Informe de análisis
Compilatio Magister+ | ZEGEL-PE

G07.SISTEMA MECATRÓNICO DE POSICIONAMIENTO ARCO EN C

ID : 61a426e2be342b8cc189c5b990c84d990884d3f5



8%
Textos sospechosos

Nombre del fichero : G07.SISTEMA MECATRÓNICO DE POSICIONAMIENTO ARCO EN C.txt
Tamaño del archivo original : 1,57 MB
Número de palabras : 12.948

Depositante : Jerson Sanchez Ramos
Fecha de depósito : 18 de septiembre de 2026
Tipo de carga : interface
fecha de fin de análisis : 18 de septiembre de 2026

Resumen (sección 1/3)

Localización de los textos sospechosos en el documento :



Incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Similitudes — **2%**

Sintáctica 1% | Semántica <1%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



Detección de IA — **20%**

Textos estilísticamente próximos a un texto generado por una IA.
Este índice es un indicador y no una prueba. Comprueba con el autor si domina los conocimientos mencionados en el documento.



Idiomas no reconocidos — **6%**

Pasajes en los que parte del vocabulario utilizado no forma parte del diccionario de la lengua.
Puede tratarse de un intento del autor de modificar el texto para evitar ser detectado.



No incluido en el porcentaje de textos sospechosos :

Textos entre comillas — **<1%**

Pasajes entre comillas, a menudo indicativos de una cita.

Fuentes de similitudes (sección 2/3)

Similitudes

2%

Pasajes con similitudes a fuentes encontradas en diferentes colecciones.



Fuente principal detectada

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones
1	repositorio.usmp.edu.pe Detección semántica repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/17868/podesta_...	<1%	
2	EF_GONZALES JOEL-SAAVEDRA GABRIE... #2f4ee9 Detección semántica Viene de de mi grupo	<1%	
4	Diversores de Flujo en Hemodinamia: Evaluación de... Detección semántica repository.unad.edu.co/handle/10596/73948	<1%	
6	Resolución Ministerial N.° 637-2024-MINSA - Normas ... Detección semántica www.gob.pe/institucion/minsa/normas-legales/6009151-637-2024-minsa	<1%	

Fuente con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones
3	Diagnóstico de la Situación de Brechas de... Detección semántica www.gob.pe/institucion/minsa/informes-publicaciones/5887860-diagnost...	<1%	
5	Fortalecimiento Institucional del Sineace... Detección semántica hdl.handle.net/20.500.12982/7102	<1%	
7	Registro de Citas Detección semántica alicia.concytec.gob.pe/vufind/Record/USMP_9243cc43530dcf4aedd5d64a...	<1%	
8	Fluoroscopía y Arco en C: La Importancia de la Radiografía en... studioblast.cl/medicalmarket/fluoroscopia-arco-en-c-radiografia-tiempo-r...	<1%	
9	Challenges of Using C-Arm Fluoroscopy Systems: A Mixed Method... dx.doi.org/10.18502/jimc.v7i2.15047	<1%	
10	Documento de otro usuario #41852a Viene de de otro grupo	<1%	

Fuente ignorada

Descripciones	Similitudes	Ubicaciones
G07.SISTEMA MECATRÓNICO DE POSICIONAMIENTO ARCO EN C #c11d6e Viene de de mi biblioteca	100%	

Fuente mencionada (sin similitudes detectadas)

N°	Descripciones
1	https://www.autex-open.com/sistemas
2	https://www.todolicitaciones.pe/licitacion/ocds-dgv273-seacev3-2025-200441
3	https://www.comexperu.org.pe/articulo/avance-del-cierre-de-brechas-en
4	https://www.rockwellautomation.com/en-us/company/news/the-journal/basics
5	https://doi.org/10.1002/rcs.34
6	https://doi.org/10.1016/j.rccar.2019.09.009
7	https://www.ipen.gob.pe/index.php/servicios/metrologia-y-dosimetria/control-de
8	https://www.gob.pe/institucion/minsa/informes-publicaciones/5887860-diagnostico
9	https://www.minsa.gob.pe/Recursos/OTRANS/08Proyectos/2022/diagnostico
10	https://www.minsa.gob.pe/Recursos/OTRANS/08Proyectos/2022/Diagnostico
11	https://in.misumi
12	https://medicalmarket.cl/fluoroscopia-arco-en-c-radiografia-tiempo-real/
13	https://doi.org/10.37206/202
14	https://doi.org/10.18502/jimc.v7i2.15047
15	http://www.iaea.org/resources/rpop/resources/international-safety-standards/iaea
16	http://www.iaea.org/es/recursos/proteccion-radiologica-de-los
17	https://webstore.iec.ch/en/publication/2612
18	https://webstore.iec.ch/en/publication/2616
19	https://webstore.iec.ch/en/publication/71504
20	https://www.gob.pe/ipen
21	https://www.iso.org/standard/59752.html
22	https://www.iso.org/standard/72704.html
23	https://visuresolutions.com/es/guía-de-plm/diseño-modular/
24	https://doi.org/10.1007/978-981-97-7117-2_3
25	https://doi.org/10.1186/s43088-025-00618-w
26	https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e318158fd42
27	https://www.gob.pe/minsa
28	https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/undefined/dispositivo/NL/2326729-1
29	https://doi.org/10.30574/wjbphs.2025.21.2.0221
30	https://sgsystemsglobal.com/es/
31	https://sgsystemsglobal.com/es/glosario/iec

N°		Descripciones
32		https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/17868
33		https://doi.org/10.7759/cureus.18566
34		https://rd.udb.edu.sv/server/api/core/bitstreams/42244dc6-107c-49a9-852d
35		https://industrial.omron.es/es/products/programmable-logic-controllers
36		https://socpr.org.pe/revista-vol-23-articulos-enero-septiembre-2024/revista-vol23-nro
37		https://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/potentiometer-position
38		https://www.gob.pe/sineace
39		https://www.electronics-tutorials.ws/systems/closed-loop
40		https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/@ed_protect/@prot

INSTITUTO DE EDUCACIÓN SUPERIOR PRIVADO "IDAT"

PROGRAMA DE ESTUDIOS EN MECATRÓNICA INDUSTRIAL

SISTEMA MECATRÓNICO DE POSICIONAMIENTO DEL ARCO EN C PARA RECONSTRUCCIÓN 3D PARA SALA DE OPERACIONES MÉDICAS

Trabajo de aplicación profesional para obtener el título Profesional Técnico en Mecatrónica Industrial

JUAN CARLOS RAFAEL QUISPE

(0009-0005-7373-9636)

Lima – Perú

2025

Dedicatoria

Dedico el presente Trabajo de Aplicación Profesional, en primer lugar, a Dios, por brindarme salud, fortaleza y perseverancia para culminar esta etapa importante de mi formación profesional. Asimismo, dedico este trabajo a mis padres y familiares, quienes, con su apoyo incondicional, esfuerzo y confianza constante han sido un pilar fundamental a lo largo de mi vida académica y personal.

