita comunicaciones por voz, SMS y transmisión de datos, además de ofrecer rastreo de ubicación a través de coordenadas GPS. Dada su construcción

compacta y versatilidad, es perfecto para iniciativas de IoT, seguimiento vehicular y telemetría. Su creciente base de usuarios proporciona una amplia documentación y ejemplos. Para establecer la conexión a Internet mediante una tarjeta SIM, es esencial obtener detalles de la APN (Access Point Network) suministrada por el proveedor telefónico; en este contexto, CNT-Ecuador. Se puede acceder a estos datos en "apnsettings.org" bajo la etiqueta "GPRS APN CNT Ecuador", que presenta la APN "internet.cnt.net.ec", y requiere dejar los campos de usuario y contraseña vacíos.

2.2. Software

2.2.1. Arduino IDE y sus Librerías: Arduino IDE es una plataforma de código abierto y gratuita, diseñada principalmente para programar una amplia gama de microcontroladores, incluyendo Arduino Uno. Su interfaz clara y directa optimiza el proceso de escritura, depuración y gestión de código, así como el manejo de bibliotecas y la configuración de dispositivos ([Arduino, 2023](#)). Gracias a esta herramienta, tanto aficionados como expertos pueden desarrollar proyectos electrónicos desde su concepción hasta la ejecución, asegurando una interacción perfecta con Arduino Uno y otros módulos asociados ([Marqolis, Jepson, & Weldin, 2020, págs. 30-34](#)).

La efectividad de Arduino IDE reside en parte en su capacidad para integrar distintas librerías que mejoran la interacción con los componentes del sistema. Algunas de las más cruciales para nuestro propósito son TinyGSM, TinyGPS, PubSubClient y Async-mqtt-client. Las figuras 1, 2 y 3 ofrecen una visión estructurada del algoritmo empleado en la programación del dispositivo. Este conjunto de instrucciones engloba funciones vitales que posibilitan la transmisión de coordenadas de ubicación al servicio cloud. En el proceso, se inicializan las librerías, se establecen las variables pertinentes, se determinan los puertos seriales y se confirma la operatividad del módulo GSM, entre

otros procedimientos esenciales.

Figura 1.
Diagrama de Flujo programa microcontrolador

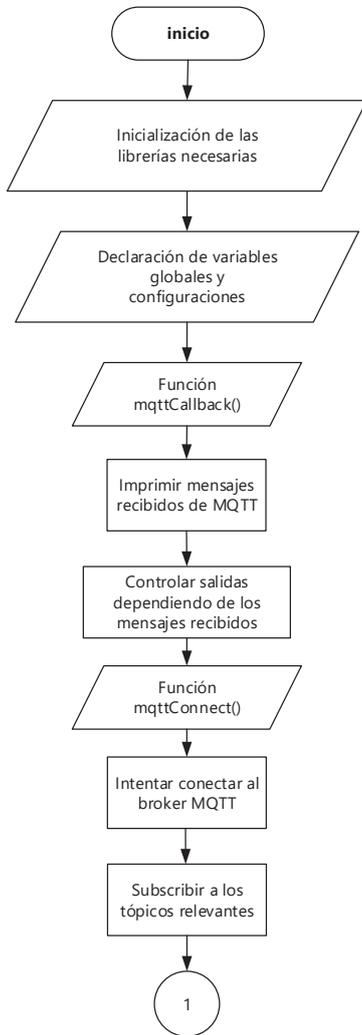


Figura 2.
Diagrama de programa del microcontrolador

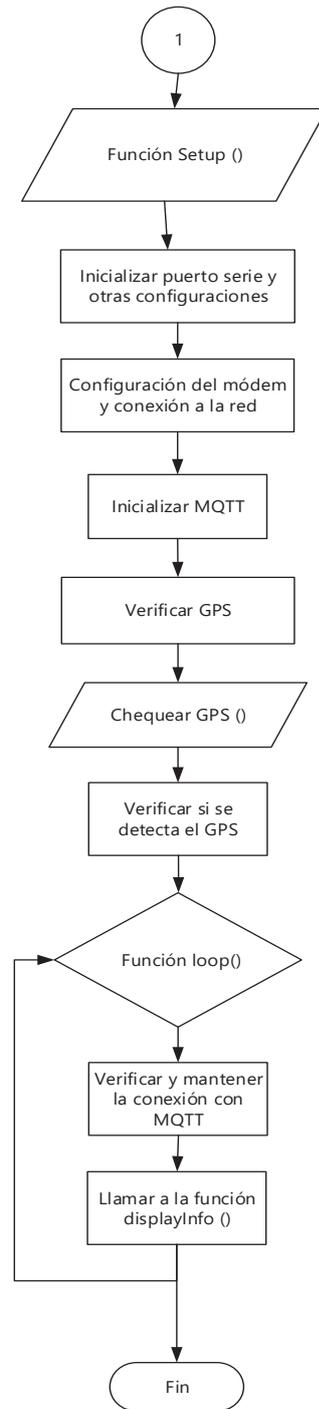
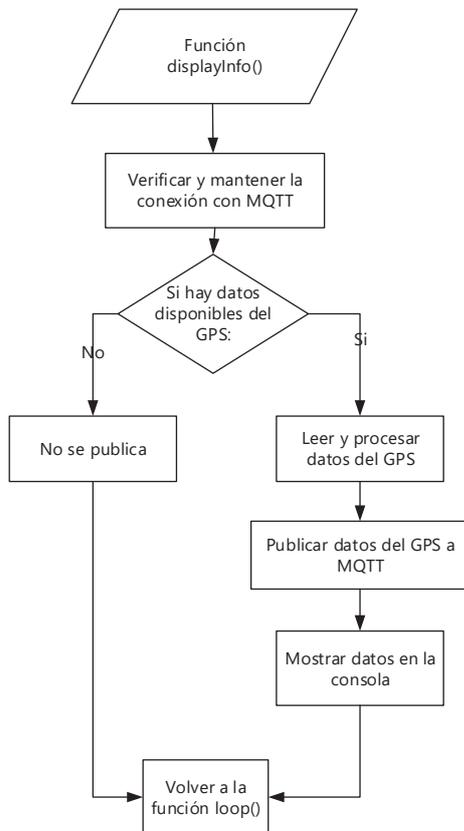


Figura 3.
Diagrama de Flujo programa del microcontrolador



2.2.2. Publicación/Subscripción a través de MQTT en la Nube:

El microcontrolador Arduino Uno, complementado con el módulo SIM808, establece comunicación con el servidor en la nube utilizando el protocolo MQTT (Message Queue Telemetry Transport) **(Shilpa, Vidya, & Santosh, 2023, págs. 60-66)**. Este sistema de mensajería, diseñado para ser ligero, actúa como un puente de publicación y suscripción, permitiendo una comunicación fluida entre diferentes dispositivos. El broker MQTT Mosquitto, ejecutado en una máquina virtual proporcionada por Digital Ocean, desempeña un papel fundamental en este proceso **(Mosquitto, 2023)**. A través de una conexión a Internet facilitada por la operadora CNT, Arduino Uno se conecta y participa activamente en la publicación y suscripción de datos con el servidor en la nube. El broker Mosquitto seleccionado, Eclipse Mosquitto, es reconocido por ser una solución abierta que

soporta diversas variantes del protocolo MQTT **(Wong, 2021)**. Su inclusión en este proyecto se debe a su eficiencia, versatilidad y capacidad para integrarse en distintos dispositivos, desde sistemas computacionales tradicionales hasta microcontroladores específicos como Arduino. En el ámbito del Internet de las Cosas (IoT), MQTT es considerado como un elemento clave para una interacción dinámica y constante entre dispositivos, y Mosquitto cumple este rol a la perfección, asegurando una conectividad robusta y fiable dentro del universo IoT. Además, para garantizar una comunicación efectiva, se suscribe el microcontrolador Arduino al tema MQTT en el servicio de nube para recibir información. Las credenciales de la red GSM y los detalles del broker MQTT se configuran en el IDE de Arduino, verificando posteriormente la comunicación mediante el envío de mensajes desde la consola de Digital Ocean hacia Arduino Uno.

2.2.3. Servidor en la Nube con DigitalOcean y Linux:

Se ha configurado un servidor en la nube que opera bajo el sistema operativo Linux, específicamente Ubuntu 20.04 LTS, utilizando DigitalOcean. DigitalOcean, conocido por su interfaz intuitiva, es una herramienta diseñada para simplificar a los desarrolladores el proceso de despliegue y administración de soluciones en la nube **(DigitalOcean, 2023)**. En el contexto de este proyecto, dicho servidor juega un papel esencial, actuando como puente y coordinador del flujo de datos que emanan y convergen en el sistema GPS, garantizando así una transmisión ágil y precisa. Adicionalmente, para soportar servicios y aplicaciones tales como Mosquitto, Flask, Open Street Maps, JS y HTML, se levanta una máquina virtual (Droplet) que se ajusta a un plan económico, cumpliendo así con las necesidades y especificaciones del proyecto. La gestión y administración del servidor se lleva a cabo mediante el uso de la línea de comandos, asegurando un control completo y detallado de la

infraestructura.

2.2.4. Implementación del Servidor Web con

Flask: Flask emerge como un microframework de preferencia en el desarrollo web, enraizado profundamente en el lenguaje Python. Es renombrado por proporcionar herramientas intuitivas que simplifican y agilizan la creación de aplicaciones web. Pese a su aparente simplicidad, la potencia y versatilidad de Flask lo posicionan como una herramienta formidable, especialmente apta para proyectos de envergadura moderada, tal como el sistema GPS que estamos abordando. Además de su flexibilidad inherente y su diseño liviano, que son esenciales para prototipos y proyectos que buscan un despliegue rápido, Flask se encarga de gestionar eficazmente los mensajes emitidos por el servicio MQTT, supervisando a su vez los websockets tanto de entrada como de salida. Esta gestión centralizada facilita el control y procesamiento de la información procedente de Mosquitto, así como la integración con aplicativos adicionales como Open Street Maps, Java Script y HTML. Para garantizar su funcionamiento constante, Flask se ejecuta de manera persistente a través de una terminal de consola, asegurando así una comunicación ininterrumpida y eficiente con las diversas interfaces y servicios conectados.

2.2.5. Cartografía colaborativa con OpenStreetMap (OSM):

OSM se ha consolidado como una respuesta revolucionaria a la creciente necesidad de mapas libres y de fácil edición, posicionándose como un baluarte en el ámbito de la cartografía colectiva (Grinberger, Minghini, Juhász, Yeboah, & Mooney, 2022). Nutrido por una vasta comunidad global de voluntarios comprometidos, OSM se presenta como una alternativa refrescante a las opciones comerciales tradicionales, otorgando un espíritu verdaderamente abierto y colaborativo al mundo de la cartografía. Esta esencia comunitaria no solo promete actualizaciones frecuentes y detalladas que capturan la dinámica constante del paisaje

urbano y territorial, sino que también enfatiza el poder colectivo en la creación de mapas.

Pero OSM no se limita a ser solo un mapa; representa una plataforma potente, adaptable a una multitud de aplicaciones específicas. Con una vasta base de datos que abarca desde intrincadas vías hasta puntos de interés detallados, se erige como la elección óptima para sistemas como GPS que demandan exactitud y fidelidad en la geolocalización. En un mundo donde el acceso y la personalización de mapas se vuelven imperativos, OSM sobresale con un ethos comunitario y libre, encapsulando no solo un recurso invaluable, sino también una visión de cartografía para y por el pueblo. Es, en esencia, una herramienta que invita a construir y participar en un mosaico global, tejido por una comunidad diversa, para el beneficio y enriquecimiento de todos. Por lo tanto, en este proyecto, en lugar de suscribirnos y generar claves API como se haría con servicios pagados como HERE, simplemente nos integramos de forma libre y directa con OSM, aprovechando su riqueza y flexibilidad para visualizar las coordenadas suministradas por el dispositivo GPS.

2.2.6. Aplicación de usuario basada en HTML y

JavaScript: Esta solución digital ha sido concebida utilizando los lenguajes HTML y JavaScript. JavaScript, con su naturaleza orientada a objetos, se ha consolidado como una piedra angular en la construcción de interactividad en sitios web. Por otro lado, HTML sirve como la columna vertebral en la creación de páginas, siendo el lenguaje de marcado preferido para definir la estructura y contenido visual. Cuando se combinan, estos dos lenguajes no solo complementan sus capacidades, sino que, juntos, crean una plataforma potente, permitiendo el desarrollo de aplicaciones web que destacan por su eficiencia, dinamismo y capacidad de respuesta ante las interacciones del usuario. Esta combinación es vital para ofrecer experiencias digitales enriquecedoras y modernas. La construcción de la interfaz de usuario se lleva a

cabo mediante una combinación sinérgica entre un backend robusto en JavaScript y un frontend estilizado en HTML. En el corazón de esta estructura, el backend actúa como el puente de comunicación, manejando con destreza los mensajes de solicitud y respuesta entre el servidor web Flask y el servicio de mapas OpenStreetMap (OSM). Por su parte, el frontend despliega estos datos con claridad y cohesión, creando una experiencia visual envolvente que facilita la comunicación e interacción con los usuarios.

Además de esta funcionalidad, se ha instaurado un sistema de acceso que permite a los usuarios externos integrarse con facilidad, ya sea a través de dispositivos móviles o computadoras con conexión a Internet. Como piedra angular de este sistema, y con el objetivo de resguardar la integridad y confidencialidad de la información, se ha implementado un protocolo de validación mediante contraseña. Este paso adicional garantiza que solo aquellos con las credenciales adecuadas puedan ingresar y utilizar la aplicación, proporcionando una capa adicional de seguridad y confianza a todo el ecosistema de la plataforma. En la figura 4 se observa el aplicativo web desarrollado que muestra las coordenadas.

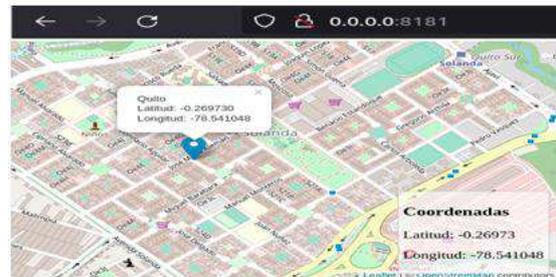
2.3. Representación Esquemática Integral del Sistema: El diseño gráfico integral del sistema ilustra meticulosamente cómo los datos se desplazan desde el microcontrolador embebido hasta el dispositivo móvil del usuario final. Esta travesía comienza con la transmisión de información de geolocalización por medio de la red GSM, que posteriormente se almacena en la nube. Luego, esta información es accesible y se recupera a través de una aplicación web diseñada específicamente para dispositivos móviles.

Este procedimiento minuciosamente elaborado brinda una perspectiva gradual sobre cómo llevar a cabo la implementación del sistema GPS con

eficacia y precisión.

Figura 4.

Aplicativo web desarrollado.



Nota. Los datos son tomados de Datos GPS. Actualización: 20h: 45m: 13s. Latitud: -0.2697771788. Longitud: -78.6410842896.

Desde las etapas iniciales de configuración hasta el proceso final en el que los usuarios interactúan y visualizan la información geográfica en un mapa detallado, cada fase ha sido planificada con el objetivo de asegurar una operatividad coherente, precisa y eficiente del sistema en su conjunto.

3. RESULTADOS

Se llevó a cabo un proceso exhaustivo de recolección de datos de geolocalización en 20 ubicaciones distintas. En primer lugar, se obtuvieron las coordenadas utilizando un módulo GPS. Posteriormente, se realizaron mediciones con un dispositivo móvil Sony Xperia AX1 y Google Maps. Para establecer un punto de referencia y determinar la precisión de las mediciones anteriores, se utilizó el apuntador rojo de Google Maps en el teléfono para marcar la posición real de las coordenadas; los datos se pueden apreciar en la Tabla 1.

Figura 5.
Esquema integral del sistema.