De manera especial, dedico este proyecto a mis docentes y formadores del Instituto de Educación Superior Privado IDAT, quienes, a través de sus enseñanzas, orientación y compromiso, contribuyeron de manera

significativa al desarrollo de mis competencias en

la carrera de Mecatrónica Industrial y a la

realización del presente trabajo.

2 8 9 10 12 14 14 14 16 18 18 19 20 21 22 24 25 25 25 25 25

3

Índice

Dedicatoria .....

Índice de tablas .....

Índice de figuras .....

Resumen ejecutivo .....

Introducción .....

Capítulo I .....

Generalidades .....

Planteamiento del Problema .....

Justificación del Estudio .....

Antecedentes del Proyecto .....

Institucionales .....

Nacionales .....

Internacionales .....

Normativa y Reglamentación Internacional .....

Normas Técnicas Nacionales .....

Normas Técnicas Internacionales .....

Capítulo II .....

Objetivos y Soluciones .....

Objetivos .....

Objetivo General .....

Objetivos Específicos .....

26 26 27 27 30 31 34 35 42 43 45 45 45 46 48 49 49 50 55 56 57

4

Planteamiento de Soluciones .....

Soluciones Alternativas .....

Solución Elegida y Justificación .....

Ventajas Comparativas .....

Técnicas de Investigación .....

Planificación de Tiempo y Actividades del Proyecto .....

Marco Teórico .....

Marco Conceptual .....

Estado de la Tecnología .....

Teorías, Técnicas y Métodos Usados .....

Capítulo III .....

Memoria Descriptiva .....

Descripción General del proyecto .....

Diseño Mecánico General .....

Diagramas en Bloques del Proyecto .....

Diagrama de flujo del Proyecto .....

Especificación Técnica de Proyecto .....

Especificación Técnica de Componentes .....

Cálculos Previos .....

Consideraciones de Diseño.....

Operaciones de Cálculos .....

57 58 59 60 60 61 62 62 63 63 63 63 64 64 64 64 65 65 65 66 66

5

Sistema Eléctrico .....

Diagramas Eléctricos .....

Suministro de Alimentación .....

Circuito de Fuerza y mando .....

Sistemas Mecánicos .....

Diagramas Mecánicos .....

Sistema Electrónico .....

Diagramas Electrónicos .....

Fuente de Alimentación .....

Circuito de Control .....

Circuito de Potencia .....

Sistema de Software .....

Diagramas de Flujo y/o Bloques .....

Librerías Usadas.....

Firmware y Software .....

Programa Lógico o Datos de Configuración .....

Áreas Transversales de Impactos .....

Ámbito de Seguridad y Salud Ocupacional .....

Ámbito de Conservación del Medio Ambiente .....

Ámbito de Eficiencia Energética .....

Análisis de Costos y Presupuestos .....

66 67 70 70 70 71 72 73 74 74 74 74 75 75 75 75 76 76 76 77

6

Costo de Equipamiento (Hardware y Software) .....

Cálculo de Presupuesto ..... **¡Error! Marcador no definido.**

Resultados .....

Capítulo IV .....

Operación y Mantenimiento .....

Operación .....

Consideraciones de Seguridad para la Operación .....

Manual de Usuario u Operación de Puesta en Servicio .....

Plan de Pruebas Funcionales y Operatividad .....

Fichas, Tablas y/o Hoja de Resultados .....

Proceso de Mantenimiento .....

Organigrama de Mantenimiento .....

Evaluación de Alcance de Mantenimiento .....

Planificación de Mantenimiento .....

Gestión Logística de Mantenimiento.....

Mantenimiento Preventivo .....

Diagrama Gantt de Mantenimiento Preventivo .....

Procedimiento de Mantenimiento Preventivo .....

Materiales, Equipos y Herramientas .....

Ficha de Mantenimiento Preventivo .....

Mantenimiento Correctivo .....

77 77 77 78 79 80 85

7

Procedimiento de Mantenimiento Correctivo .....

Materiales, Equipos y Herramientas .....

Ficha de Mantenimiento Correctivo .....

Conclusiones .....

Recomendaciones .....

Referencias Bibliográficas .....

Anexos .....

8 29 33

Índice de tablas

Tabla 1 Cuadro comparativo de las propuestas de solución .....

Tabla 2 Diagrama de Gantt: Planificación del Tiempo y Actividades del Proyecto ...

9 36 36 37 38 38 39 40 40 41 41

Índice de figuras

Figura 1 Arco en c.....

Figura 2 Pulsadores Start Stop y Parada de emergencia .....

Figura 3 Encoder .....

Figura 4 PLC (Controlador Lógico Programable)) .....

Figura 5 HMI (Interfaz Hombre-Máquina).....

Figura 6 TIA PORTAL .....

Figura 7 CLUTCH .....

Figura 8 MOTORREDUCTOR .....

Figura 9 FINAL DE CARRERA .....

Figura 10 SW SOLID WORKS .....
10

Resumen ejecutivo

El presente Trabajo de Aplicación Profesional tiene como objetivo el diseño e implementación de un sistema mecatrónico de posicionamiento automatizado del arco en C, orientado a la modernización funcional de equipos de fluoroscopia que operan con sistemas de angulación manual. El proyecto se desarrolla en el marco de la carrera de Mecatrónica Industrial del Instituto de Educación Superior Privado IDAT, como requisito para la obtención del título de Profesional Técnico.

El inconveniente tratado proviene de las restricciones del ajuste de manera manual del arco en C, el cual se basa en gran parte en la fuerza física y la destreza del operador, provocando errores de imagen debido a mala, un aumento del tiempo de alineación y potenciales problemas ergonómicos del mismo operador. Ante esta realidad, el proyecto presenta una solución tecnológica que automatiza el movimiento angular, sin requerir una adquisición de otro equipo, lo que constituye una opción técnica y económicamente factible para instituciones sanitarias de escasos recursos.

La solución desarrollada está compuesto por un prototipo funcional que incorpora un motor de corriente continua con reductor, un sistema de transmisión de piñón y cremallera, un codificador incremental como sensor de retroalimentación, un embrague mecánico para desacoplamiento manual y un sistema de control basado en controladores lógicos programables (PLC), además de señalización luminosa y alerta de auditoría. La capacidad del sistema para colocar el mecanismo de manera precisa, constante y confiable se debe a sus principios de control de circuito cerrado.

El proyecto se llevó a cabo en muchos pasos progresivos que incluyeron análisis de problema, diseño de los componentes eléctricos y mecánicos, desarrollo en el sistema de control, simulación de la lógica de operaciones, construir el prototipo y evaluar sus funcionalidades. Los resultados demostraron que el sistema responde con precisión a las

11

instrucciones operativas, gesel arco en C. Esta limitación técnica implica que lostiona situaciones operativas y de emergencia de forma eficaz y satisface los criterios de seguridad y

fiabilidad establecidos.

La continuidad operativa del prototipo está asegurada por los métodos creados para la operación y mantenimiento, que incluyen planes de mantenimiento preventivo y correctivo, documentación técnica y consideraciones de seguridad. Según la investigación de costos, la sugerencia es una opción más rentable para actualizar que comprar equipos de fluoroscopia de última generación.

En conclusión, el proyecto demuestra que la mecatrónica industrial relacionada con la salud puede proporcionar formas novedosas, eficaces y sin riesgos de mejorar la maquinaria médica actual. Esto favorece la optimización del flujo clínico, minimiza el esfuerzo del operador y refuerza la calidad operativa, mientras cumple con los objetivos académicos y formativos del Trabajo de Aplicación Profesional.

12

Introducción

El avance continuo de la tecnología médica exige la integración de tecnologías cada vez más precisas, más seguras y automatizadas en los equipos de diagnóstico por imágenes, con la capacidad de mejorar la calidad clínica de los tratamientos y al mismo tiempo maximizar la ergonomía y la eficiencia del personal sanitario. Para generar soluciones técnicas confiables y de alta calidad, la mecatrónica industrial integra mecánica, electrónica, control y automatización de forma sinérgica.

El siguiente Trabajo de Aplicación Profesional, denominado "Sistema Mecatrónico para el Posicionamiento de Arco en C para la Optimización de Equipos de Fluoroscopia Siemens Arcadis Varic – Lima 2026", Su objetivo es diseñar y construir un sistema mecatrónico que pueda automatizar el movimiento del arco en C de un equipo de fluoroscopia mediante un motor y un sistema de control inteligente. El método actual para realizar estos movimientos se realiza manualmente, lo que puede provocar errores, más tensión física para el tecnólogo médico y dificultades para mantener ángulos constantes durante los tratamientos.

La iniciativa sugiere la instalación de un motorreductor que se conecte mecánicamente al arco en C, formar ángulos de manera competente y precisa tanto en el sentido de las agujas del reloj como en el sentido contrario a las agujas del reloj. En esta configuración, los módulos de control, seguridad y comunicación serán supervisados por un controlador lógico

programable (PLC). Además, viene con una pantalla de interfaz hombre-máquina que permite al operador ver la angulación actual en tiempo real, programar la angulación deseada, elegir entre ángulos almacenados o predeterminados y elegir entre controlado manualmente, automáticamente o virtualmente.

13

El sistema incluirá un codificador para proporcionar un control preciso de los movimientos enviando continuamente información al controlador sobre el desplazamiento y la posición angular alcanzada; esto asegurará que el posicionamiento sea preciso y confiable. Para garantizar aún más la confiabilidad operativa y brindar respaldo en caso de fallas en las mediciones, se utilizará un potenciómetro como sensor de posición absoluta. Se utilizará una correa de distribución eficaz y de bajo mantenimiento para transferir el movimiento del motor al brazo en C, asegurando una sincronización mecánica adecuada. De manera similar, se configurará un embrague mecánico para permitir la conexión y desconexión del motor, brindando al tecnólogo médico la capacidad de cambiar entre control manual y automatizado según sea necesario.

En resumen, el propósito de esta propuesta es aplicar lo aprendido como Técnico Profesional en Mecatrónica Industrial al problema de actualizar los equipos de fluoroscopia para que puedan posicionar mejor a los pacientes, mantener seguros a los operadores y completar los procedimientos clínicos de manera más eficiente. Mi objetivo es tener esta solución lista para las demandas regulatorias y tecnológicas del sector salud para el año 2026.

14

Capítulo I

Generalidades

Planteamiento del Problema

Los sistemas de fluoroscopia con arco en C son instrumentos esenciales en procedimientos clínicos e intervencionistas porque proporcionan imágenes en tiempo real durante el diagnóstico y la terapia. Sin embargo, varios estudios han demostrado que las limitaciones mecánicas y de diseño que dificultan la colocación precisa del arco en C sin instrumentación asistida, así como el posicionamiento repetitivo del instrumento, pueden afectar directamente la eficiencia y precisión de los procedimientos quirúrgicos. Debido a

esto, los pacientes están expuestos a más radiación de la necesaria y la cirugía lleva más tiempo (Gharib et al., 2023).

Estudios técnicos sobre el uso de arcos en C han reportado que aspectos físicos y mecánicos del equipo, como el tamaño y forma de la base, la apertura de arco o la dificultad en la maniobra del sistema durante los procedimientos, pueden interferir con la eficacia del posicionamiento intraoperatorio y con la seguridad del personal clínico y del paciente. La falta de asistencias automatizadas obliga al operador a realizar ajustes manuales repetitivos que pueden aumentar errores y tiempos improductivos (Gharib et al., 2023).

Según una investigación publicada en bases de datos médicas de EE. UU., se necesitan varias fotografías de referencia para la alineación tradicional del arco en C sin soporte, esto alarga el proceso y requiere más dosis de radiación para lograr la ubicación anatómica objetivo. Debido a esto, la eficiencia clínica se ve afectada y los pacientes y los trabajadores de la salud corren el peligro de sufrir una exposición innecesaria (Matthews et al., 2007).

15

En países de América Latina, los protocolos técnicos y de control de calidad para equipos de radiodiagnóstico con fluoroscopia han reportado que los equipos tradicionales dependen aún de la intervención manual para su posicionamiento, careciendo de mecanismos automatizados que aseguren repetibilidad y precisión del arco en C. Esto representa un reto tanto para el personal técnico como médico, dada la importancia de imágenes reproducibles y exactas en procedimientos clínicos (Protocolos de QC para equipos de rx con fluoroscopia, s. f.).