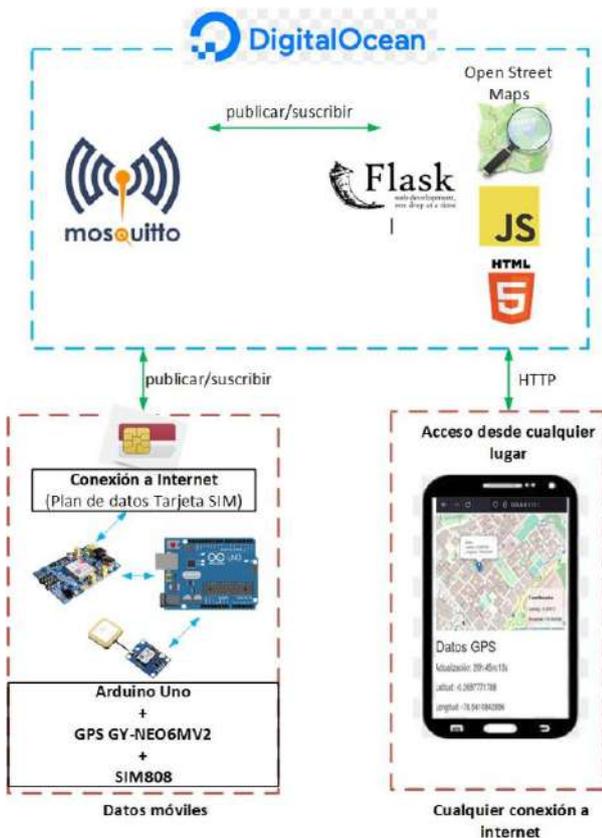


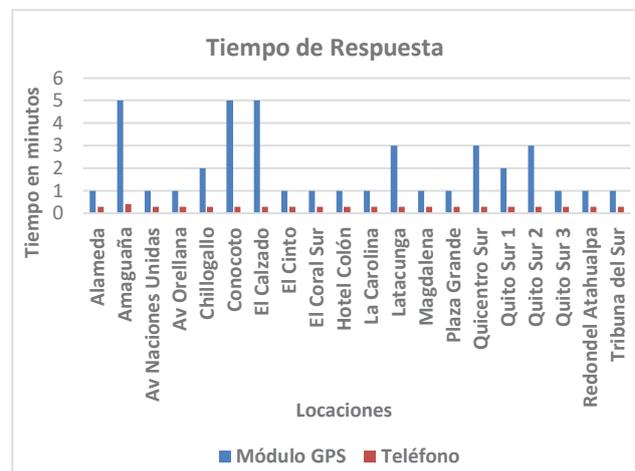
Tabla 1.
Medidas de Latitud y Longitud tomadas con el módulo GPS y el teléfono.

Locación	Valor Real		Valor medido módulo GPS		Valor medido teléfono	
	Lat (DD)	Long (DD)	Lat (DD)	Long (DD)	Lat (DD)	Long (DD)
Alameda	-0.216	-78.504	-0.216	-78.504	-0.220	-78.512
Amaguaña	-0.343	-78.497	-0.343	-78.497	-0.373	-78.497
Av Naciones Unidas	-0.176	-78.486	-0.176	-78.486	-0.200	-78.491
Av Orellana	-0.197	-78.490	-0.197	-78.490	-0.197	-78.490
Chillogallo	-0.279	-78.567	-0.279	-78.567	-0.279	-78.567
Conocoto	-0.308	-78.464	-0.308	-78.464	-0.308	-78.464
El Calzado	-0.255	-78.532	-0.255	-78.532	-0.255	-78.532
El Cinto	-0.248	-78.571	-0.248	-78.569	-0.248	-78.569
El Coral Sur	-0.237	-78.522	-0.237	-78.522	-0.237	-78.522
Hotel Colón	-0.207	-78.497	-0.207	-78.497	-0.207	-78.497
La Carolina	-0.187	-78.487	-0.186	-78.487	-0.187	-78.487
Latacunga	-0.926	-78.626	-0.926	-78.626	-0.925	-78.626
Magdalena	-0.242	-78.527	-0.242	-78.527	-0.242	-78.527
Plaza Grande	-0.220	-78.512	-0.221	-78.512	-0.220	-78.512
Quicentro Sur	-0.285	-78.544	-0.285	-78.544	-0.285	-78.544
Quito Sur 1	-0.261	-78.534	-0.261	-78.534	-0.261	-78.534

Quito Sur 2	-0.266	-78.544	-0.266	-78.544	-0.266	-78.544
Quito Sur 3	-0.261	-78.536	-0.261	-78.536	-0.261	-78.536
Redondel	-0.252	-78.531	-0.252	-78.531	-0.252	-78.531
Atahualpa	-0.252	-78.531	-0.252	-78.531	-0.252	-78.531
Tribuna del Sur	-0.247	-78.531	-0.247	-78.531	-0.247	-78.531

Además de las mediciones geográficas, también se registraron los tiempos de respuesta de cada ubicación utilizando tanto el dispositivo Sony Xperia AX1 como el módulo GPS. Estos tiempos pueden influir en la eficiencia y practicidad de cada herramienta en situaciones de tiempo real o aplicaciones que requieran respuestas rápidas, tal como se aprecia en la Figura 6.

Figura 6.
Tiempo de respuesta de los equipos.



Es importante mencionar que, durante la recopilación de datos, se optó por situarse lo más cerca posible de las esquinas o en el borde de las veredas. Esta estrategia fue adoptada con el objetivo de optimizar y mejorar la precisión de las mediciones.

Una vez recolectados los datos, se procedió al cálculo del error. Para ello, se utilizaron las siguientes fórmulas (1) y (2):

Error Absoluto (EA)

$$EA = |V_r - V_a| \quad (1)$$

Donde:

- Vr = es el valor real o verdadero.
- Va = es el valor aproximado.

Error Relativo porcentual (ER%)

$$ER\% = \frac{|V_r - V_a|}{|V_r|} \times 100\% \quad (2)$$

Donde:

- Vr = es el valor real o verdadero.
- Va = es el valor aproximado.

El Error Absoluto y el Error Relativo obtenidos reflejan la diferencia entre las mediciones del módulo GPS y el Sony Xperia AX1 con respecto al valor real proporcionado por Google Maps. Estos errores se presentan en la Tabla 2 bajo las columnas “EA (DD)” y “ER%”, respectivamente, donde “DD” se refiere a grados decimales.

Tabla 2

Error absoluto y relativo de Latitud y Longitud tomadas con el módulo GPS.

Locación	Lat módulo GPS		Long módulo GPS	
	EA (DD)	ER %	EA (DD)	ER %
Alameda	1.650E-04	7.635E-02	2.600E-05	3.312E-05
Amaguaña Av Naciones Unidas	5.000E-06	1.459E-03	4.300E-05	5.478E-05
Av Orellana	1.480E-04	8.396E-02	1.110E-04	1.414E-04
Chillogallo	9.400E-05	4.760E-02	9.000E-05	1.147E-04
Conocoto	1.100E-05	3.943E-03	7.000E-06	8.910E-06
El Calzado	1.900E-05	6.171E-03	3.000E-06	3.823E-06
El Calzado	4.500E-05	1.763E-02	1.400E-05	1.783E-05
El Cinto	1.000E-05	4.033E-03	2.164E-03	2.754E-03
El Coral Sur	8.000E-06	3.373E-03	6.200E-05	7.896E-05
Hotel Colón	3.600E-05	1.740E-02	1.900E-05	2.420E-05
La Carolina	5.500E-05	2.948E-02	2.800E-05	3.567E-05
Latacunga	2.300E-05	2.485E-03	4.300E-05	5.469E-05
Magdalena	4.700E-05	1.944E-02	9.400E-05	1.197E-04
Plaza Grande	4.900E-05	2.222E-02	1.110E-04	1.414E-04
Quicentro Sur	1.900E-05	6.674E-03	9.000E-05	1.146E-04

Quito Sur 1	9.100E-05	3.481E-02	3.000E-05	3.820E-05
Quito Sur 2	7.400E-05	2.777E-02	6.600E-05	8.403E-05
Quito Sur 3 Redondel	4.000E-05	1.531E-02	1.420E-04	1.808E-04
Atahualpa	5.100E-05	2.025E-02	5.200E-05	6.622E-05
Tribuna del Sur	1.000E-06	4.042E-04	7.000E-06	8.914E-06

Tabla 3.

Error absoluto y relativo de Latitud y Longitud tomados con el teléfono Sony Xperia XA1.

Locación	Lat teléfono		Long teléfono	
	EA (DD)	ER %	EA (DD)	ER %
Alameda	4.341E-03	2.009E+00	7.8E-03	9.9E-03
Amaguaña Av Naciones Unidas	3.017E-02	8.804E+00	2.0E-05	2.5E-05
Av Orellana	2.367E-02	1.343E+01	5.0E-03	6.3E-03
Chillogallo	8.700E-05	4.406E-02	1.0E-04	1.3E-04
Conocoto	5.500E-05	1.971E-02	2.1E-05	2.7E-05
El Calzado	2.400E-05	7.795E-03	1.3E-05	1.7E-05
El Calzado	3.100E-05	1.215E-02	2.6E-05	3.3E-05
El Cinto	5.000E-06	2.016E-03	2.2E-03	2.8E-03
El Coral Sur	2.700E-05	1.138E-02	3.8E-05	4.8E-05
Hotel Colón	9.400E-05	4.542E-02	1.1E-04	1.4E-04
La Carolina	1.400E-05	7.505E-03	4.0E-06	5.1E-06
Latacunga	8.200E-05	8.860E-03	1.0E-04	1.3E-04
Magdalena	1.200E-05	4.965E-03	8.9E-05	1.1E-04
Plaza Grande	2.500E-05	1.134E-02	1.7E-05	2.2E-05
Quicentro Sur	1.500E-05	5.269E-03	3.3E-05	4.2E-05
Quito Sur 1	4.700E-05	1.798E-02	4.2E-05	5.3E-05
Quito Sur 2	7.000E-05	2.627E-02	6.6E-05	8.4E-05
Quito Sur 3 Redondel	1.400E-05	5.359E-03	7.0E-06	8.9E-06
Atahualpa	2.000E-06	7.942E-04	1.5E-05	1.9E-05
Tribuna del Sur	3.000E-06	1.213E-03	2.5E-05	3.2E-05

4. DISCUSIÓN

4.1. Errores en Latitud

4.1.1. Módulo GPS: El error absoluto medio en las medidas de latitud es extremadamente bajo, aproximadamente 0.000050 grados. Esto es muy cercano a cero, lo que sugiere una alta precisión. Además, el error relativo medio es solo del 0.022%, lo que también indica una alta precisión.

4.1.2. GPS del Teléfono: En comparación, el error absoluto medio para el teléfono es 0.002940

grados en latitud, que es casi 59 veces mayor que el del módulo GPS. El error relativo medio es del 1.224%, que es aproximadamente 55 veces mayor que el del módulo.

4.2. Errores en Longitud

4.2.1. Módulo GPS: El error absoluto medio en las medidas de longitud es 0.000160 grados. El error relativo medio en longitud es extremadamente bajo, solo 0.0002%.

4.2.2. GPS del teléfono: El error absoluto medio en longitud para el teléfono es 0.000780 grados, que es aproximadamente 4.9 veces mayor que el del módulo. El error relativo medio es 0.001%, que es 5 veces mayor que el del módulo.

4.3. Tiempos de Respuesta del Módulo GPS: La media del tiempo de respuesta para el módulo GPS es de aproximadamente 2 minutos. Esto sugiere que, en promedio, el módulo toma este tiempo para ofrecer una medición precisa.

La desviación estándar es de 1.49 minutos, lo que indica que hay cierta variabilidad en los tiempos de respuesta, pero generalmente en un rango aceptable. Los tiempos de respuesta para el módulo GPS varían entre 1 y 5 minutos. Esto demuestra que, aunque el módulo puede ser rápido, también hay casos en los que puede tomar hasta 5 minutos ofrecer una medición.

El 25%-percentil y el 75%-percentil son 1 y 3 minutos, respectivamente. Esto sugiere que el 75% de los tiempos de respuesta se encuentran entre estos dos valores.

Tiempos de Respuesta del Teléfono: El tiempo de respuesta para el teléfono es de solo 0.3 minutos o 18 segundos. Esto es significativamente más rápido en comparación con el módulo GPS. Dado que el dispositivo móvil es capaz de ofrecer una medición en menos de un minuto, es claramente más eficiente en términos de tiempo. Este tiempo de

respuesta rápido hace que el teléfono sea ideal para aplicaciones que requieren mediciones en tiempo real.

CONCLUSIONES

Precisión de las Mediciones: El módulo GPS muestra una alta precisión en las mediciones de latitud y longitud, con errores absolutos y relativos extremadamente bajos en comparación con el dispositivo móvil Sony Xperia AX1. Esto sugiere que el módulo GPS puede proporcionar mediciones de ubicación más precisas que el teléfono.

Tiempo de respuesta: Aunque el módulo GPS es altamente preciso, su tiempo de respuesta es significativamente más largo que el del teléfono. En promedio, el módulo GPS tarda aproximadamente 2 minutos en proporcionar una medición precisa, mientras que el teléfono puede hacerlo en solo 18 segundos. Esto sugiere que, aunque el módulo GPS es más preciso, el teléfono es más eficiente en términos de tiempo.

Aplicaciones en tiempo real: Dado que el teléfono puede proporcionar mediciones en menos de un minuto, es ideal para aplicaciones que requieren mediciones en tiempo real. Aunque el módulo GPS es más preciso, su tiempo de respuesta más largo puede no ser adecuado para aplicaciones que requieren respuestas rápidas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- Arduino. (2023). *Language Reference*. Louisville, KY: Arduino. Recuperado el 2023, de <https://www.arduino.cc/reference/en/>
- Arduino. (2023). *Libraries*. Louisville, KY.: Arduino. Obtenido de <https://www.arduino.cc/reference/en/libraries/>
- Axelrad, P., & Comp, P. (2008). GPS Navigation Algorithms. En P. Misra, & P. Enge, *Global Positioning System: Signals, Measurements, and Performance* (Second ed., págs. 169-214). Ganga-Jamuna Press.
- Banzi, M., & Shiloh, M. (2015). *Make: Getting Started with Arduino* (Tercera edición ed.). (B. Jepson,

- Ed.) Gravenstein Highway North, Estados Unidos: Maker Media. Recuperado el 20 de 10 de 2023, de https://www.esc19.net/cms/lib011/TX01933775/Centricity/Domain/110/make_gettingstart_edwitharduino_3rdedition.pdf
- BBC. (16 de Nov de 2019). *Cómo el GPS se volvió invaluable en sólo 3 décadas (y por qué el riesgo de una falla es tan estremecedor)*. Obtenido de BBC News: <https://www.bbc.com/mundo/noticias-50398099>
- Bilich, A., Larson, K. M., & Axelrad, P. (2008). Modeling GPS phase multipath with SNR: Case study from the Salar de Uyuni, Bolivia. *Journal of Geophysical Research: Solid Earth*, 113(B4), 1-12. doi:<https://doi.org/10.1029/2007JB005194>
- Borgia, E. (Dec de 2014). The Internet of Things vision: Key features, applications and open issues. *Computer Communications*, 54, 1-31. doi:<https://doi.org/10.1016/j.comcom.2014.09.008>
- DigitalOcean. (2023). *A happy cloud for higher education*. New York; NY: DigitalOcean. Recuperado el 2023, de <https://www.digitalocean.com/landing/for-higher-education>
- Edwards, L. (2023). *What is stored on a SIM card?* New York, NY: Future US, Inc. Obtenido de <https://www.techradar.com/sim-only/what-is-stored-on-a-sim-card>
- Grinberger, A. Y., Minghini, M., Juhász, L., Yeboah, G., & Mooney, P. (2022). OSM Science—The Academic Study of the OpenStreetMap Project, Data, Contributors, Community, and Applications. *International Journal of Geo-Information*, 11(4), 230-234. Obtenido de <https://doi.org/10.3390/ijgi11040230>
- Hegarty, C., & Kaplan, E. (Edits.). (2005). *Understanding GPS Principles and Applications* (Second ed.). Norwood (MA): Artech. Obtenido de <http://ieeexplore.ieee.org/document/9106073>
- Laghari, A., Wu, K., Laghari, R., Ali, M., & Khan, A. (2022). RETRACTED ARTICLE: A Review and State of Art of Internet of Things (IoT). *Archives of Computational Methods in Engineering*, 29, :1395–1413. doi:10.1007/s11831-021-09622-6
- Margolis, M., Jepson, B., & Weldin, N. R. (2020). *Arduino Cookbook: Recipes to Begin, Expand, and Enhance Your Projects*. (D. Baker, Ed.) 1005 Gravenstein Highway North, Sebastopol, Estados Unidos: O'Reilly. Recuperado el 25 de 10 de 2023, de <https://dokumen.pub/arduino-cookbook-3rd-edition-9781491903520.html>
- Misra, P., & Enge, P. (2006). *Global Positioning System. Signals, Measurements, and Performance*. Lincoln, MA: Ganga-Jamuna.
- Mosquitto. (2023). *Eclipse Mosquitto™ An open source MQTT broker*. Ontario: Eclipse Foundation. Obtenido de <https://www.eclipse.org/legal/copyright.php>
- Pritpal, S., Tanjot, S., Bunil Kumar, B., & Bibhuti Bhushan, B. (2015). Advanced vehicle security system. *International Conference on Innovations in Information, Embedded and Communication Systems (ICIIECS)*, 1-6. doi:10.1109/ICIIECS.2015.7193276.
- Shilpa, V., Vidya, A., & Santosh, P. (2023). MQTT based Secure Transport Layer Communication for Mutual Authentication in IoT Network. *Global Transitions Proceedings*, 3(1), 60-66. doi:10.1016/j.gltp.2022.04.015
- ublox. (2011). *NEO-6 u-blox 6 GPS Modules*. Zürich, Switzerland: u-blox. Recuperado el Septiembre de 2023, de <https://www.waveshare.com/w/upload/2/2c/NEO-6-DataSheet.pdf>
- Ware, R. H., Fulker, D. W., Stein, S. A., Anderson, D. N., Avery, S. K., Clark, R. D., . . . Sorooshian, S. (2001). Real-time national GPS networks for atmospheric sensing. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 63(12), 1315-1330. doi:[https://doi.org/10.1016/S1364-6826\(00\)00250-9](https://doi.org/10.1016/S1364-6826(00)00250-9)
- Wong, K. (2021). *Buiding a Ha Mqtt Brokerage Solution using Mosquitto*. Kampar, Perak, Malaysia: Universiti Tunku Abdul Rahman. Recuperado el 2023, de http://eprints.utar.edu.my/4293/1/19ACB00582_FYP.pdf

Designing and manufacturing of a canine wheelchair for its rear extremities of up to 4 Kg through 3D printing.