En el contexto peruano, instituciones de salud enfrentan la necesidad de modernizar sus equipos de fluoroscopia para mejorar el flujo de trabajo clínico. La ausencia de dispositivos que integren automatización en la angulación y posicionamiento del arco en C reduce la competitividad tecnológica del sistema de diagnóstico por imagen frente a otras naciones, lo que puede traducirse en menor calidad diagnóstica y mayores exigencias fisiológicas para el personal operador (Podestá Legonía, 2025).

En Lima, donde existe un creciente número de centros especializados en diagnóstico por imágenes que utilizan equipos como el Siemens Arcadis Varic, persiste el problema de posicionamiento manual del eje orbital del arco en C. Esta limitación técnica implica que los

tecnólogos deben realizar movimientos repetitivos y para lograr los ángulos deseados, elevando el riesgo de errores en las adquisiciones de imagen, aumentando el tiempo de procedimiento, mal resultado clínico y exposición a radiación innecesaria. Esta problemática subraya la necesidad de desarrollar un sistema mecatrónico de posicionamiento automatizado que mejore la eficiencia del operador, reduzca la carga física del operador garantice una mayor precisión diagnóstica y el tiempo de radiación sea reducida.

Justificación del Estudio

La presente investigación se justifica desde el punto de vista tecnológico, operativo, académico y social, porque son necesarias soluciones mecatrónicas que combinen automatización, control y precisión para maximizar la eficiencia de los equipos de fluoroscopia con arco en C. En la actualidad, muchos equipos de fluoroscopia, como el Siemens Arcadis Varic, sus soluciones de posicionamiento manual hacen que el proceso de diagnóstico sea menos eficiente y preciso, hacen que el tecnólogo médico trabaje más y restringen la repetibilidad de los ángulos. En lugar de sustituir el equipo por completo, se podrá mejorar su funcionamiento con un sistema de posicionamiento automático mecatrónico, que prolongará su vida útil y mejorará su rendimiento.

Desde la justificación técnica, la investigación recomienda un motorreductor, codificadores de posición, componentes de transmisión mecánica y un sistema de control basado en PLC, un transductor de señales, para posicionar de manera confiable y precisa el arco en C, que es un aspecto importante del estudio. Para mejorar la seguridad y confiabilidad del sistema, mientras que el uso de un clutch proporciona redundancia en caso de emergencia al permitirle cambiar entre control manual y movimiento controlado. En lugar de utilizar mecanismos de ajuste manual anticuados, este enfoque está enfocado en mejoras tecnológicas.

Desde la justificación operativa y clínica, el proyecto ayuda a a agilizar los tratamientos de fluoroscopia al reducir el tiempo de colocación del equipo, ajustarlo con menos frecuencia y exponer a los pacientes a menos radiación. La mejora de la calidad del diagnóstico y la seguridad del personal y del paciente son resultados del uso de ángulos preestablecidos y control de angulación automatizado, lo que también aumenta la

17

repetibilidad del estudio, disminuye la fatiga del operador y produce imágenes más consistentes.

En el ámbito económico, el estudio se justifica porque ofrece una alternativa práctica y más asequible para comprar equipos de fluoroscopia nuevos y de última generación. La mejora y actualización de equipos existentes mediante soluciones mecatrónicas permite mejorar su infraestructura tecnológica sin incurrir en gastos sustanciales, es una solución económica para instituciones de salud que cuentan con recursos limitados.

Desde la justificación académica, este proyecto brinda una excelente oportunidad para poner en práctica todo lo que se aprende en un plan de estudios de Ing Mecatrónica Industrial, que incluye temas como diseño mecánico, programación de PLC, sensores/actuadores, control automatizado y electrónica. De manera similar, la iniciativa es una contribución que puede allanar el camino para futuras investigaciones sobre la automatización en el ámbito biomédico.

Finalmente, desde la justificación social, el desarrollo de este sistema mecatrónico ayuda indirectamente a mejorar la calidad del servicio al permitir un diagnóstico más rápido y acertado. La optimización del uso de equipos de fluoroscopia en Lima y en el contexto peruano fortalece la capacidad tecnológica del sistema de salud y promueve la incorporación de la ingeniería mecatrónica como una herramienta clave para el progreso del sector biomédico y hospitalario.

18

Antecedentes del Proyecto

Institucionales

Proyecto de Modernización de Equipos de Rayos X en Clínica Perú.

En 2025 se desarrolló un proyecto en la Clínica Ricardo Palma para implementar y optimizar equipos digitales de rayos X, lo que mejoró la calidad diagnóstica, redujo los tiempos de adquisición de imágenes y elevó la disponibilidad técnica de los equipos, evidenciando beneficios de modernización tecnológica en diagnóstico por imagen (Podestá Legonía, 2025).

Plan de Equipamiento de Establecimientos de Salud 2024-2026 (MINSA).

El MINSA elaboró un Plan de Equipamiento orientado a fortalecer los servicios de

diagnóstico por imágenes, incluido el equipamiento para radiografía y fluoroscopia digital, como parte de la estrategia para mejorar la atención en salud a nivel nacional *(insnsb.gob.pe, 2024)*

Diagnóstico de Brechas en Infraestructura y Equipamiento – Sector Salud.

El Ministerio de Salud identificó brechas importantes en la infraestructura y equipamiento de establecimientos de salud, lo que evidencia la necesidad de fortalecer la capacidad instalada para cumplir con las exigencias de atención de servicios diagnósticos *(Diagnostico-Infraestructura-Sector-Salud-2024-2026.pdf, s. f.).*

Indicadores de Equipamiento Inadecuado en Hospitales del Perú.

Reportes oficiales del MINSA señalan que un porcentaje significativo de hospitales y centros de salud del país aún tiene capacidad instalada y equipamiento inadecuado según

estándares técnicos, lo que afecta la calidad de servicios diagnósticos, incluidos los equipos de fluoroscopia *(diagnostico-brechas-infraestrucctura-sector-salud-2022.pdf, s. f.).*

Adquisición de Equipos de Radiografía y Fluoroscopía en Hospitales Regionales.

En Perú, licitaciones públicas recientes muestran procesos de adquisición de equipos digitales de radiografía y fluoroscopia para hospitales regionales, lo que evidencia la política pública orientada a modernizar equipamiento médico con tecnologías más avanzadas *(adquisición de equipo de rayos x estacionario radiografía fluoroscopia digital para el servicio de diagnóstico por imágenes del hospital regional Lambayeque IOARR - CUI N° 2542065, s. f.)*

Nacionales

Modernización Tecnológica de Radiología en Perú.

La modernización de departamentos de radiología es considerada una necesidad para mejorar la calidad y eficiencia del diagnóstico por imagen, impulsando la adquisición de tecnologías digitales y sistemas avanzados(Revista *Vol 23 Nro 1 Editorial, 2024)*

Control de Calidad de Equipos de Rayos X y Fluoroscopía.

El Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) promueve protocolos de control de calidad para equipos de rayos X, incluyendo la fluoroscopia, lo cual refuerza la importancia de mantener estándares técnicos y seguridad en la operación de estos equipos(Control *de*

Calidad de Equipos de Rayos X, s. f.)

20

Brechas de Infraestructura Sanitaria y Acceso a Servicios de Salud.

El análisis oficial de brechas en servicio de salud revela deficiencias en infraestructura y equipamiento en múltiples regiones del país, influyendo negativamente en la capacidad de diagnóstico oportuno mediante tecnologías como fluoroscopia (Diagnóstico *de la Situación de Brechas de infraestructura o de acceso a servicios del Sector Salud 2026-2028,* s. f.)

3

Estrategias Nacionales para Cerrar Brechas en Servicios de Salud.

Informes del gobierno peruano destacan la necesidad de fortalecer equipamiento clínico y diagnóstico en todo el país para mejorar la atención de salud, incluyendo diagnóstico por imágenes, como parte del cierre de brechas que afectan la calidad de atención(Avance *del cierre de brechas en infraestructura del sector salud,* s. f.)

Estudios de Niveles de Referencia para Procedimientos de Rayos X.

Investigaciones publicadas en plataformas internacionales analizan los parámetros de técnicas radiológicas (kV, mAs, tipo de máquina), destacando la importancia de estándares globales en el uso de equipos diagnósticos como la fluoroscopia(Portocarrero Bonifaz et al., s. f.).

Internacionales

Control de Calidad y Aceptación de Equipos de Imagen Médica (AAPM).

El American Association of Physicists in Medicine (AAPM) publicó guías y recomendaciones para la prueba de aceptación y control de calidad de sistemas de radiografía digital, lo cual incluye parámetros relevantes para equipos de diagnóstico por imágenes avanzadas (Gauntt et al., 2024)

21

Protocolos Internacionales de Control de Calidad en Radiodiagnóstico (AIEA).

La Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) ha desarrollado protocolos de control de calidad para radiodiagnóstico, que incluyen pruebas para equipos como fluoroscopia, con el fin de garantizar seguridad y calidad a nivel global (IAEA-TECDOC-*1958,* s. f.)

Calidad de Control de Equipos de Fluoroscopia Internacionalmente.

Estudios científicos han demostrado que los procedimientos de control de calidad para

equipos de fluoroscopia son esenciales para garantizar la seguridad y eficiencia de los procedimientos diagnósticos en un contexto clínico global(Castrillón-Giraldo et al., 2020)

Modernización de Departamentos de Radiología a Nivel Mundial.

Publicaciones del Organismo Internacional de Energía Atómica documentan la importancia de la implementación de técnicas avanzadas de imagen y radiografía digital en centros de salud, como parte de la modernización del diagnóstico por imagen a nivel global(IAEA, 2015).

Normativa y Reglamentación Internacional

IAEA – Protección radiológica para fluoroscopia.

La Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) publica directrices para el uso seguro de equipos de fluoroscopia en procedimientos médicos relacionados con la seguridad radiológica. En estas recomendaciones se destaca la importancia del control de la dosis y la seguridad del operador y del paciente. (IAEA, 2022)

22

IAEA – Normas de seguridad radiológica internacionales.

El OIEA establece directrices para la seguridad de las fuentes de radiación y la protección de los dispositivos médicos y equipos de diagnóstico por imágenes contra las radiaciones ionizantes (wcms_154389.pdf, s. f.).

IAEA – Estándares internacionales de seguridad y exposición médica.

La IAEA establece normas mundiales para niveles de referencia de diagnóstico y exposiciones médicas para el uso de imágenes guiadas por rayos X (IAEA, 2017).

IEC 60601-2-43 – Estándar internacional para equipos de rayos X intervencionistas.

Esta norma de la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) define los estándares mínimos para la seguridad y el rendimiento de los equipos de rayos X utilizados en fluoroscopia y otros procedimientos intervencionistas (IEC *60601-2-43,* s. f.)

ISO 14971:2019 – Gestión de riesgos para dispositivos médicos.

La Organización Internacional de Normalización (ISO) establece un estándar mundial para la gestión de riesgos de dispositivos médicos, que es fundamental para introducir avances técnicos seguros en los equipos médicos (ISO *14971,* s. f.-a).

Normas Técnicas Nacionales

El Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN).

Regula el uso de radiaciones ionizantes en el país y establece requisitos de control de calidad, operación segura y mantenimiento de equipos de rayos X y fluoroscopia, lo que

23

justifica la necesidad de sistemas que mejoren la precisión operativa y reduzcan riesgos radiológicos(Instituto *Peruano de Energía Nuclear - IPEN,* 2025).

El Ministerio de Salud del Perú (MINSA)

Mediante normas técnicas y planes de equipamiento, apoya el uso de tecnología de automatización y la actualización funcional de los equipos médicos actuales en un esfuerzo por mejorar la calidad del diagnóstico por imágene (Ministerio *de Salud - MINSA,* 2025).

La Norma Técnica de Salud para Radiodiagnóstico (NTS 113-MINSA/2018/DIGESA)

Establece disposiciones para la operación segura de equipos radiológicos, destacando la importancia del manejo seguro del equipo y minimizando los peligros potenciales en el lugar de trabajo (Norma *Técnica de Salud NTS N° 113-MINSA/DGIEM-V.01 MINSA - SALUD,* s. f.).

5

El Sistema Nacional de Evaluación, Acreditación y Certificación de la Calidad Educativa (SINEACE).

Promueve la aplicación de proyectos tecnológicos alineados con necesidades reales del sector productivo y de salud, respaldando el desarrollo de soluciones mecatrónicas aplicadas al ámbito biomédico(Sistema *Nacional de Evaluación, Acreditación y Certificación de la Calidad Educativa - SINEACE,* 2024).

24

El Reglamento de Seguridad y Salud en el Trabajo (DS N.° 005-2012-TR)

Establece la obligación de reducir riesgos ergonómicos y físicos en los puestos de trabajo, lo cual se relaciona directamente con la automatización de movimientos repetitivos en equipos médicos operados manualmente(Petrosino, s. f.)

Normas Técnicas Internacionales

La IEC 60601-1 establece los requisitos generales de seguridad básica y funcionamiento esencial de los equipos electromédicos, siendo aplicable a sistemas de

fluoroscopia que integren motores, sensores, PLC y HMI(IEC *60601-1,* s. f.).

La IEC 60601-2-43 especifica los requisitos particulares de seguridad para equipos de fluoroscopia, regulando aspectos relacionados con control de movimiento, posicionamiento y protección radiológica(IEC *60601-2-1,* s. f.).

La ISO 13485 define los requisitos para sistemas de gestión de calidad en dispositivos médicos, aplicable al diseño, modificación y mejora de equipos médicos mediante soluciones mecatrónicas(ISO *13485,* s. f.).

La ISO 14971 establece el proceso de gestión de riesgos para dispositivos médicos, siendo fundamental para evaluar riesgos asociados a la automatización del posicionamiento del arco en C(ISO *14971,* s. f.-b)

La IEC 61508, relacionada con la seguridad funcional de sistemas eléctricos, electrónicos y programables, respalda el uso de PLC y sistemas de control confiables en aplicaciones críticas como equipos médicos(Microsoft *PowerPoint - IEC 61508 & Functional Safety-2022.pptx,* s. f.).

25

Capítulo II

Objetivos y Soluciones

Objetivos

Objetivo General

Diseñar un sistema mecatrónico de posicionamiento del arco en c para reconstrucción 3D para sala de operaciones médicas, a partir de la automatización de angulación controlada.

Objetivos Específicos

OE1: Diseñar el sistema mecánico y de transmisión, integrando motorreductor, sistema piñon cremallera y un clutch, que permita el movimiento controlado de angulación del arco en C en sentido horario y antihorario.

OE2: Elaborar los esquemas de conexiones eléctricas de sistema posicionamiento de arco en c para reconstrucción 3D para sala de operaciones médicas

OE3. Desarrollar la programación del sistema de control basado en un PLC para el accionamiento de un motor en un arco en C, para detectar atascos mecánicos y garantiza una operación segura del sistema.

OE4: Desarrollar una interfaz HMI para el posicionamiento automatizado del arco en C en equipos de fluoroscopia, que permita la visualización de la angulación actual, angulación deseada, ajustes y configuración de parámetros varios del sistema además de una ventana de alertas del sistema.

26

Planteamiento de Soluciones

Soluciones Alternativas

Alternativa 1: Mantenimiento y optimización del sistema manual existente

Esta alternativa consiste en realizar ajustes mecánicos, lubricación, calibración y al sistema manual de posicionamiento del arco en C, sin incorporar automatización. Si bien esta opción representa un bajo costo inicial, no resuelve las limitaciones relacionadas con la precisión angular, la repetibilidad de los movimientos ni la carga física del operador, manteniendo la dependencia total del factor humano.

Alternativa 2: Sustitución del equipo de fluoroscopia por uno de nueva generación

La segunda alternativa contempla la adquisición de un equipo de fluoroscopia moderno con sistemas de posicionamiento automatizados integrados desde la misma fábrica. A pesar de que la solución garantiza una alta tecnología, muchas instituciones de salud no pueden adquirirlo debido a los largos períodos de implementación, los extensos procedimientos de capacitación y la capacitación de uso que requiere.

Alternativa 3: Diseño de un sistema mecatrónico de posicionamiento automatizado

Alternativamente, puede automatizar la angulación del arco C construyendo un modelo mecatrónico con un motor conectado a engranajes, sensores de posición y un sistema de control PLC/HMI. El sistema está diseñado para integrarse fácilmente con equipos existentes debido a su construcción modular. Esto nos permite demostrar que la automatización es técnicamente posible sin tener que modificar la estructura primaria del equipo de fluoroscopia y afectar su función principal.

27

Solución Elegida y Justificación

La solución elegida es crear un modelo de sistema mecatrónico que pueda posicionar automáticamente el brazo en C, ya que esto logra la mejor combinación de tecnología de punta, practicidad y asequibilidad. Sin interferir con un equipo clínico operativo, esta técnica

certifica el funcionamiento del sistema, lo que simplifica la revisión del desempeño del sistema y reduce el riesgo.

Así como a través de la construcción del prototipo se pueden satisfacer los criterios académicos del Trabajo de Aplicación Profesional, también se pueden aplicar íntegramente los conocimientos de electrónica, control, automatización, mecánica y la especialización de Mecatrónica Industrial. Además, la solución elegida es escalable, cumple con todos los requisitos técnicos y de seguridad aplicables y tiene posibilidad de mejoras futuras.

Ventajas Comparativas

Durante su desarrollo se muestran los impactos técnicos, operativos y económicos del prototipo del sistema de posicionamiento mecatrónico con brazo en C, que ofrece una serie de ventajas sobre las posibilidades de tecnología alternativa, así como los sistemas de posicionamiento manual estándar.

Para empezar, el ajuste del brazo en ángulo C será más preciso y repetible gracias a los sensores de posición (un codificador y un potenciómetro) que utiliza el sistema sugerido. Estos sensores proporcionan un control de movimiento más exacto que el sentido y la experiencia del operador en el ajuste manual convencional.

De manera similar, el técnico médico puede automatizar su angulación con la ayuda del prototipo, lo que reduce en gran medida la tensión en su cuerpo y la necesidad de actividades ergonómicas. El operador personal se cansa menos incluso durante procedimientos prolongados y, en general, sus condiciones de trabajo son mejores.

La flexibilidad operativa del sistema es otro beneficio importante, gracias a la inclusión de un embrague mecánico, que permite la transición entre el control automatizado asistido por motor y el control manual. Incluso si el sistema automatizado falla o si no se siguen ciertos procedimientos, esta característica garantizará que las operaciones continúen de forma ininterrumpida y segura.

Desde el punto de vista económico, el prototipo representa una alternativa de bajo costo frente a la adquisición de equipos de fluoroscopia de última generación, ya que plantea la mejora funcional de equipos existentes mediante el diseño e instalación de un módulo mecatrónico adaptable, optimizando la inversión institucional en ese rubro.

Adicionalmente, el uso de una interfaz HMI brinda una ventaja comparativa al permitir la visualización en tiempo real de la angulación actual, la programación de ángulos deseados y la selección de modos de operación, mejorando la interacción hombre-máquina y reduciendo la probabilidad de errores de ejecución del proceso de angulación.

Finalmente, el desarrollo del prototipo constituye una solución escalable y replicable, que puede ser adaptada a otros modelos de arcos en C, sirviendo como base para futuras implementaciones clínicas y aportes tecnológicos en el ámbito de la ingeniería mecatrónica e ingeniería biomédica aplicada al sector salud.