Diseño y fabricación de una silla de ruedas para miembros posteriores de canes de raza pequeña hasta 4 Kg mediante impresión 3D.

Danitza Genoveva Paredes Baldeón¹

Diego Xavier Bustos Cervantes²

¹Danitza Paredes, Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: dparedesb@istct.edu.ec

²Diego Bustos, Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: dbustos@istct.edu.ec

RECIBIDO: 2024-05-24

ACEPTADO: 2024-06-18

APROBADO: 2024-06-19

RESUMEN

El presente proyecto consiste en la fabricación de una silla de ruedas para canes de raza pequeña con un peso de hasta 4 kilogramos que presentan dificultades para desplazarse debido a hernias discales, accidentes o problemas congénitos, mediante el diseño industrial, técnicas digitales y materiales disponibles en el país.

La metodología aplicada abarca el diseño asistido por computadora, el Análisis de tensión mediante el criterio de Von Mises y la impresión 3D con uso del Ácido Poliláctico como único material. Para obtener un producto funcional se realizó tres propuestas de diseño en las cuales se evaluó diversas características de impresión, lo que otorgó una apertura en la mejora de los procesos relacionados con la materialización de las piezas protéticas. Por lo tanto, se determinó que se cumple con los requerimientos de diseño que son ligereza, comodidad, seguridad y resistencia a la tracción, dando como resultado un producto apto para canes de raza pequeña. De tal manera que se conserva necesario trabajar en alternativas económicamente más viables, pues, se confirmó que los elementos protéticos ayudan a mejorar la autonomía y la calidad de vida de los canes que presentan problemas de movilidad.

Palabras clave: 3d, Canes, Impresión, Movilidad, Pequeña, Prótesis, Raza, Ruedas, Silla, Sustitutiva.

ABSTRACT

This current project consists of a wheelchair manufacture for small breed dogs weighing up to 4 kilograms that have difficulties in moving due to hernia discs, accidents, or inherited problems, by means of industrial design, digital techniques, and local resources available in the country.

The methodology applied includes computer-aided design, strain analysis using the Von Mises criterion and 3D printing with the Polylactic Acid use as the only material. To obtain a functional product, three design proposals were made in which different printing characteristics were tested, which provided an opening in the process's improvement related to the prosthetic pieces manufacture. Therefore, it was determined the design requirements of lightness, comfort, safety, and resistance to traction were fulfilled, resulting in a suitable product for small breed dogs. Consequently, it is necessary to improve economically viable alternatives, since it was confirmed a prosthetic element helps to improve the autonomy and quality of life of dogs with mobility problems.

Key Words: 3d Breed, Canines, Mobility, Printing, Prosthesis, Small, Surrogate, Wheelchair.

1. INTRODUCCIÓN

La fabricación de piezas de movilidad sustitutiva para todo tipo de animales, (en especial los de compañía), es un campo en desarrollo que parece ganar cada vez más adeptos. Un reportaje del Diario La Hora, asegura que en el Distrito Metropolitano de Quito, hasta agosto de 2022 existía un promedio de 183 canes “vagabundos” por kilómetro cuadrado, es decir 770.000 aprox, una cifra que con seguridad ha aumentado pues en un estudio de la Universidad San Francisco de Quito (2018), estima que hay de uno a diez abandonos al día, información que es importante de tener en cuenta, pues los animales especialmente en situación de calle son propensos a sufrir diferentes tipos de accidentes que provocan mutilaciones y amputaciones a sus miembros posteriores e inferiores; otros también se ven afectados por condiciones congénitas y enfermedades que perjudican su salud y merman su movilidad.

Las prótesis suelen ser usadas para suplir esta carencia, enfocándose principalmente hacia el área ortopédica y de rehabilitación de los animales, pues éstas le otorgan al paciente la posibilidad de vivir una vida cotidiana digna, dónde estas piezas ayudan al movimiento autónomo del mismo (Cubillo, 2016).

A nivel local, algunas investigaciones han evidenciado que este es un campo incipiente con escaso desarrollo, debido a que la información teórica que se encuentra disponible acerca del mismo es insuficiente, factor que sumado a la carencia de datos acerca de su costo y adquisición, imposibilitan el aprovisionamiento de las mismas en el mercado general. Sin embargo, la mejora creciente de la consciencia colectiva acerca del bienestar animal, ha traído consigo un interés por la búsqueda que alternativas que permitan la producción de artefactos de movilidad sustitutiva, que les den una segunda oportunidad.

Según el blog de NFNatcane (2019) los canes que hacen uso de prótesis, recuperan autonomía,

mejoran su estado emocional, aumentan su apetito, reducen problemas de estreñimiento y mejoran su digestión, facilitando su cuidado y protección a largo plazo; el estudio demuestra que con su uso los animales en situación de vulnerabilidad por problemas de movilidad, mejoran su calidad de vida.

Generalmente es complicado acceder a este tipo de partes sustitutivas, en buena medida porque localmente, al ser un terreno de poco desarrollo, con una búsqueda de compra a través de internet, se observa su costo suele ser elevado oscilando entre \$80 a \$200, imposibilitando su adquisición a todos los responsables de los canes que las necesiten. Planteando así, la necesidad de incursionar en nuevas formas de producir dichas piezas prostéticas, para que sean asequibles a los animales con problemas de movilidad.

En este caso, la tecnología de impresión y escaneo 3D se presenta como una alternativa (adecuada para cumplir con este cometido), considerando que este es un proceso de creación de objetos tridimensionales usando datos de un modelo digital. (Ludor Engineering, 2018) Muestra características favorables respecto a los beneficios costo – elaboración, diseño, ensamblaje y personalización.

En particular, el objetivo principal de esta investigación se centra en la construcción de una silla de ruedas para canes de raza pequeña con un peso de hasta 4 kg que presenten problemas de movilidad en sus miembros posteriores, mediante la implementación de métodos de diseño industrial, y técnicas digitales a fin de mejorar la calidad de vida del animal.

1.1. Impresión 3D

Las impresoras 3D datan desde los años 80's, la empresa 3D-System ideó una técnica sustentada en el uso de resinas líquidas ftopoliméricas, construyendo capa por capa un objeto cuando el aditivo está expuesto a una luz ultravioleta emitida por un láser. Estas han ido evolucionando hasta

llegar a las técnicas que se conocen y comúnmente se usan en la actualidad (Gile, 2015).

1.2. Utilidad

Las impresoras 3D hacen posible la creación de objetos caseros, material e instrumental médico, implantes, entre otros artículos de utilidad. (Bustamante, 2015) Dado que estas impresoras son instrumentos que permiten obtener diferentes objetos a menudo con un proceso simple de montaje, en este caso son útiles para elaborar sillas de ruedas caninas, pues se obtienen piezas como los soportes laterales, traseros, y de altura que permiten ensamblar el aparato de movimiento auxiliar.

1.3. Diseño asistido por computador (CAD)

El diseño de la pieza que ha de ser materializada a través de la impresión 3D es usualmente creada por un CAD - Diseño Asistido por Computadora, entre estos existen varios programas con nombres y características propias como, por ejemplo: Blender, SketchUp, AutoCAD, SolidWorks, Maya, Photoshop, ThinkerCad. (Barra, 2019)

1.4. Manufactura asistida por computador (CAM)

Luego de tener los archivos en CAD, con las especificaciones determinadas, se procede con la impresión a través de la Manufactura Asistida por Computadora (CAM), ambos establecen una relación complementaria en donde uno el CAD traza y el CAM materializa. (Suárez, Suárez, & Calderón, 2015)

sustitutiva, más específicamente sillas de ruedas.

Por otra parte, se lleva a cabo la praxis de la investigación documental con la parte experimental de la misma, materializando el diseño realizado de la silla de ruedas a través del uso de materiales como el filamento PLA y la impresora 3D, convirtiendo a la pieza de movilidad sustitutiva en una realidad palpable, dicha información se muestra esquematizada en el diseño del método de la investigación de la figura 1.

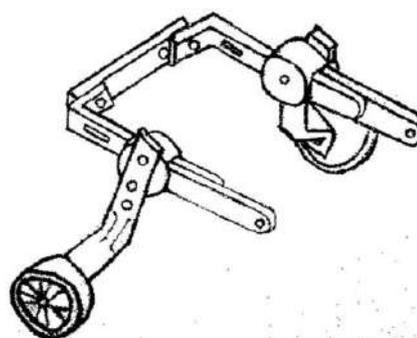
Figura 1: Esquema método de investigación



2.1. Proceso de impresión 3D

- **Boceto:** Plasmar la idea para posteriormente diseñarla.

Figura 2: Boceto



2. MÉTODOS

La investigación aplica un método de cualitativo mixto, en donde se abordan procedimientos de recolección de información.

Al ser un tema de interés focalizado, se entrevistaron a profesionales de la salud veterinaria y médicos zootecnistas, quienes aportaron datos relevantes desde su experiencia, respecto a la utilización de piezas de movilidad

- **Diseño CAD:** Crear el diseño mediante el apoyo de un programa CAD (Inventor).
- **Slicer 3D:** Abrir el archivo en un slicer como Ultimaker Cura.

Figura 3: Diseño CAD

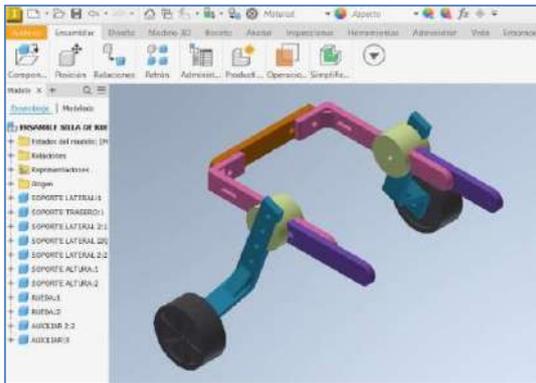
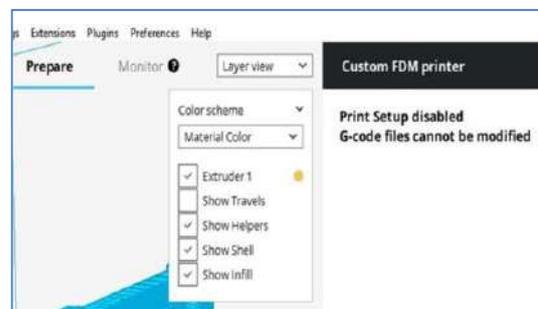
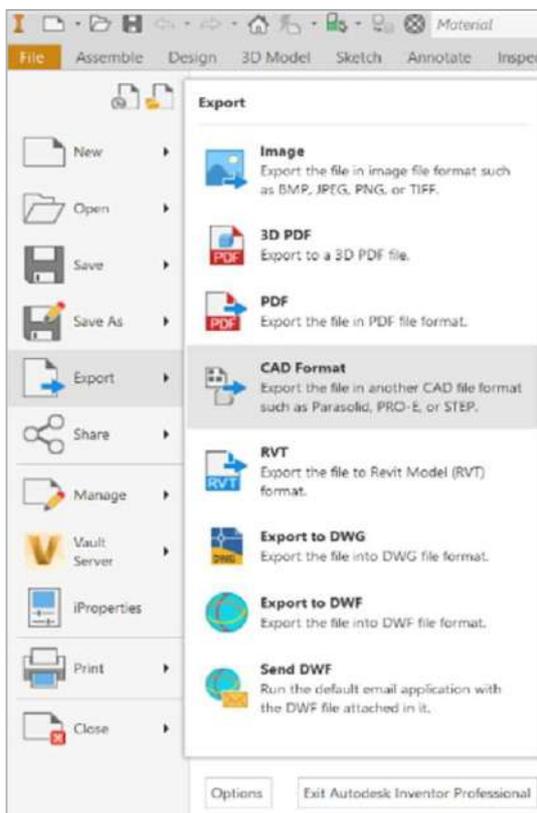


Figura 5: Ultimaker Cura



- **Formato .STL:** Descargar el archivo en el formato .stl ya que es el formato estándar para la creación rápida de prototipos.
- **G-code:** Exportar el archivo con la extensión G-code.

Figura 4: Formato .stl



- **Impresión 3D:** Cargar el G-code en la impresora mediante una tarjeta SD.

Figura 7: Impresión 3d



2.2. Prototipos

Aunque que en la ciudad de Quito la incursión en impresión 3D de carros ortopédicos o prótesis de movilidad sustitutiva para canes es incipiente, a nivel global ya existen varios desarrolladores que ya han mostrado interés en la puesta en práctica de proyectos de esta índole como los que se muestran en la tabla 1.

Tabla 1

Desarrolladores de sillas y prótesis 3D.

PROYECTOS PREVIOS			
Empresa	País	Diseño	Material
Hurakan Tecnocenter ¹	México		Fibra de carbono
Propaw Lab ²	Argentina		PET
CULTS 3D ³	EEUU		PLA
Magia 3D ⁴	España		PLA

Fuente: Elaboración propia con información tomada de ¹Rojas (2022), ²Quintela (2019), ³UNILA (2020), ⁴Anradéz (2019)

2.3. Prótesis de movilidad sustitutiva

Existen prótesis de movilidad sustitutiva y otras con características móvil y fija.

A breves, rasgos una prótesis es una extensión artificial que reemplaza o provee una parte del cuerpo que falta por diversas razones, entre ellas

por amputación. (Galli & Pelozo, 2017)

Se muestra a continuación un esquema con sus variaciones.

Figura 8: Prótesis móviles y fijas



Fuente: P&O LATAM. (2017).

En este caso puntual, se desarrolla una prótesis móvil, pues las sillas de ruedas se colocan y retiran a conveniencia.

La silla de ruedas para perros es un aparato que permite que los animales con movilidad limitada, se sobrepongan al dolor y los impedimentos físicos y vivan una vida lo más plena y feliz posible. (OrtoCanis, 2020)

2.4. Canes de raza pequeña

Las razas de perro de tamaño pequeño son aquellas que pesan menos de 10 kg, suelen ser las que se observan más frecuentemente en los hogares y además se considera que tienen una esperanza de vida más larga. (Malacara, 2011)

A continuación, se detallan las razas más comunes de perros pequeños y sus características morfológicas de acuerdo a su medición, recolectadas de un estudio realizado por la Federación de Cinología Internacional (2021), expuestas en la tabla número 2.

CARACTERÍSTICAS

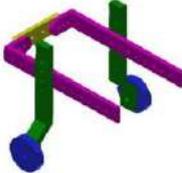
Razas	(A) Altura (cm)	(P) Peso Kg)	Esperanza de vida (años)
Chihuahua	15-20	1-3	14-18
Pomerania	15	1-3	12-16
Yorkshire terrier	13-15	2-3	12-16
Maltés	12-16	3-4	15-18
Spaniel japonés	13-15	2-7	10-12
Papillón	12-15.6	3-5	13-16
Caniche toy	15.7	3-4	10-18
Fox terrier toy	15	1.5-3	13-15
Miniatura ruso	12-15	1.3-2.7	11-13
Salchicha	13-15.5	3.5-15	12-15
Shih tzu	15-28	4-7	10-16
Pekínés	14-16	3.6-4.5	13-15

Fuente: Elaborado propia a partir de información de la Federación de Cinología Internacional (2021)

Lo que sigue es un proceso detallado de diseño y desarrollo, que revela los procesos evolutivos y pruebas que influyeron en el diseño final.

Tabla 3

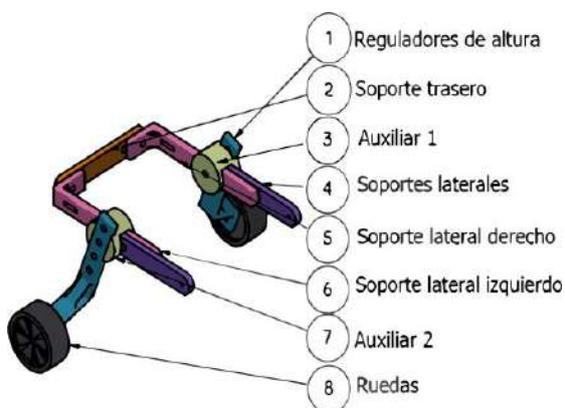
Propuestas de diseño

PROPUESTA 1	VENTAJAS	DESVENTAJAS
	Amplio alcance de regulación (altura y largo).	Ajuste limitado por orificios prediseñados.
	Diseño liviano, fácil de mover por el can.	No tomar en cuenta la postura del can (muy rígido).
	Ensamblaje sencillo.	Posible rotura del material al regular la altura.
	PROPUESTA 2	VENTAJAS
	Diseño más estable y seguro.	Limita las posturas.
	Facilidad de impresión debido al modelo desmontable.	Complejidad media en el ensamblaje.
Múltiples ajustes permiten que sea adaptable.	No apto para terrenos irregulares.	

Tras analizar las necesidades de los canes se buscó la manera de solucionar estos problemas y se elaboró una silla de ruedas con las siguientes características:

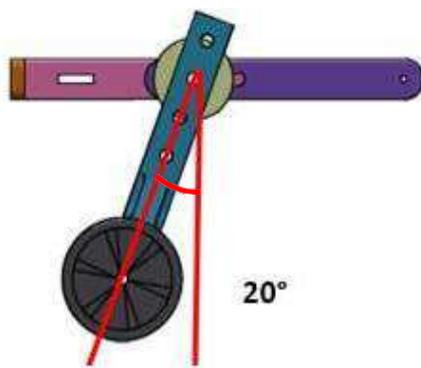
- El ajuste versátil le permite regular la altura, el ancho y la longitud para canes de raza pequeña con un peso menor a 4 Kg.
- Nervaduras en los soportes y los reguladores de altura para reforzar su estructura.
- Utilización de filamento PLA ya que es un material ligero, resistente y biodegradable.

Figura 9: Propuesta de diseño final



- Se implementó un ángulo de 20° en los reguladores de altura y los auxiliares como se muestra en la figura 11 con la finalidad de mejorar la postura y movilidad del can.

Figura 10: Inclinación de los reguladores de altura



REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO

2.5. Requerimientos del material:

- Inocuo
- Económico
- Ligero
- Resistencia a la tracción

2.6. Requerimientos funcionales:

- Adaptable a las diferentes razas y los distintos tamaños (< 4 Kg).
- Brindar comodidad y seguridad a través de un diseño ergonómico.

3. MATERIALES

3.1. Impresora 3D

La impresora Creality Ender 3V2 que se muestra en la figura 11, tiene un sistema de extrusión Bowden, idóneo para imprimir filamentos rígidos tiene un volumen de construcción de 220 x 220 x 225 mm.

Figura 11: Impresora Creality Ender 3v2



3.2. Materiales de impresión

Para una correcta selección del material se analiza las propiedades físicas y mecánicas de tres filamentos diferentes como se muestra en la tabla 4, con la finalidad de conocer cuál es la mejor opción para este proyecto.

Tabla 4
Características de los filamentos.

PROPIEDADES	PLA	ABS	HIPS
Densidad [g/cm ³]	1.25	1.05	1.04
Temperatura de fusión [°C]	205	220	230
Resistencia a tracción [MPa]	48	45	24
Módulo de elasticidad [GPa]	3.37	2.3	1.65
Resistencia al impacto [kJ/m ²]	5	14	5.13
Alargamiento en la rotura [%]	35	45	52
Coefficiente de Poisson	0.3	0.33	0.39

Fuente: (Benítez, 2015)

Después de analizar las propiedades de los polímeros se determina que el material óptimo para este proyecto tomando en cuenta que la impresora consta con un sistema Bowden, es el Ácido Poliláctico (PLA) debido a las siguientes características:

- Resistencia a la humedad y a la grasa
- Baja inflamabilidad
- Alta rigidez
- Fácil adquisición en el país
- Biodegradable
- Resistencia a los rayos ultra violeta

4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL

La silla de ruedas está diseñada con el propósito de soportar el peso del can, por lo cual se realiza un análisis de tensión para mostrar los efectos de cargas de movimiento, deformaciones y tensiones para uno o varios componentes.

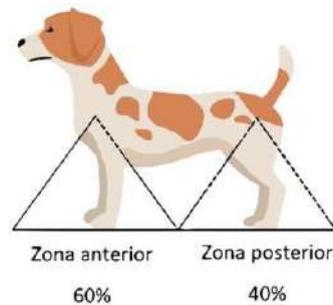
Para la ejecución de este análisis es mediante el módulo de simulación de inventor profesional.

4.1. Fuerza

La fuerza aplicada es el peso del perro dividida para sus miembros traseros, en la biomecánica canina el

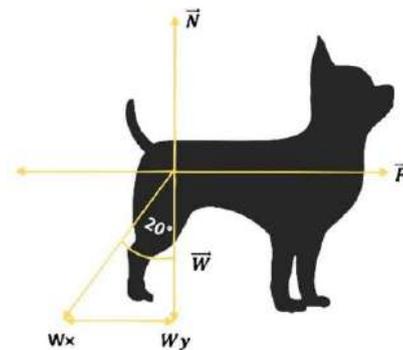
peso está distribuido de la siguiente manera: en la zona delantera se encuentra un 60% de los esfuerzos durante el movimiento (debido al peso de la cabeza) y en la zona trasera un 40% sobrante como se muestra en la figura 12. Esto quiere decir que, en caso de una carencia de las extremidades posteriores el can cargara con todo su peso en sus patas delanteras generando así un sobreesfuerzo que puede llegar a producirle un traumatismo. (Jimenez, 2017).

Figura 12: Biomecánica canina (peso)



Para conocer la fuerza que se presenta en cada una de las extremidades del can, se parte de un análisis de la biomecánica del peso, por lo tanto, los 4 kg del can se dividen de la siguiente forma, 2.4 kg corresponde a la parte delantera y 1.6 kg a la parte posterior por lo tanto cada miembro delantero pesa 1.2 kg y cada miembro posterior 0.8 kg entonces se realiza el diagrama de cuerpo libre para determinar las fuerzas que actúan en la silla de ruedas.

Figura 13: Diagrama de cuerpo libre



Debido a la falta de ejercicio hay la posibilidad de un aumento de peso en el usuario por lo que se ha impuesto un factor de seguridad de 1.5 por si se genera cualquier alteracion en las fuerzas ejercidas por el can, como, por ejemplo el descenso de una irregularidad del suelo. (Tovar, 2020)

$$\vec{W} = m \times F_s \times g \quad (1)$$

$$\vec{W} = 1.6 \text{ kg} (1.5) 9.8 \text{ m} / \text{s}^2$$

$$\vec{W} = 23.52 \text{ N}$$

Donde:

\vec{W} = Peso de la zona posterior del can. [N]
 m = Masa del cuerpo. [kg]
 F_s = Factor de seguridad
 g = Aceleración de la gravedad. [m / s²]

$$\sum F_x = 0 \quad (2)$$

$$-W_x(\text{Sen}(20^\circ)) + \vec{F} = 0$$

$$-23.52 \text{ N}(\text{Sen}(20^\circ)) + \vec{F} = 0$$

$$\vec{F} = 8.04 \text{ N}$$

Donde:

$\sum F_x$ = Sumatoria de fuerzas en x.
 W_x = Peso del can [N]
 \vec{F} = Fuerza aplicada. [N]

$$\sum F_y = 0 \quad (3)$$

$$-W_y (\text{Cos}(20^\circ)) + \vec{N} = 0$$

$$-23.52 \text{ N}(\text{Cos}(20^\circ)) + \vec{N} = 0$$

$$\vec{N} = 22.10 \text{ N}$$

Donde:

$\sum F_y$ = Sumatoria de fuerzas en y.
 W_y = Peso del can [N]
 \vec{N} = La normal. [N]

Para realizar el respectivo análisis de la silla de ruedas se aplican las siguientes fuerzas:

- Una fuerza de 23.52 N correspondiente al peso del can.
- Una fuerza de 22.10 N equivalente a la fuerza normal.
- Una fuerza de 8.04 N correspondiente a la fuerza aplicada.

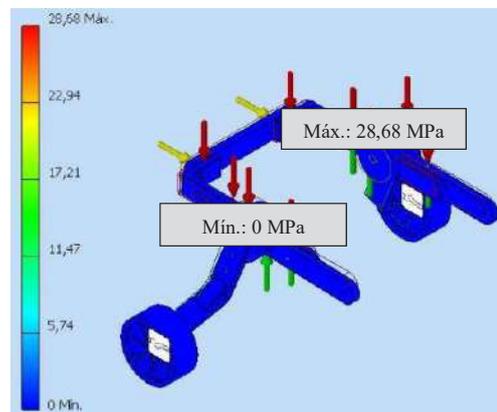
Figura 14: Cargas aplicadas en el carro ortopédico



4.2. Tensión de von Mises

El análisis de tensión realizado es bajo el criterio de von Mises una de las teorías de fallo es un criterio de resistencia estática, aplicado a materiales dúctiles, según el cual, el material no fluirá en el punto analizados siempre que la energía de distorsión por unidad de volumen en el punto no supere la energía de distorsión por unidad de volumen que se da en el momento de la fluencia en el ensayo de tracción. (Marta C. Mora, 2022).

Figura 15: Tensión principal



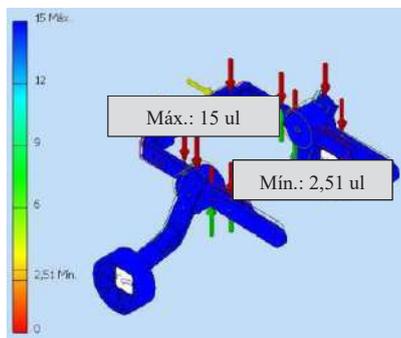
Fuente: Propia

4.3. Factor de seguridad

El Factor de Seguridad o FOS (Factor of Safety) en diseño mecánico se refiere a la relación entre la carga que puede soportar el equipo y el peso máximo que realmente soporta. Esto es importante porque previene problemas como roturas o daños en piezas y estructuras. Cuanto más preciso sea el número de factor de seguridad en el proyecto menor será la probabilidad de que falle. (SEAS, 2023)

Los resultados permiten verificar que el factor de seguridad según la figura 16, es mayor a la unidad ya que el factor de seguridad de 15. Este resultado asegura que no hay deformación de la silla de ruedas ni daño al material.

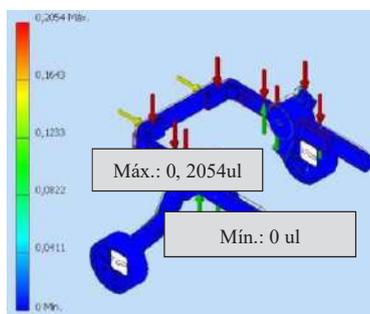
Figura 16: Factor de seguridad



4.4. Deformación

La deformación es el cambio en la forma de un objeto debido a la aplicación de una fuerza, que se mide por el cambio en su longitud. La figura 17 muestra la deformación estructural donde podemos observar que la deformación es de 0.2054 por lo tanto es casi nula.

Figura 17: Deformación principal

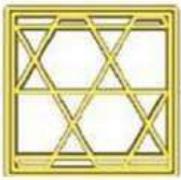


PROCESO DE FABRICACIÓN

Una vez realizados los análisis pertinentes, se procede a la fabricación de la silla de ruedas mediante una impresora Creality Ender 3v2.

4.5. Tipos de relleno

Tabla 5
Patrones geométricos

PATRÓN	DEFINICIÓN
 <p>Trihexagonal</p>	<p>Se genera mediante hexágonos con triángulos intercalados, lo que brinda una resistencia innumerable, ya que la densidad de la capa es muy alta.</p>
 <p>Subdivisión Cúbica</p>	<p>Este patrón 3D presenta una variación cúbica apilados e inclinados y ofrece menos utilización de material.</p>
 <p>Gyroid</p>	<p>Es una serie de patrones de relleno cruzados, proporciona estabilidad junto con flexibilidad y ofrece resistencia al corte.</p>

Fuente: Elaboración propia con información tomada de Cinchilla, Góez, & Ossa, (2022) . Krear 3D (2021)

4.6. Parámetros de impresión

En este proceso se evalúan diferentes parámetros de impresión en los prototipos diseñados con la finalidad de conocer cuáles son los parámetros ideales para la fabricación de la silla de ruedas.

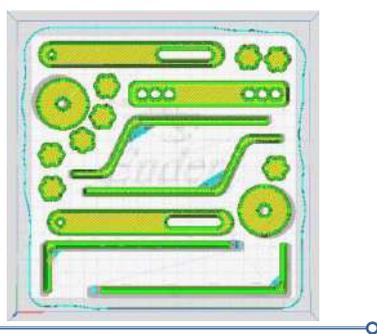
Tabla 6
Parámetros de impresión

PARÁMETROS	A	B	C
Patrón de relleno:	Subdivisión Cúbica	Trihexagonal	Gyroid
Grosor de la pared:	2 mm	2mm	3 mm
Porcentaje de relleno:	40%	40%	50%
Velocidad:	60 mm/s	50 mm/s	40 mm/s
Tiempo de impresión:	18 horas	24 horas	34 horas

Fuente: Propia

La orientación de las piezas desempeña un papel fundamental en varios aspectos clave, como la calidad del acabado superficial, la resolución del elemento y su resistencia. Por lo tanto, resulta crucial siempre tener en consideración la geometría con la que se está trabajando. Es importante tener en cuenta que las piezas impresas tienden a ser más frágiles en el eje z en comparación con el eje x.

Figura 18: Posición de las piezas



5. RESULTADOS

- Se elaboró una silla de ruedas y se comprobó su resistencia mediante un análisis de tensión utilizando el software Inventor Professional.

Los resultados mostraron una tensión máxima en la silla de 28,68 MPa, en comparación con la resistencia a la tracción del PLA, que es de 48 MPa. Esto indica que la silla de ruedas presenta una resistencia considerablemente inferior a la del material PLA, lo que sugiere que está a una distancia considerable de experimentar un fallo estructural.

- Se consultó con profesionales de la salud veterinaria acerca de la seguridad que brinda la

silla de ruedas, y se aseguró que el material utilizado no presenta ningún riesgo para el

paciente.

- La fabricación artesanal de sillas de ruedas utilizando materiales como el tubo de PVC es una práctica existente; sin embargo, resultan

inadecuadas para canes de razas pequeñas debido al exceso de peso que ejercen sobre sus extremidades posteriores. Por lo tanto, este proyecto ha priorizado el diseño de una silla de ruedas que sea ligera y que permita una fácil movilidad para el can.

- Se ha determinado que las dimensiones adecuadas de la silla de ruedas diseñada para canes de razas pequeñas de hasta 4 kg de peso son 210 x 300 x 180 mm. Esta selección de dimensiones tiene por objeto garantizar un producto óptimo y aumentar la seguridad del usuario, con referencia a los datos facilitados en la tabla 2.