Tabla 1 Cuadro comparativo de las propuestas de solución

Criterio de Evaluación

Alternativa 1 Mantenimiento y optimización del sistema manual

Alternativa 2 Sustitución por equipo de nueva generación

Alternativa 3 Sistema mecatrónico automatizado (Prototipo)

Nivel de automatización

Nulo. Operación completamente manual

Alto. Automatización integrada de fábrica

Medio–alto. Automatización parcial mediante módulo externo

Precisión angular Baja. Dependiente del operador

Muy alta. Control automatizado

Alta. Control en lazo cerrado con sensores

Repetibilidad de movimientos Baja Muy alta Alta

Esfuerzo físico del operador Alto Bajo Bajo

Ergonomía Limitada Óptima Mejorada

Seguridad operativa Básica Alta, integrada

Alta, con protecciones eléctricas, lógicas y mecánicas

Continuidad operativa ante fallas Limitada Dependiente del fabricante

Alta, gracias al clutch y modo manual

Flexibilidad operativa Baja Baja Alta

Adaptabilidad a equipos existentes

Total, sin mejoras funcionales No aplicable Alta, módulo adaptable

Costo de implementación Bajo Muy alto Medio

Tiempo de implementación Corto Largo Medio

Requerimiento de capacitación Bajo Alto Medio

Impacto tecnológico Bajo Muy alto Alto

Escalabilidad y replicabilidad No escalable Limitada al fabricante Alta

Cumplimiento de objetivos académicos Bajo Bajo Alto

Viabilidad para instituciones con recursos limitados

Media Baja Alta

30

Técnicas de Investigación

Para el desarrollo del estudio, Trabajo de Aplicación Profesional se emplearán técnicas de investigación aplicadas, descriptivas y tecnológicas, orientadas a sustentar el diseño y desarrollo del prototipo del sistema mecatrónico de posicionamiento del arco en C.

En primer lugar, se utilizará la investigación documental, mediante la revisión de normas técnicas, manuales de fabricantes, artículos científicos, tesis académicas y reglamentaciones nacionales e internacionales relacionadas con equipos de fluoroscopia, automatización industrial, sistemas de control y mecatrónica aplicada al sector biomédico. Esta técnica permite establecer el marco regulatorio y teórico que sustenta el diseño del sistema propuesto.

De manera similar, el actual sistema de posicionamiento manual de arco en C se examinará mediante una investigación descriptiva para determinar sus limitaciones tecnológicas, operativas y ergonómicas. Este método facilitará la especificación de las necesidades funcionales del prototipo y la búsqueda de las piezas que se utilizarán para fabricarlo.

Además, el sistema mecatrónico sugerido se construirá, integrará y probará en un entorno controlado mediante el uso de investigación experimental a nivel de prototipo. De lo que se tratan las pruebas funcionales es de comprobar el funcionamiento del sistema de control, la precisión del posicionamiento y la interacción de los componentes mecánicos, eléctricos y de control.

31

Por último, al armar el prototipo y probarlo, utilizaremos la observación técnica directa para documentar el rendimiento del sistema, encontrar áreas de mejora y confirmar que hemos cumplido todos nuestros objetivos.

Planificación de Tiempo y Actividades del Proyecto

La planificación de tiempo y actividades del presente proyecto de Aplicación Profesional se ha estructurado de manera ordenada, con el objetivo de garantizar el desarrollo adecuado de este prototipo del sistema de posicionamiento automático de arco en C durante todo el ciclo de vida del proyecto, desde el análisis preliminar hasta la documentación final. El alcance académico del proyecto dicta el enfoque práctico y pragmático que se considera durante la planificación.

Fase 1: Análisis y recopilación de información

En esta fase se realiza el proceso de realización de una revisión bibliográfica y documental perteneciente a equipos de fluoroscopia, sistemas de posicionamiento de arco en C, automatización industrial, sensores y actuadores. De igual forma se determinan las necesidades funcionales y técnicas del prototipo y se estudian las normas y reglamentos técnicos adecuados. Esta fase ayuda a articular el tema y proporciona la base para las ideas del proyecto.

Fase 2: Diseño del sistema mecatrónico

Esta fase comprende el diseño conceptual y funcional del prototipo. Se desarrollan los esquemas del sistema mecánico de transmisión (motorreductor, cremallera y clutch), el diseño del sistema de control que depende de controladores lógicos programables (PLC), así como el diseño del sistema eléctrico y electrónico. También hay una especificación de la lógica general del sistema y la estructura de la interfaz HMI.

Fase 3: Desarrollo y ensamblaje del prototipo

En esta etapa se procede al montaje del prototipo, combinando las piezas eléctricas, mecánicas y electrónicas elegidas. Además de desarrollar los paneles HMI para controlar y visualizar la angulación, también se completa el cableado del sistema, la instalación del PLC, sensores y actuadores.

Fase 4: Pruebas funcionales y validación

Durante esta fase se ejecutan pruebas funcionales del prototipo en un entorno

controlado, asegurándose de que el motor esté funcionando bien, que los sensores de posición estén leyendo correctamente, que el sistema de control esté respondiendo como se esperaba y que tanto el modo manual como el automático estén operativos. Los datos que recopilamos nos permiten concentrarnos en los ajustes y mejoras específicos que el sistema necesita para funcionar sin problemas.

Fase 5: Análisis de resultados y documentación final

Finalmente, se analizan los resultados obtenidos en las pruebas del prototipo, evaluando el cumplimiento de los objetivos propuestos. Se elaboran conclusiones, recomendaciones y se desarrolla la documentación técnica y académica del Trabajo de Aplicación Profesional, incluyendo planos, diagramas, programas y el informe final.

33

Tabla 2 Diagrama de Gantt: Planificación del Tiempo y Actividades del Proyecto

Fase / Actividad Semana 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16

FASE 1: Análisis y recopilación de información

■ ■ ■ ■

Revisión bibliográfica y normativa ■ ■ ■

Definición de requerimientos del prototipo ■ ■ ■

FASE 2: Diseño del sistema mecatrónico ■ ■ ■ ■

Diseño mecánico (motor, cremallera, clutch) ■ ■

Diseño eléctrico y electrónico ■ ■

Arquitectura de control (PLC y HMI) ■ ■

FASE 3: Desarrollo y ensamblaje del prototipo

■ ■ ■ ■

Montaje mecánico del prototipo ■ ■

Cableado eléctrico y electrónico ■ ■

Programación inicial del PLC y HMI ■ ■

FASE 4: Pruebas funcionales y validación ■ ■ ■

Pruebas de operación y seguridad ■ ■

Ajustes y mejoras del sistema ■ ■

FASE 5: Análisis de resultados y documentación final

■ ■ ■ ■ ■

Análisis de resultados ■ ■

Redacción del informe final ■ ■ ■

Revisión final y presentación ■ ■

34

Marco Teórico

El marco teórico del presente Trabajo de Aplicación Profesional se fundamenta en los principios de la mecatrónica industrial aplicada a equipos biomédicos, específicamente en sistemas de fluoroscopia con arco en C. Combina ideas de estándares de seguridad electromédicos, sensores, interfaces hombre-máquina, automatización y control de movimiento para hacer que la colocación del arco en C sea más ergonómica, precisa y repetible durante las operaciones clínicas.