6. CONCLUSIONES

Se cumplió con los objetivos planteados al inicio de la investigación y con el desarrollo de los mismos se obtuvo las siguientes conclusiones:

- El uso de piezas protéticas fijas o móviles contribuyen a mejorar la calidad de vida de un animal que ha sufrido amputaciones y tiene problemas para desplazarse por sí mismo, pues estas le devuelven su autonomía, alargan su esperanza de vida y mejoran su estado de ánimo y salud.
- El escaso desarrollo de prótesis caninas en la ciudad de Quito tiene grandes consecuencias,

entre las principales se encuentran el abandono animal, los accidentes de tránsito y la muerte, por lo que se trabajó junto a expertos en otros campos como la medicina veterinaria para la fabricación de la silla de ruedas con el propósito de ayudar a canes con limitaciones físicas y así reducir la tasa de mortalidad junto con el índice de abandono.

- El uso de PLA como material de impresión muestra resultados satisfactorios ya que al analizar las propiedades en la tabla 4 se observa que el ácido poliláctico presenta alta resistencia a la tracción y alta rigidez. También se toma en cuenta su fácil procesamiento y biodegradabilidad.
- Desarrollar este tipo de proyectos puede considerarse base o cimiento teórico para que a futuro puedan darse estudios más exhaustivos en dónde la tecnología de impresión en tres dimensiones contribuya al desarrollo de más alternativas en pro del bienestar animal.

7. RECOMENDACIONES

- Promover el uso de las sillas de ruedas para canes que requieren rehabilitación con el objetivo de reducir complicaciones a futuro y recordar que la adaptación del can a la silla de ruedas puede ir de 2 semanas en adelante dependiendo del tiempo de discapacidad.
- Imprimir las piezas de manera horizontal, ya que en posición vertical el extrusor de la máquina produce un esfuerzo axial que el elemento no soporta produciendo así deformaciones y/o roturas.
- Utilizar productos adhesivos en la cama de impresión como el pegamento en barra o fijador para evitar que las esquinas de los elementos se levanten.
- Realizar un proyecto enfocado en canes con un peso superior a los 4 Kg con la finalidad de brindar una segunda oportunidad a canes de razas.

8. REFERENCIAS

- Anradéz, J. (2019). *MAGIA 3D*. Obtenido de <https://www.magia3d.es/>
- Barra, A. (2019). *CAD - CAM Impresión 3D*. Universidad de San Sebastián. Obtenido de <https://acortar.link/6desDb>
- Benítez, F. M. (02 de julio de 2015). *Impresoras 3D*. Obtenido de Ingeniería y otras frikadas: <https://goo.su/NHXhzH>
- Bordignon, F., Iglesias, A., & Hahn, Á. (2018). *Diseño e impresión de objetos 3D*. Buenos Aires: Universidad Pedagógica Nacional. Obtenido de <https://goo.su/tZ4E>
- Bustamante, R. (2015). *Impresoras 3D y para que sirven*. Mastoner. Obtenido de <https://goo.su/l1ao3Rz>
- Cinchilla, L. S., Góez, L. B., & Ossa, J. V. (2022). Influencia de la densidad y de los parámetros de relleno en las propiedades mecánicas compresivas de probetas fabricadas en manufactura aditiva de PLA. *UIS Ingenierías*.
- Consejería de Educación del Gobierno de Canarias. (2013). *Orientaciones sobre el uso de la impresora 3D en el aula*. Canarias: Red de CEP's. Obtenido de <https://goo.su/pzQHHy>
- Cubillo, Y. Á. (2016). *Silla de ruedas para perros con elementos de impresión 3D*. Tenerife, España: Universidad de La Laguna .
- Diario La Hora. (4 de Agosto de 2022). Quito tiene 770.000 perros vagabundos. *La Hora*.
- Federación de Cinología Internacional. (2021). *Razas de perros pequeños*. Ciudad de México: Animal Fiel. Obtenido de <https://goo.su/hyVv>
- Galli, K., & Pelozo, S. (2017). *Órtesis y prótesis*. Auditoria médica. Obtenido de <https://goo.su/EeF9>
- Gile, I. (2015). *La impresión 3D y su alcance en la arquitectura*. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid. Obtenido de <https://goo.su/9sidV>
- Jimenez, A. (23 de Mayo de 2017). *Biiomecanica*

- Canina*. Obtenido de <https://goo.su/D7zXOe>
- Krear 3D. (07 de abril de 2021). *El mejor patrón de relleno*. Obtenido de <https://acortar.link/PF2zf3>
- Llamas, L. (2020). *Ingeniería, informática y diseño*. Obtenido de Partes de una impresora 3D: <https://n9.cl/bqvmd>
- Ludor Engineering. (2018). *Introducción a la impresión 3D*. Programa Erasmus - Comisión Europea. Obtenido de <https://goo.su/lrLpz>
- Malacara, G. G. (2011). *Enciclopedia Canina*. Asociación Mexicana de Médicos Veterinarios. Obtenido de <https://goo.su/XNKLiO2>
- Marta C. Mora. (29 de Julio de 2022). *Criterio de von Mises*. Obtenido de <https://goo.su/2fEFma>
- NFNatcane. (2019). *Sillas de ruedas para perros ¿Cuándo son necesarias?* Obtenido de <https://acortartu.link/2se43>
- OrtoCanis. (2020). *OrtoCanis*. Obtenido de Silla de ruedas para perros: <https://acortar.link/ddxAQO>
- P&O LATAM. (2017). *Protesis y ortesis*. Obtenido de <https://acortar.link/NUV0at>
- Quintela, J. (2019). *La solidaridad no está en crisis: fabrica sillas de ruedas para perros con impresión 3D*. Argentina: Revista El Clarín. Obtenido de <https://n9.cl/4w25j>
- Rojas, M. J. (2022). *Prótesis impresas en 3D para perros*. México: Nativos 3D. Obtenido de <https://n9.cl/e7ded>
- SEAS. (1 de Marzo de 2023). *Blog diseno_mecanico*. Obtenido de <https://acortar.link/xurKTW>
- Suárez, A., Suárez, A., & Calderón, P. (2015). *Aplicación de herramientas CAD/CAM para el diseño y fabricación de prototipos de moldes de inyección de plásticos*. Obtenido de <https://goo.su/KNnENMb>
- Tovar, A. E. (2020). *Análisis y diseño de una ortesis para animales. Silla de ruedas canina*. Universidad Alfonso X El Sabio, Madrid.
- UNILA. (2020). *Universidade Federal da Integração Latino-Americana*. Obtenido de Cults 3D: <https://acortar.link/waORg6>
- Universidad de Córdoba. (2017). *Estudio regional comparativo de proporciones corporales en animales*. Buenos Aires: UCO. Obtenido de <https://goo.su/qpRcnz6>
- Universidad San Francisco de Quito. (4 de Octubre de 2018). En Quito hay un perro abandonado por cada 22 personas. *El Comercio*.

Design and fabrication of a semi-flexible front prosthesis for dogs up to 15 kilograms through 3D printing

Diseño y fabricación de una prótesis delantera semiflexible para canes de hasta 15 kilogramos mediante impresión 3D

Sandy Valeria Maliza Laguna¹ Diego Xavier Bustos Cervantes²

¹Investigador Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: smalizal@istct.edu.ec

²Investigador Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: dbustos@istct.edu.ec

Recibido: 31/05/24

Aceptado: 11/06/24

Publicado: 30/06/24

RESUMEN

La presente investigación, consiste en la elaboración de una prótesis delantera para canes de hasta 15 kilogramos, mediante diseño CAD (diseño asistido por computadora) e impresión 3D y la implementación del diseño generativo con el uso de material disponible en el país y de bajo costo con el objetivo de mejorar el bienestar de los canes que se encuentran en condiciones de discapacidad física. La metodología de fabricación empleada hace referencia al diseño CAD en los softwares Inventor Professional y Fusion 360; y la fabricación en impresión 3D con 2 materiales distintos: PETG y TPU, los cuales hacen que la prótesis sea funcional y segura para el can. Para la presentación final, se ha de probar su efectividad, comparando diversas propuestas de diseño y características de impresión, mejorando así los procesos relacionados a esta prótesis. Para esto, se propone un proceso de diseño que combina con tecnologías computacionales donde se presentan alternativas de mecanismos y formas mediante el diseño generativo para luego seleccionar jerárquicamente las más adecuadas según los requerimientos planteados.

Palabras clave: Canes; Impresión 3D; Prótesis TPU; PETG; Software.

ABSTRACT:

The present research consists of the development of a front prosthesis for dogs of up to 15 kilograms, through CAD design (computer-aided design) and 3D printing and the implementation of the generative design with the use of material available in the country and at low cost. . with the aim of improving the well-being of dogs that are physically disabled. The manufacturing methodology used refers to CAD design in the Inventor Professional and Fusion 360 software; and 3D printing manufacturing with 2 different materials: PETG and TPU, which make the prosthesis functional and safe for the dog. For the final presentation, its effectiveness must be tested, comparing various design proposals and printing characteristics, thus improving the processes related to this prosthesis. For this, a design process is proposed that combines computational technologies where alternative mechanisms and forms are presented through generative design and then hierarchically select the most appropriate ones according to the

requirements set.

Index terms: Keywords: Dogs; 3d Print; TPU Prosthesis; PETG; Software.

1. INTRODUCCIÓN

En Ecuador, sobre todo en la ciudad de Quito, EMASEO, a través de su programa Animales al cielo, retira a diario 20 cuerpos de las vías. Los canes que son propensos a accidentes en las calles son abandonados, algunos de ellos fallecen, otros quedan gravemente heridos y pierden sus extremidades. Pues la pérdida de una extremidad afecta la calidad de vida del animal y tienen dificultad para realizar sus actividades diarias. (Emaseo EP, 2017)

Para resolver este problema social, inicialmente las prótesis, sillas de ruedas, arnés, se elaboran con productos de reciclaje que son donadas a fundaciones animalistas o rescatistas independientes, por lo regular eran artesanales, hechas con tubos de PVC. Pero esto se ha ido perfeccionando por la razón que debe ser a medida del can. Hoy en día, en el país los dispositivos de recuperación son limitados, pues al ser equipos importados los precios representan un alto costo que oscilan entre los \$100 y \$300, por lo que su obtención y fabricación resulta muy complicada. (Fundación Almanimal, 2019)

Al implementar el diseño CAD (diseño asistido por computadora) e impresión en 3D para la fabricación de la prótesis, es una alternativa rápida y accesible para que el can tenga una vida óptima.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. PRÓTESIS

Según la normativa ISO 22523:2007 recoge una prótesis como un apoyo o dispositivo externo (aparato) aplicado al cuerpo para modificar los aspectos funcionales o estructurales del sistema neuromusculoesquelético. (ISO, 2007)

La función de una prótesis está diseñada para reemplazar una parte faltante del cuerpo o para hacer que una parte del cuerpo trabaje mejor. Las articulaciones faltantes o enfermas comúnmente son reemplazadas por dispositivos protésicos.

Las prótesis se pueden clasificar según sus funciones como se muestra en la figura 1:

Figura 1

Clasificación de prótesis para canes.



Nota. El gráfico representa la clasificación de prótesis para canes. Tomado de Ortoprono. (2022).

2.1.1. Prótesis en canes

El uso de prótesis en canes da un soporte físico ayudando al correcto posicionamiento del grupo muscular, es decir que no exista una sobre fatiga. El uso de la prótesis en canes que han perdido algún miembro produce los siguientes resultados:

- Disminución del umbral del dolor.
- Aceleración del proceso de curación de tejidos.
- Aumento de la flexibilidad de tejidos, especialmente si se realiza ejercicios a los pocos minutos de llevar la órtesis.
- Aumento del arco de movilidad y rigidez articular.

En la figura 2 se muestra los tipos de prótesis activas y pasivas que puede tener un can.

Figura 2

Tipos de órtesis para canes.



Nota. El gráfico representa tipos de órtesis para canes. Tomado de Ortoprono. (2022).

2.2. ANÁLISIS DEL MIEMBRO DELANTERO

Con el fin de modelar mecánicamente el miembro delantero de los perros es necesario un estudio previo del mismo para comprender su estructura como se muestra en la figura 3.

- **Escápula:** Es un hueso plano cuya forma se asemeja a un triángulo. Está formada por dos caras, una interna que se encuentra en contacto con las costillas y sirve de inserción al músculo subescapular y una cara externa que es útil como punto de referencia para nuestro estudio.
- **Húmero:** Se trata de uno de los huesos largos que conforman el miembro anterior que en su extremo superior tiene una superficie articular redondeada a la que llamamos cabeza.
- **Radio y Cúbito:** Son dos huesos largos estando el radio por delante y el cúbito por detrás. Ambos se encuentran parcialmente fusionados. El radio se articula con el húmero por arriba y en la parte superior con el cúbito.
- **Carpo y metacarpo:** El carpo está formado por siete huesos, tres en la fila proximal cuatro en la distal. Los huesos del carpo se articulan por arriba con el radio y cúbito y por abajo con los metacarpianos.
- **Falanges:** Son huesos que se encuentran en los dedos de las manos, los pies, las patas, las alas, los cascos y las aletas de los animales. Estos son huesos largos cuya longitud excede su ancho. (Sabater, 2019).

Figura 3

Esqueleto de un can



Nota. El gráfico representa el esqueleto de un can. Tomado de Sabater. (2019).

2.3. PROPUESTAS DE DISEÑO:

A continuación, se detallan los procesos implicados en el diseño y desarrollo de la prótesis como se muestra en la tabla 1, exponiendo el proceso evolutivo, conceptos, mecanismos y pruebas que influyeron en el diseño final.

Tabla 1

Propuestas de diseño realizadas en la investigación.

Propuesta 1	Ventajas	Desventajas
	Base de apoyo tipo ballesta	No tomar en cuenta la anatomía del animal para realizar la inclinación de la base
	Altura regulable	Posible rotura del material al haber juego al regular la altura
	Facilidad de impresión por su modelo desarmable	Las tolerancias del material no fueron tomadas en cuenta en el diseño.
Propuesta 2	Diseño generativo, ahorrar material y tiempo de fabricación	Frágil
	No se debe ensamblar	En caso de rotura se debe reemplazar toda la prótesis
	Diseño basado en la anatomía del animal	No tiene buena sujeción

Al analizar las necesidades del usuario y alternativas que podrían solucionar estos problemas, se elabora una tercera propuesta de diseño como se muestra en la figura 4, obteniendo las siguientes características:

- Adaptable a las extremidades delanteras de cualquier can con un diseño paramétrico
- Funcional en pisos planos e irregulares debido a que posee una base flexible con un diseño tipo balancín y vaciada en el centro con la finalidad de garantizar el contacto con el suelo durante toda la pisada. El hecho de que la geometría esté vaciada por el centro aporta flexibilidad y reduce el uso de material una vez que se fabrique la prótesis.

Figura 4

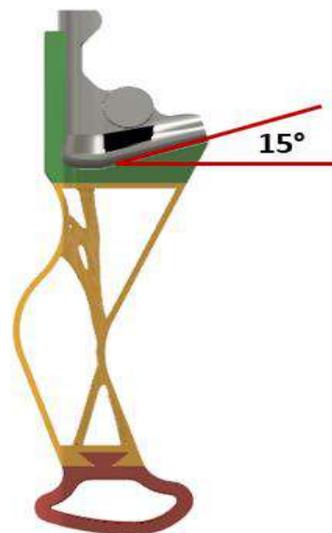
Propuesta de diseño 3



Otro de los factores a tomar en cuenta es la inclinación hacia los 15°, la misma está referenciada en la figura 5, donde se describe la parte de apoyo humeral para evitar que el codo vaya a deslizarse hacia adelante, generando una incomodidad en el movimiento de los canes.

Figura 5

Inclinación apoyo humeral



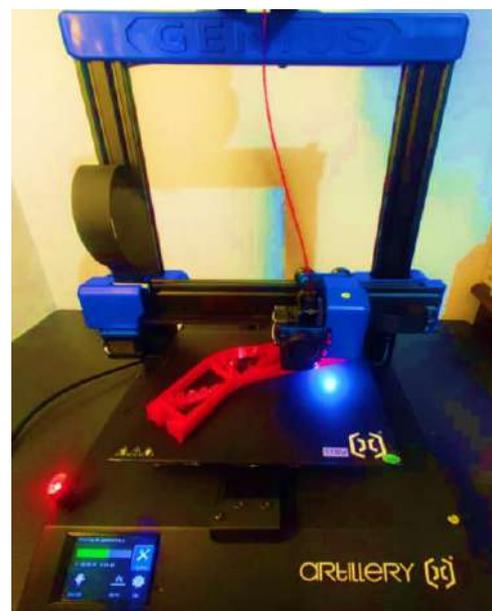
2.4. MATERIALES:

2.4.1. Impresora 3D:

La Impresora Artillery Genius que se muestra en la figura 6, tiene un sistema de extrusión directa, apta para imprimir filamento TPU (flexible) con un área de impresión 22 cm x 22 cm x 25 cm.

Figura 6

Impresora Artillery Genius



2.4.2. Materiales (Filamentos):

Para la investigación, se usan 2 tipos de materiales, PETG y TPU. Los filamentos usados son de tipo polímero (plásticos). Como parte de las características de los polímeros destaca su resistencia en distintas aplicaciones, sus componentes permiten utilizarlos en piezas industriales como son los engranes, no se oxidan por ser plásticos y por ende no reacciona químicamente con agentes que rodean el ambiente natural, y al no haber reacción química, no hay contaminación, haciéndolos aptos para ser usados en la investigación. (Plastics Technology MEXICO,2018).

Las características mecánicas que tiene los materiales se exponen en la Tabla 2:

Tabla 2

Características de los filamentos.

Propiedades mecánicas	PETG	TPU
Tensión de rotura (MPa)	49	39
Alargamiento por rotura	228%	580%
Resistencia a la flexión (MPa)	68	4.3
Módulo de elasticidad (MPa)	2027	26
Resistencia de impacto (KJ/m ³)	8	34.4
Densidad (g/m ³)	1.27 g/cm ³	1.23 g/cm ³
Temperatura de distorsión	65°C	65°C
Alargamiento por deformación	25%	55%

Nota. Esta tabla muestra cómo las propiedades mecánicas de las características de los filamentos. Tomado de (Ultimaker, 2017) ;(ColorPlus3D, 2020).

2.5. REQUERIMIENTOS PARA EL DISEÑO Y FABRICACIÓN DE LA PRÓTESIS

2.5.1. Requerimientos del material:

- No tóxico
- Resistente a los impactos
- Económico
- Ligero
- Facilidad de impresión

2.5.2. Requerimientos funcionales:

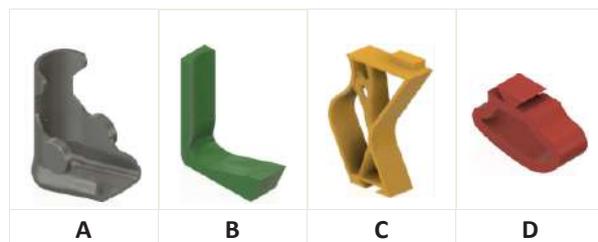
- Adaptable a cualquier tipo de raza basado en un diseño paramétrico dispuesto a modificar cualquier medida y personalizarla al animal.
- Aportar comodidad, mediante el diseño ergonómico

2.6. DISEÑO Y CREACIÓN DE PIEZAS:

Para el diseño de la prótesis se toma la decisión de dividirla en cuatro partes: apoyo del húmero, estabilizador, cuerpo generativo y base semiflexible, ver la figura 7:

Figura 6

Componentes de la prótesis.



A) Apoyo húmero: Brinda soporte al miembro amputado del can, está diseñada para ser ajustada de manera gradual, tiene un sistema de acolchonamiento a través de Etilvinilacetato (EVA).

B) Estabilizador para apoyo del húmero: Ayuda a evitar deformaciones al momento de ser usada por el can.

C) Cuerpo generativo: Es donde se va a ejercer la fuerza, cargas y peso del can. Tiene un largo de cúbito de 205 mm. Está unido al estabilizador y a la base semiflexible por medio de prisioneros.

Los componentes **A**, **B** y **C** son fabricados con filamento PETG, aportando la característica principal de resistencia al impacto y a la carga definida.

D) Base semiflexible: La base semiflexible soporta cargas de rozamiento y desgaste, por lo que tiene una parte antideslizante mejorando su vida útil y funcionalidad. Está fabricada con filamento TPU,

otorgando la característica principal de flexibilidad. Está diseñada para soportar una carga de 132,3 N además que, con este diseño, se minimiza las fuerzas ejercidas en el eje x y z al mínimo posible.

2.7. ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR ELEMENTOS FINITOS

La prótesis está diseñada con el fin de sustentar el peso del perro, por ello se realiza un estudio de frecuencias modales y tensión estática. Para realizar el estudio se utiliza el módulo de simulación del Software Fusion360 y se escoge estudiar el cuerpo generativo porque es la pieza que recibe mayoría de la fuerza además que por su forma está expuesta a sufrir deformaciones.

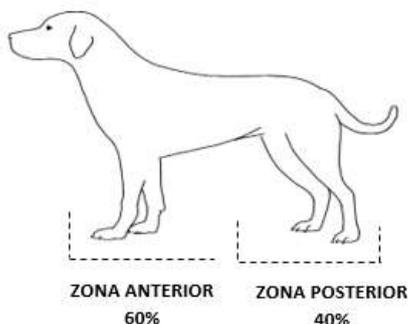
2.7.1. Fuerza

La fuerza que se utiliza es el peso del perro simplificado para una pata, en la biomecánica el peso de los perros se divide así: las patas delanteras reciben aproximadamente el 60% de los esfuerzos durante la marcha y las traseras el 40% restante de acuerdo a la figura 8. Es decir que, en caso de amputación de una extremidad la postura será en tres puntos causando una sobrecarga a las demás extremidades y una curvatura en la columna provocando escoliosis. (Acero, 2019).

Además, se toma en cuenta el factor de carga dinámica valorado en 3 porque un perro ejerce tres veces fuerza cuando corre.

Figura 8

Biomecánica del peso de los perros



La simplificación para realizar el análisis se muestra en la ecuación 1:

$$F_{paw} = w \times g \times FC_{dyn} \quad (1)$$

$$w = 15kg \times 0.6 \div 2$$

$$w = 4.5 kg$$

$$g = 9.8 \frac{m}{s^2}$$

$$F_{paw} = 4.5 N \times 9.8 \frac{m}{s^2} \times 3$$

$$F_{paw} = 132.3 N$$

Dónde:

w = peso del perro, en kg

g = aceleración de la gravedad, m/s^2

FC_{dyn} = Factor de carga dinámica

A continuación, se aplica una fuerza vertical de 132.3 N como se muestra en la figura 9, la cual simula el contacto con el suelo del elemento apoyo.

Figura 9

Carga aplicada al cuerpo generativo



2.7.2. Factor de seguridad

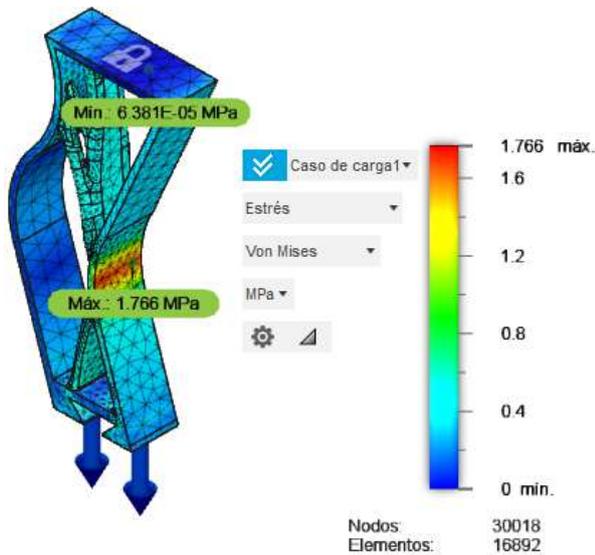
Cuando no se conoce las condiciones existentes en entorno se debe utilizar el factor de seguridad (FS), que permite cuantitativamente verificar la fuerza o resistencia del material que se utilizó para la elaboración de la prótesis. (Franklin E. Fisher, 2006)

En la figura 10 se muestra el esfuerzo equivalente de Von Mises, en ésta se observa que el esfuerzo

máximo no sobrepasa el 1.766 MPa; mientras que la resistencia a la fluencia del PETG es de 49 MPa descrito en la tabla 2.

Figura 10

Esfuerzo máximo.



Si $F_s > 1$ el diseño es adecuado, entre mayor sea el número más seguro es el diseño.

$$F_s = \frac{\text{Resistencia a la fluencia}}{\text{Esfuerzo máximo}} \quad (2)$$

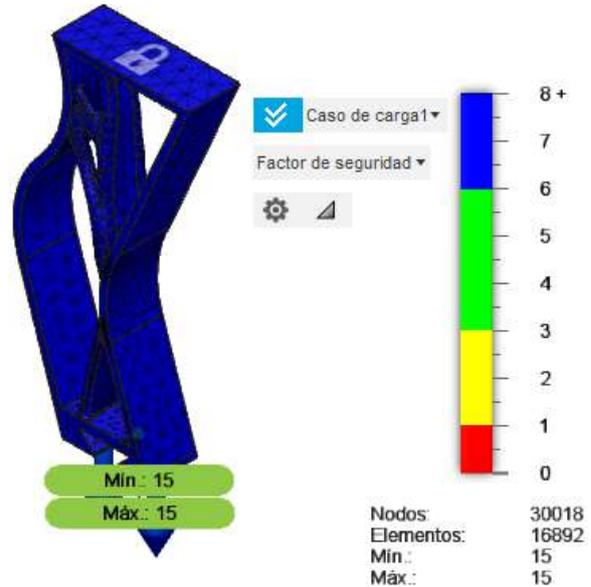
$$F_s = \frac{49\text{MPa}}{1.766\text{MPa}}$$

$$F_s = 27.74$$

El resultado permite la verificación de que, el factor de seguridad según la figura 11, es superior a la unidad. Este resultado garantiza que la prótesis no se deforme y tampoco exista una rotura de los materiales.

Figura 11

Factor de seguridad del cuerpo generativo.

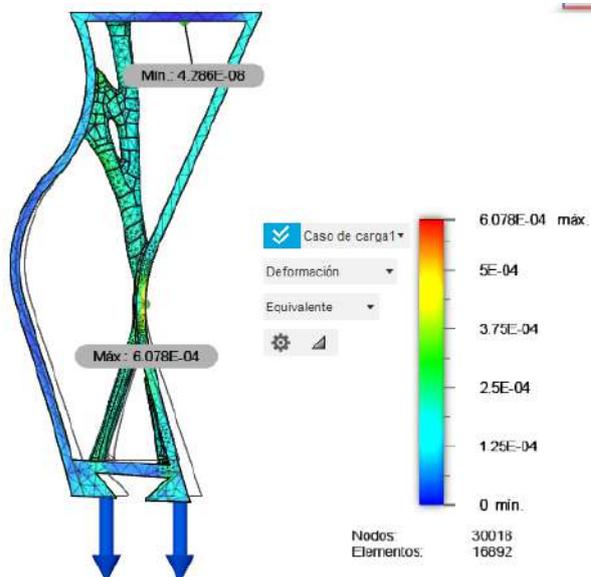


2.7.3. Deformación

Es el cambio en la forma de un material que resulta de la aplicación de fuerza, y es medida por el cambio en su longitud. En la figura 12 se ve la deformación del diseño en 6.07 mm medida expresada en mm, lo que quiere decir que la deformación es casi nula.

Figura 12

Deformación del cuerpo generativo.



2.8. PROCESO DE FABRICACIÓN:

Para la fabricación, como primer paso es diseñar las piezas en el software de diseño FUSION 360, utilizando los diferentes módulos de diseño como:

2.8.1. Diseño en superficie: En donde se diseña la prótesis de manera intuitiva, guiados a través de puntos de grados de libertad y morfología original de un can, observado en la figura 13.

Figura 13

Diseño superficial para las partes de la prótesis.



2.8.2. Generativo:

La idea principal del diseño generativo, que se observa en la figura 14, es crear diferentes soluciones basados en un solo diseño, da diversas opciones para optimizar ciertos aspectos que se describen a continuación:

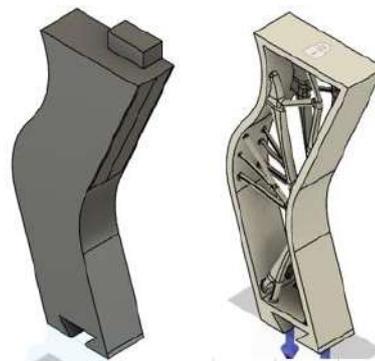
- **Resistencia en puntos de apoyo:** Uno de los requerimientos del diseño generativo es asignar una carga de acuerdo al uso que va a tener el diseño, en este caso se le asigna el peso del animal y tomando en cuenta lo mencionado genera varias opciones de diseño, pero todas optimizan la resistencia a la carga definida.
- **Reducción de material:** En base a la carga aplicada, el software genera varias opciones de modelos simplificados en forma de nervios los cuales están interconectados unos con otros

de tal manera que ya no se crea un cuerpo sólido si no, da un aspecto natural al diseño.

- **Tiempo de fabricación:** Con estas alternativas de diseño simplificadas se obtiene tiempos menores de fabricación respecto a propuestas de diseños anteriores, al definir puntos de apoyo y generar una geometría reducida (Peña, 2018).

Figura 14

Diseño generativo.



2.9. PARÁMETROS DE IMPRESIÓN

Una vez que se realiza los respectivos análisis se procede a la fabricación por adición utilizando una impresora Artillery Genius, que se muestra en la figura 15. Se ha realizado cuatro impresiones, esto debido a que las piezas son fabricadas en dos tipos filamentos y cada una requiere de parámetros personalizados de acuerdo a su función, descritos en la tabla 3.

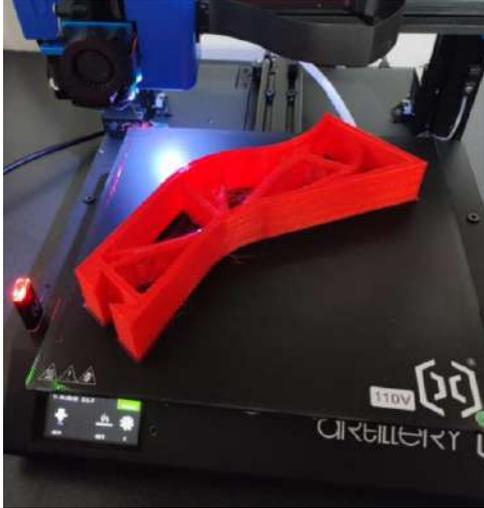
Tabla 3

Parámetros de impresión

Parámetros	Parte A	Parte B	Parte C	Parte D
Altura de capa (mm)	0.2	0.2	0.3	0.2
% Relleno	25	25	75	80
Velocidad (mm/s)	35	35	50	30
Temperatura Nozzle (°C)	215 PETG	215 PETG	215 PETG	210 TPU
Tiempo de impresión (horas)	6	4	18	5

Figura 15

Fabricación de la prótesis en impresión 3D



3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN:

- Se fabricó la prótesis delantera, y se pudo observar que su resistencia era la apropiada en base a un análisis estructural de elementos finitos en el software Fusión 360, el cual es 49 MPa para el PETG y 39MPa para el TPU.
- La prótesis es orgánica, lo que la hace más apta para el uso del can, basándose en la anatomía del animal.
- El diseño posee un factor de seguridad de 8 lo que significa que está lejos de la rotura.
- Se consultó a varios veterinarios sobre la seguridad de la prótesis, y se confirmó que los materiales usados no representan ningún riesgo para la salud del perro.
- La tolerancia de $\pm 0.2\text{mm}$ que se toma en cuenta en el diseño no tuvo ninguna variación en la prótesis fabricada.

4. CONCLUSIONES:

En el desarrollo de los objetivos planteados al inicio de la investigación se ha obtenido las siguientes conclusiones:

Mediante la impresión 3D es posible desarrollar una prótesis delantera para canes a través de un

diseño paramétrico que permita adaptar su tamaño al animal en estudio.

- Los materiales utilizados en la prótesis son TPU y PETG obteniendo 210°C y 215°C en la temperatura de impresión con la cual se consigue una resistencia a la compresión de 39.49 MPa permitiendo su durabilidad ante condiciones cotidianas de movilidad del can.
- La velocidad de impresión promedio es 35 mm/s permitiendo alcanzar una calidad alta y sin defectos en las piezas 3D, con la cual se acepta su funcionalidad y en caso de rotura se puede reproducir nuevamente
- Las formas de construcción tradicionales coexisten y se complementan con la tecnología 3D en una relación 70-30, piezas impresas 70% y correas y tornillos 30%.

5. RECOMENDACIONES:

- Imprimir todas las piezas de manera horizontal para que su resistencia sea mayor a la carga aplicada en sentido vertical.
- En el cuerpo generativo se puede aplicar resina de poliéster semielástica para impermeabilizar y endurecer los nervios que están expuestos a posibles roturas.
- Usar un aditamento químico para mejorar la adherencia a la cama de impresión como el fijador para cabello.
- Calibrar la temperatura y velocidad mediante pruebas de impresión de no más de 30 min.
- Evitar aristas vivas en el diseño, pues a pesar de que la fabricación es en un polímero puede causar incomodidad en el can.
- Evitar cambios bruscos de temperatura para que la pieza no se desprege de la cama de impresión.

6. REFERENCIAS:

Ortoprono. (2022). *Qué tipos de órtesis existen*. <https://ortoprono.es/blog/ortopedia-tecnica/tipos-de-ortesis/>

EMASEO. (2017). *Servicio de Emaseo EP: Animales*

- al Cielo. <http://www.emaseo.gob.ec/servicio-emaseo-ep-animales-al-cielo/>
- El Comercio. (2015). *Los perros atropellados en las vías son un drama de todos los días.* <https://www.elcomercio.com/actualidad/quitoo/perros-atropellados-vias-quito.html>
- Canis et Felis. (2014). *Patologías hereditarias en el perro.* https://www.ucm.es/data/cont/docs/345-2019-02-05-Patologias_hereditarias_en_perros.pdf
- Arévalo I. (2021). *Diseño generativo para el desarrollo de prótesis de canes.* Pontificia Universidad Católica del Ecuador. <https://repositorio.pucesa.edu.ec/handle/123456789/3256>
- El Telégrafo. (2021). *Los perros callejeros proliferan en Quito y Guayaquil.* <https://www.letelegrafo.com.ec/noticias/sociedad/6/perros-callejeros-prolifera-quito-guayaquil>
- Ortocanis. (2020). *¿Qué son y cómo funcionan las órtesis para perros?.* <https://www.ortocanis.com/es/content/ayudas-ortopedicas-para-perros-con-artrosis>
- Portal veterinaria. (2022). *Utilización de prótesis para los problemas articulares de los perros.* <https://www.portalveterinaria.com/>
- Prótesis MG. (2022) *Prótesis y órtesis en las mascotas.* <https://protesismg.com/protesis-y-ortosis-en-las-mascotas/blog-especializado-mg-latam/protesis-y-ortosis-para-animales/cod-3687/>
- Tarragó A. (2022). *Órtesis, dispositivos para disimetrías.* <http://www.traumatologiaveterinaria.com/articulaciones/docs/ortosis.pdf>
- Rubio A. (2011) *Diseño de prótesis económica para perros con displasia de cadera, con tecnología disponible en el contexto guatemalteco.* <https://revista.uisrael.edu.ec/index.php/ro/article/view/636>
- Diccionario Visual. (2016) *Esqueleto de un can.* <https://infovisual.info/es/biologia-animal/esqueleto-de-un-perro>
- ISO ORG. (2006). *Prótesis externas, requerimientos y métodos.* <https://www.iso.org/standard/37546.html>
- Sabater Carlos. (2019). *Diseño y cálculo de una prótesis canina.* <https://n9.cl/602u5>
- ULTIMAKER. (2017). *Ficha de datos técnicos TPU.* <https://ultimaker.com/es/materials/tpu-95a>
- COLORPLUS. (2020). *PETG.* <https://www.colorplus3d.com/wp-content/uploads/2020/11/PETG.pdf>
- El Comercio. (2016). *Prótesis caninas se imprimen en 3D.* <https://www.elcomercio.com/narices-frias/protesis-perros-impresion3d-tecnologia-depocaspulgas.html>
- Fundación Almanimal. (2019). *Prótesis de animales.* <https://brenp.com/protesis-de-animales-un-mercado-naciente-en-ecuador/>
- Plastic Technology Mexico. (2018). *La verdad sobre los plásticos: sin reacción química, no hay contaminación.* <https://www.pt-mexico.com/articulos/la-verdad-sobre-los-plsticos>
- Benavides, C. (2022, enero) *Requerimientos para la prótesis animal.* Charla ofrecida en la veterinaria "Garras y huellas". Quito, Ecuador
- Franklin E.Fisher (2006) *"Mechanical Engineers' Handbook: Materials and mechanical d*

Additive manufacturing of a splint for hand arthritis in the elderly using 3D scanning and printing

Fabricación aditiva de una férula para artritis de mano en personas de la tercera edad aplicando escaneo e impresión 3D

Diego Bustos¹ Sebastián Cárdenas² Jessica Tipantiza³

¹Investigador Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: dbustos@istct.edu.ec

² Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: wcardenasr@istct.edu.ec

³ Instituto Superior Universitario Central Técnico, Quito, Ecuador

E-mail: jtipantizam@istct.edu.ec

Recibido: 31/05/24

Aceptado: 13/06/24

Publicado: 28/06/24

RESUMEN

La artritis es una enfermedad degenerativa que afecta especialmente a personas de la tercera edad, esta condición provoca dolor y rigidez en las articulaciones de las manos, lo que dificulta la calidad de vida.

En los últimos años, la impresión y escaneo 3D han revolucionado la producción de férulas, ofreciendo una fabricación alterna, personalizada y accesible. Además, la recopilación de datos mediante medición es una solución eficiente para el diseño de la misma.

El material de impresión PLA es ligero y resistente utilizado en la fabricación de férulas para las articulaciones afectadas por artritis, a base de moldeo por calor para adaptar la férula a la mano. El uso de una esponja acolchonada ayuda a mejorar la comodidad del paciente y prevenir lesiones en la piel. En el presente estudio, para poder moldear la férula impresa en 3D y se adapte a la geometría del paciente se utilizó un moldeo por transferencia de calor que oscile alrededor de los 100°C.

Palabras clave: Artritis, Escaneo 3D, Férula, Impresión 3D, Mano PLA

ABSTRACT

Arthritis is a degenerative disease that particularly affects elderly individuals. This condition causes pain, inflammation, and stiffness in the joints of the hands, which hinders the quality of life of affected individuals.

In recent years, 3D printing and scanning have revolutionized the production of splints, offering an alternative, personalized, and accessible manufacturing method. Additionally, data collection through measurement is an efficient solution for designing the splint.

The PLA printing material is lightweight and resistant, used in the manufacturing of splints for arthritis-affected joints. It is molded using heat to adapt the splint to the hand. The use of a padded sponge helps improve patient comfort and prevent skin injuries.

In the present study, in order to mold the 3D printed splint and adapt it to the patient's geometry, heat transfer molding that oscillates around 100°C was used.

Keywords: Arthritis, 3D scanning, Splint, 3D printing, Hand, PLA

1. INTRODUCCIÓN

La impresión 3D ha revolucionado la forma en que se fabrican diversos productos, y las férulas de mano para artritis en personas de la tercera edad no son una excepción. Estas férulas, diseñadas específicamente para brindar soporte y alivio a aquellos que sufren de artritis en las manos, se han convertido en una solución innovadora y personalizada.

En la actualidad, la fabricación de férulas de mano para personas de tercera edad mediante impresión 3D en la ciudad de Quito es un proyecto de escaso desarrollo, el proceso de fabricación de este producto implica el uso de materiales tradicionales como cuero, metal y plásticos resistentes a altas temperaturas, que se moldean para crear la forma final. Los mercados en línea ofrecen férulas diseñadas para pacientes con artritis, fabricadas según medidas estandarizadas. Sin embargo, el desafío radica en encontrar el tamaño adecuado de la férula que se adapte a la mano del individuo (Andrade, 2019).

Otro factor es el tipo de material utilizado para fabricar la férula, ya que la elección se fundamenta en aspectos mecánicos tales como la resistencia, la capacidad de flexión y la longevidad.

El material más utilizado en la impresión 3D para fabricar productos acordes a la necesidad es el PLA, para desarrollar férulas de ajuste personalizado, siendo esta una opción accesible y prometedora (Kelly, Paterson, & Richard, 2015).

2. LA FÉRULA A TRAVÉS DEL TIEMPO

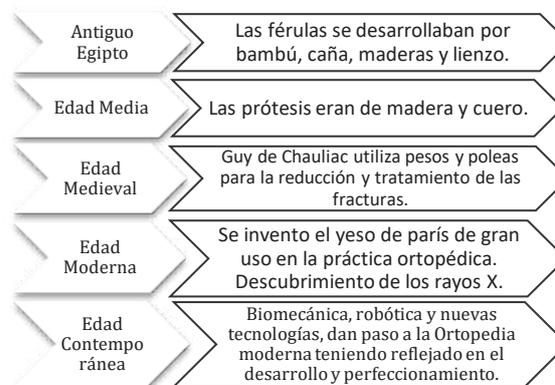
2.1 EVOLUCIÓN DE LA ORTOPEDIA

Las personas tienen la habilidad de buscar respuestas a los desafíos. A través del tiempo se han inspirado en métodos, procedimientos, instrumentales e ingenio para mejorar constantemente las férulas y que éstas sean funcionales. En la Figura 1 se presenta la evolución de la ortopedia (Ucha, 1965).

Nota. Tomado de (Ortopedia, 2020)

Figura 1

Evolución de la Ortopedia.



Nota. Tomado de (Ucha, 1965)

2.2 LA FÉRULA

Las férulas mantienen a las articulaciones y huesos en su lugar, esta solución particular se ha considerado eficaz para tratar dolencias relacionadas con las articulaciones, como la artritis (Wagner, 2023). En la Figura 2 se describe los diferentes tipos de férula para la mano.

Figura 2

Tipos de férula para la mano.



3. MEDICINA REUMATOLÓGICA

3.1 ARTRITIS DE MANO

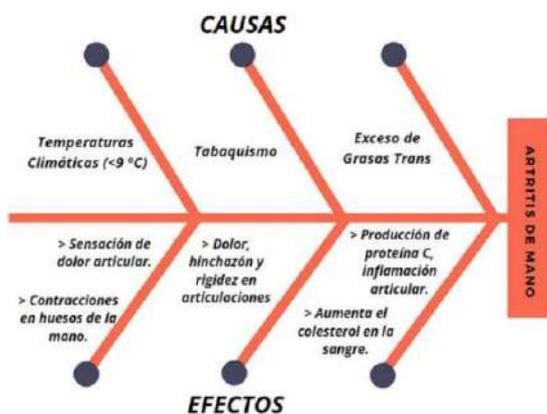
La artritis impacta las manos en un 90% en comparación con el resto del cuerpo, y la deformidad en las manos ocurre en un 36%, llegando al 18% en deformidades que no pueden corregirse. Las características definitorias de esta malformación particular incluyen el alargamiento de la articulación, la curvatura de la articulación interfalángica proximal y la sobre extensión de la articulación (Fernandez, Schenk, & Juárez, 2000).

3.2 CAUSAS Y EFECTOS DE ARTRITIS DE MANO

En la Figura 3 se presenta las causas y efectos de la artritis en manos.

Figura 3

Causas y efectos de la Artritis de mano.



Frente a este problema, la iniciativa utiliza tecnología de impresión y escaneo 3D para desarrollar prototipos de férulas de mano para personas dentro del rango de la tercera edad que sufren de contracción, desgaste y deformidad debido a la artritis.

4. DISEÑO Y ANÁLISIS DE LA FÉRULA

4.1 ESCÁNER 3D

Para simplificar la creación de un objeto en formato digital, se requiere el uso de un escáner 3D. Este proceso implica la captura y análisis de la forma, textura y color del objeto a través de un sensor infrarrojo, y posteriormente, si es necesario, se puede realizar modificaciones en un software (Cardoso, Torres, & Bustos, 2022).

4.2 IMPRESIÓN 3D

Las impresiones en 3D del prototipo de la férula de mano se fabrican con un relleno del 100%, teniendo en cuenta las fuerzas que tendrá que soportar. Un mayor porcentaje de relleno aumenta la rigidez de la férula, lo que la hace ligera, cómoda y estéticamente agradable, lo que a su vez puede mejorar la recuperación ósea en hasta un 80% (Karasahin, 2013).

4.3 MATERIAL PARA LA IMPRESIÓN 3D

PLA es un plástico biodegradable derivado del almidón, ganando popularidad en el mercado de acuerdo como muestra la Tabla 1 (Bordignon, Alejandro, & Hahn, 2018).

Tabla 1

Material de impresión 3D

Características	Datos
Temperatura cama	60°C
Temperatura extrusor	180°C-230°C
Tracción	27-41 MPa
Compresión	66 MPa

5. MODELO GEOMÉTRICO DE LA MANO MEDIANTE ESCANEADO 3D

Para obtener el modelo geométrico de la mano se utilizó dos escáneres; el Kinect Xbox 360 como se presenta en la figura 4, dado a que ofrece un mayor rango de visión máximo de 3 metros de distancia, permitiendo una digitalización 3D eficiente (Cardoso, Torres, & Bustos, 2022).

Figura 4

Kinect Xbox 360.



Nota. Tomado de (Gideon, 2021)

También se usó el Creality CR-Scan 01 como se

observa en la figura 5, ofrece un rango de visión máximo de 2 metros y un escaneo manual más flexible. (Nissei, s.f.)

Figura 5

Escáner Creality CR-Scan 01.



5.1 SOFTWARE

El Kinect Xbox utiliza el software libre Skanect que se descarga en su página oficial, puede funcionar con cualquier escáner y tiene una versión de pago.

CR STUDIO es el software libre utilizado en el Creality CR-Scan, descargándolo en la página oficial, sin embargo, se debe utilizar con el escáner de la misma marca.

5.2 RECOPIACIÓN DE DATOS

Para el desarrollo del escaneado se buscó personas de la tercera edad que tengan artritis de mano, con un grado de deformidad en dedos como se observa en la figura 6 y 7, se indica las zonas donde se mide.

Figura 6

Medidas de la mano (1).

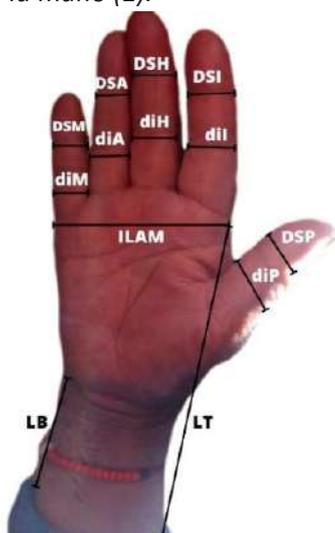


Figura 7

Medidas de la mano (2).



Se realizó la muestra de dos personas, paciente 1 (70 años) y paciente 2 (65 años). Obteniendo los siguientes datos presentados en la Tabla 2 y 3 expresado en mm.

Tabla 2

Medidas para férulas de dedos

Dedos	Paciente 1		Paciente 2	
	Superior (DS)	Inferior (di)	Superior (DS)	Inferior (di)
Pulgar(P)	20	22	19	20
Índice(I)	19	22	14	20
Medio(H)	19	20	15	16
Anular(A)	17	20	14	15,5
Meñique(M)	16	18	13	16

Tabla 3

Medidas para férula de mano (muñeca)

Datos	Paciente 1	Paciente 2
Espesor muñeca (EM)	35	31
Espesor dedo pulgar (EP)	20	20
Largo brazo (LB)	60	60
Espesor brazo (EB)	41	40
Inicio de línea amor a meñique (ILAM)	85	75
Inferior de índice a largo de brazo (LT)	165	165

5.3 PROCESO DE ESCANEADO

Antes de comenzar el escaneado de las manos, se ajusta los parámetros en el Skanect, utilizando una medida de 0.7 x 0.7 x 0.7 m³ del cuadro delimitador.

Colocando el escáner en un rango de visión máximo de 3 metros, además un indicativo del rango de visión adecuado es el color verde que se muestra en la figura 8.

Figura 8

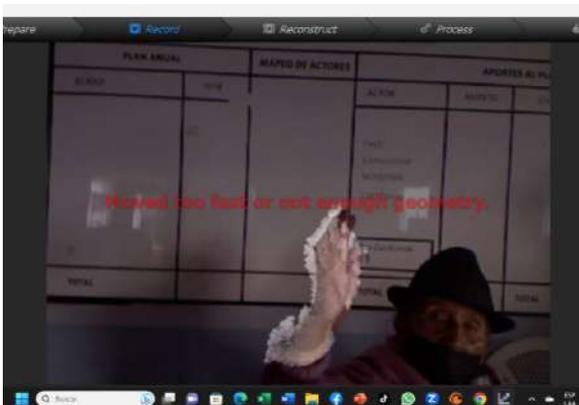
Escaneado de una mano.



Para un correcto escaneado es importante tener en cuenta el movimiento de la mano, siendo constante y lento a 2 rad/s, para evitar perder el seguimiento del objeto como se observa en la Figura 9.

Figura 9

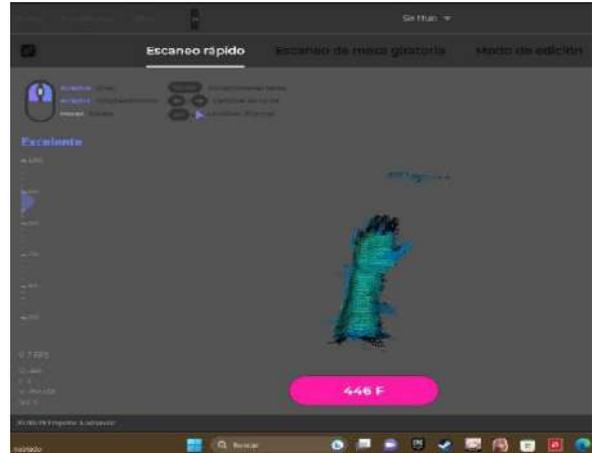
Error de seguimiento de la mano.



Con el software CR Studio, se ajusta la posición del cuadro delimitador con la mano, teniendo en la escala un excelente como se observa en la Ilustración 7.

Figura 10

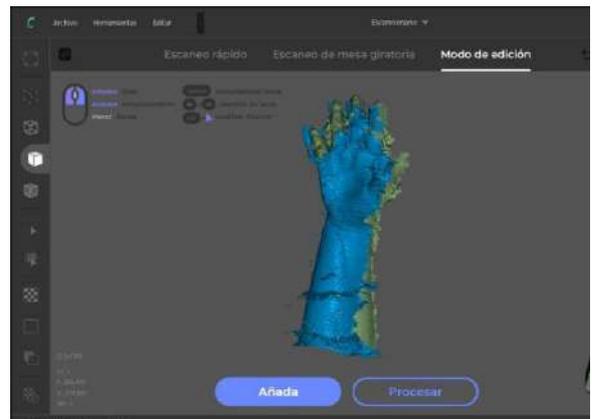
Proceso de escaneado.



Después, se reconstruye el modelo para dejarlo con una buena calidad como se observa en la figura 11.

Figura 11

Resultado final del escaneado de una mano.



Una vez escaneada la mano, se debe exportar la imagen en formato OBJ para poder modificar en un software de diseño CAD/CAM como Inventor.

6. MODELADO DE FÉRULA EN PROGRAMA CAD

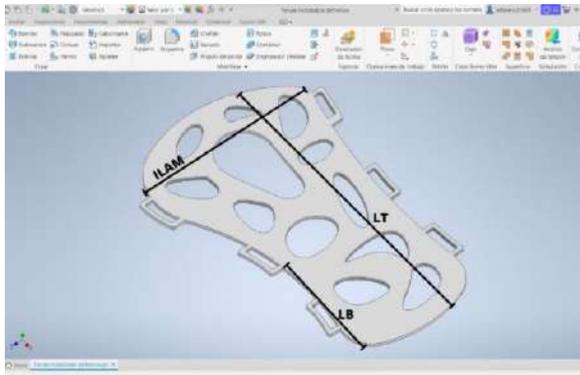
En el programa CAD Inventor se realiza el modelado de la férula de acuerdo con la anatomía de la mano del paciente realizado en el escáner.

La férula cuenta con dos partes, la primera es una férula de muñeca que va sujeta en la palma de la mano, muñeca y antebrazo, el diseño se realiza utilizando la tabla 3 como se presenta en

la figura 12.

Figura 12

Férula de muñeca



Se moldea mediante calor para dar la forma que se desea y tiene respiraderos para la circulación de aire permitiendo mayor comodidad.

La segunda, son férulas de dedos, su diseño se realiza utilizando la tabla 2 como se observa en la figura 13 y 14.

Figura 13

Férula de dedo pulgar

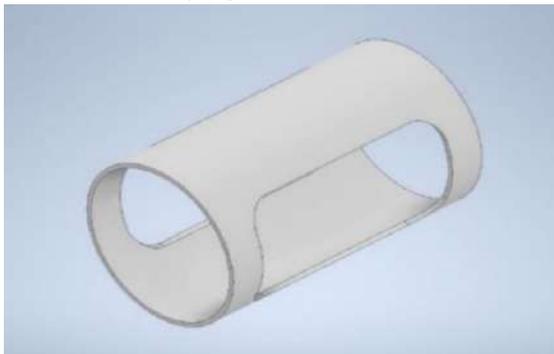
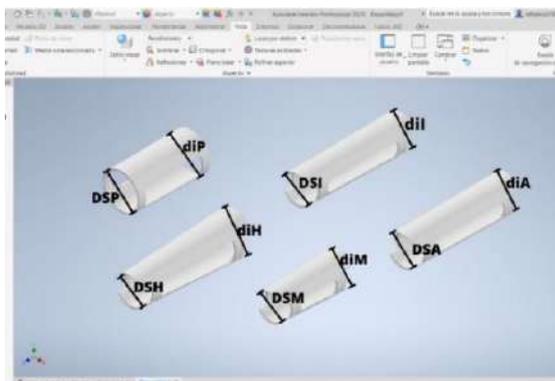


Figura 14

Férulas de dedos



Se realiza para cada dedo de acuerdo con las medidas, donde éstas deben ajustarse ergonómicamente; de igual manera se realiza

respiraderos para la circulación de aire.

7. IMPRESIÓN 3D DE LA FÉRULA

Se importa el modelado en STL de las diferentes férulas, para posterior pasar al programa UltiMaker Cura; y configurar a las especificaciones expuestas en la tabla 4.

Tabla 4

Características de impresión

Características	Datos
Material	PLA
Temperatura de base	60°C
Temperatura de extrusor	210°C
Velocidad de impresión	60 mm/s
Adherencia a la placa	falda
Recuento de líneas	4

En la figura 15 y 16 se observa el proceso de configuración mencionado en la tabla 4.

Figura 15

Férula de muñeca

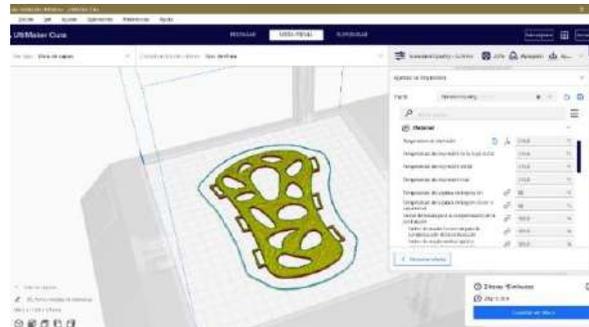
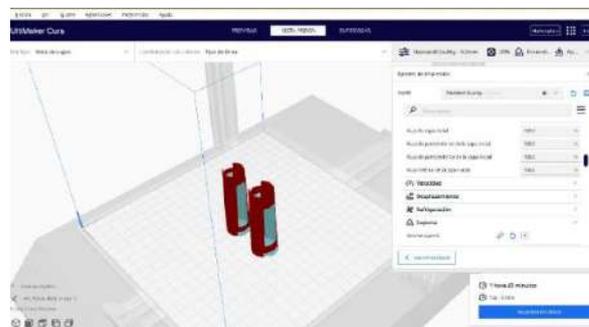


Figura 16

Férulas de dedos



Los resultados finales de las férulas impresas en

3D tanto de muñecas como de dedos se presentan en la figura 17 y 18.

Figura 17

Férula de muñeca.



Figura 18

Férula de dedos.



8. RESULTADOS

- Los rediseños de las férulas fueron necesarios teniendo como resultado final la férula presentada en la Ilustración 9, para que ésta se ajuste a la anatomía de la mano, obteniendo con ello ergonomía y comodidad en el paciente.
- El tiempo de impresión en material PLA de un total de 7 piezas fue de 6h y 37min, trabajando a una temperatura del extrusor a 210 °C y la base de la impresora a 60 °C.
- El uso de una esponja acolchonada como

complemento a la férula es una estrategia efectiva para mejorar la comodidad del paciente, evitando producir lesiones cutáneas.

- Para poder moldear la férula impresa en 3D y se adapte a la geometría del paciente se utilizó un moldeo por transferencia de calor que oscile alrededor de los 100°C.

9. DISCUSIÓN

- El proyecto publicado por la universidad ESPE, presenta su método de fabricación de férula con un diseño ya adaptado a la forma de la mano de un solo paciente, sin embargo, el uso del calor para moldear la férula adapta mucho mejor a la geometría de la misma, ya que ahorra tiempo de fabricación.
- La tienda en línea española (Visionfarma) vende férulas de mano con material textil hecho en tejido de poliéster, el método puede tener limitaciones en cuanto a la personalización y adaptabilidad, ya que tienen un diseño estándar. La técnica de impresión 3D permite una personalización y adaptabilidad específica de cada paciente permitiendo diseños ergonómicos.

10. CONCLUSIONES

- El PLA es un material ligero y resistente, adecuado para ayudar las articulaciones afectadas por artritis, se comprobó una movilidad limitada y cómoda de la mano, lo que facilita la realización de actividades diarias sin restricciones excesivas.
- Con los diferentes escáneres utilizados, el Creality permitió escanear de manera más clara y precisa la anatomía de la mano al tener una resolución de color de 1.3 millones de píxeles, a diferencia del Kinect que posee una resolución de 640x480 píxeles.
- La fabricación de férulas en serie puede

ser más eficiente y rentable a corto plazo, sin embargo, la calidad y la precisión pueden verse comprometidas al imprimir en grandes cantidades. Al imprimir férulas de forma individual proporciona una mejor adaptación en la geometría de la mano, lo que puede resultar en una mejor durabilidad y efectividad a largo plazo. Por lo tanto, es preferible optar por imprimir férulas de forma individual mediante impresión 3D.

- El moldeo en calor utilizado para adaptar la férula de muñeca y dedos ayudó a mantener estabilidad y rectitud en estas áreas. Esta técnica asegura un ajuste preciso, mejorando la funcionalidad y comodidad para el paciente.
- La ergonomía y comodidad que se obtuvo de la prueba de la férula fue una solución a los efectos de la artritis, como el dolor y la estabilidad de la mano, teniendo libertad de movimiento para ejercer las actividades diarias de las personas.

11. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade. (2019). *Manufactura de ferula para artritis de muñeca*. Sangolqui: Centro de investigación.
- Andrade García, L. E. (2019). *Manufactura de Férulas para el tratamiento de artritis de muñeca aplicando tecnologías de impresión 3D*. Sangolquí: Universidad de las Fuerzas Armadas "ESPE".
- Bordignon, F., Alejandro, I., & Hahn, Á. (2018). *Diseño e impresión de objetos 3D*. Buenos Aires: UNIPE: Universidad Pedagógica Nacional.
- Cardoso, B., Torres, S., & Bustos, D. (Noviembre de 2022). *Análisis de los parámetros lumínicos en la digitalización dimensional de objetos de volumen de hasta 1m3, mediante el uso de un escaner infrarrojo*. Quito, Ecuador: Instituto Superior Universitario "Central Técnico".
- Fernandez, Schenk, & Juárez. (2000). Deformidad en boutonnière de los dedos en artritis. *Hospital ABS*, 78-81.
- Fletcher, J., & Brenda, S. (22 de Mayo de 2023). *Medical News Today*. Obtenido de ¿Por qué el cambio estacional afecta mis síntomas de artritis reumatoide?: <https://www.medicalnewstoday.com/articulos/es/efecto-del-cambio-estacional-en-la-artritis-reumatoide>
- Gideon, M. (29 de Diciembre de 2021). *Business of Esports*. Obtenido de Phil Spencer thinks kinect is xbox's greatest contribution to gaming: <https://thebusinessofesports.com/2021/12/29/phil-spencer-thinks-kinect-is-xboxs-greatest-contribution-to-gaming/>
- Karasahin. (2013). *Osteoid medical cast. A'Design award and competition*.
- Kelly, S., Paterson, A., & Richard, B. (2015). *Review of wrist splint designs for additive manufacture*. Gran Bretaña: Loughborough University.
- Medicaltex*. (s.f.). Recuperado el 10 de Septiembre de 2023, de Férula stack-Inmovilizador de dedos: <https://www.medicaltex.pe/producto/ferula-stack-inmovilizador-de-dedo/>
- MSP. (10 de Julio de 2022). *Medicina y Salud Pública*. Obtenido de Alimentación adecuada en personas con artritis: <https://medicinaysaludpublica.com/noticias/reumatologia/alimentacion-adeuada-en-personas-con-artritis/10393#:~:text=De%20lo%20contrario%2C%20ingerir%20alimentos,organismo%20a%20otras%20enfermedades%20cr%C3%B3nicas.>
- Nissei*. (s.f.). Recuperado el 12 de Septiembre de 2023, de Escáner 3D Portátil Creality CR-Scan 01 Upgrade Kit: [https://nissei.com/py/escaner-3d-portatil-creality-cr-scan-01-upgrade-kit#:~:text=Rango%20de%20escaneo%20\(port%C3%A1til\)%3A,%3A%200.3%20m%200.5%20m](https://nissei.com/py/escaner-3d-portatil-creality-cr-scan-01-upgrade-kit#:~:text=Rango%20de%20escaneo%20(port%C3%A1til)%3A,%3A%200.3%20m%200.5%20m)
- Ortopedia Técnica Lopez*. (s.f.). Recuperado

el 10 de Septiembre de 2023, de Guante inmovilizador de dedos: <https://www.ortopedialopez.com/tienda/dedos/guante-inmovilizador-de-dedos-orliman/>

Ortopedia, O. (11 de Junio de 2020). *Ortopedia Online*. Obtenido de Tipos de Férula para dedos y falanges de la mano: <https://www.ortopediaonlinetarancon.com/tipos-ferulas-para-dedos-y-falanges-mano/>

Ponce, A. (4 de Diciembre de 2019). *Dr. Antonio Ponce Vargas*. Obtenido de Tabaco y artritis reumatoide: <https://www.doctorponce.com/tabaco-y-artritis-reumatoide/>

Structure. (s.f.). Recuperado el 12 de Septiembre de 2023, de Skanect: <https://structure.io/skanect>

Ucha, A. T. (1965). *Cátedra de Traumatología y Ortopedia*. Montevideo.

Vademecum. (25 de Octubre de 2013). *VADEMECUM*. Obtenido de El exceso de grasa en pacientes con artritis reumatoide puede influir sobre el daño radiológico y la actividad de la enfermedad: https://www.vademecum.es/noticia-131025-el-exceso-de-grasa-en-pacientes-con-artritis-reumatoide-puede-influir-sobre-el-da%C3%A1o-radiol%C3%B3gico-y-la-actividad-de-la-enfermedad_7547

Wagner. (marzo de 2023). *Nemours Children's*. Obtenido de <https://kidshealth.org/es/kids/splints.html#:~:text=Las%20f%C3%A9rulas%20mantienen%20los%20huesos,debilidad%20o%20la%20par%C3%A1lisis%20muscular>

Wagner. (marzo de 2023). *Nemours Children's*. Obtenido de <https://kidshealth.org/es/kids/splints.html#:~:text=Las%20f%C3%A9rulas%20mantienen%20los%20huesos,debilidad%20o%20la%20par%C3%A1lisis%20muscular>

INVESTIGACIÓN

TECNOLÓGICA IST CENTRAL TÉCNICO

Dirección:

ISTCT, Av. Isaac Albéniz E4-15 y El Morlán, Sector el Inca
Quito - Ecuador • Telf.: (593) 2403096
www.istct.edu.ec • www.investigacionistct.ec • investigacionistct20@gmail.com