Para maximizar la precisión del diagnóstico, disminuir la imprevisibilidad operativa y disminuir la exposición radiológica innecesaria, la automatización del movimiento en los equipos de imágenes médicas se ha convertido en un avance técnico importante. Según muchos estudios, los equipos de fluoroscopia que utilizan sistemas motorizados y controlados electrónicamente mejoran la precisión de la captura de imágenes y reducen el esfuerzo físico del operador, especialmente durante operaciones prolongadas o repetidas. (Binder et al., 2005)

Actuadores, sensores, elementos de transmisión mecánica, controladores programables y sistemas de control de movimiento electromecánicos de tipo cerrado participan en la colocación automática de un arco en C por parte de la ingeniería mecatrónica. Al utilizar enfoques de control que garantizan una respuesta precisa, constante y repetible a los comandos de posición angular, esta estrategia le permite superar las limitaciones del ajuste manual tradicional (Mahbub et al., 2024).

35

De igual forma, normas técnicas a nivel nacional e internacional rigen la gestión de riesgos, desempeño crítico y seguridad en equipos electromédicos, dando credibilidad al

marco teórico. Por el bien del paciente, el operador y el equipo, así como para garantizar que el desarrollo planificado sea técnicamente relevante, estas leyes establecen requisitos básicos para el diseño de sistemas automatizados en entornos clínicos.

Marco Conceptual

El marco conceptual define los principales conceptos técnicos que facilitan la comprensión de los componentes del proyecto respaldando el diseño y programación del sistema mecatrónico de posicionamiento del brazo en C.

Sistema mecatrónico

Un sistema mecatrónico es el proceso de creación de sistemas automatizados e inteligentes mediante el uso coordinado de componentes mecánicos, eléctricos, de control y de software. Mechatronics proporciona soluciones de control de vanguardia para la industria biomédica, que a su vez mejoran la precisión, confiabilidad y seguridad de los equipos médicos (Martins et al., 2025).

Arco en C

El arco en C es una parte vital de las máquinas de fluoroscopia que mantiene el tubo de rayos X y el detector en su lugar, permitiéndoles girar alrededor del paciente para obtener una variedad de perspectivas de imágenes. Tanto la precisión diagnóstica como la eficiencia clínica dependen de su ubicación exacta (Fluoroscopía *y Arco en C,* 2025)

Figura 1 Arco en c

Control de posición angular

El control de posición angular corresponde a un tipo de control de movimiento cuyo objetivo es llevar un eje o mecanismo a una posición específica y mantenerlo estable. Los sistemas automatizados logran este control con la ayuda de controladores programables y sensores de retroalimentación, que garantizan precisión y consistencia (Ajewole et al., 2025)

Figura 2 Pulsadores Start Stop y Parada de emergencia

37

Encoder

El encoder es un sensor de posición que mide desplazamientos lineales o angulares convirtiendo el movimiento mecánico en impulsos eléctricos digitales. En los sistemas de control cerrados, es crucial obtener una retroalimentación precisa del movimiento (Basics *of Encoders for Motion Systems | Rockwell Automation | US,* s. f.)

Figura 3 Encoder

PLC (Controlador Lógico Programable)

El PLC es un dispositivo industrial diseñado para controlar procesos automáticos mediante la ejecución de programas lógicos. Su robustez, confiabilidad y capacidad de integración lo hacen adecuado para aplicaciones en entornos médicos, siempre que se respeten las normativas de seguridad correspondientes (¿Que *es un PLC?,* s. f.)

38

Figura 4 PLC (Controlador Lógico Programable))

HMI (Interfaz Hombre-Máquina)

La HMI permite la interacción entre el operador y el sistema automatizado,

facilitando la visualización de variables de proceso, la configuración de parámetros y el control del sistema. En equipos médicos, una HMI bien diseñada mejora la seguridad operativa y reduce errores humanos (admin, 2024)

Figura 5 HMI (Interfaz Hombre-Máquina)

TIA PORTAL

El software Totally Integrated Automation Portal (TIA Portal) es una plataforma/herramienta creada por Siemens que une en un solo entorno la configuración, programación, y diagnóstico de sistemas de automatización industrial. Esta herramienta posibilita el desarrollo de sistemas que integran control lógico programable (PLC), motores, interfaces hombre-máquina (HMI) y comunicación industrial, promoviendo la uniformidad y estandarización de sistemas eléctricos y mecatrónicos.

Figura 6 TIA PORTAL

CLUTCH

Un embrague o clutch es un componente mecánico que tiene como tarea unir y separar la transmisión de potencia entre dos partes giratorias, así facilita que el movimiento y el par producido por un motor sean transmitidos o detenidos de forma controlada hacia una carga. Su uso es integral para los sistemas que necesitan seguridad mecánica, flexibilidad

operativa, opción de operación manual y conectividad a sistemas automatizados.

40

Figura 7 CLUTCH

MOTORREDUCTOR

Un motorreductor combina una transmisión por engranajes (reductor) con un motor de corriente continua (motor DC). Para aplicaciones que requieren un movimiento cuidadosamente regulado, su uso principal es reducir la alta velocidad del motor mientras se amplifica el par (fuerza).

Figura 8 MOTORREDUCTOR

41

FINAL DE CARRERA

Un final de carrera, o sensor de contacto o limit switch, es un interruptor que se coloca en puntos precisos a lo largo del recorrido de una parte en movimiento para saber dónde está esa parte. En términos simples, es un dispositivo que nos permite determinar una ubicación específica de cualquier objeto en movimiento, como, por ejemplo; una ventana, una puerta, un ascensor, cuando un objeto alcanza el final de una cinta transportadora o para

verificar si un pistón de un cilindro está dentro o fuera.

Figura 9 FINAL DE CARRERA

Figura 10 SW SOLID WORKS

SolidWorks es un programa de diseño por computadora (CAD) en 3D, usado principalmente para modelar componentes, conjuntos y dibujos técnicos en ingeniería mecánica y diseño industrial. Permite diseñar, simular, validar y administrar productos, posibilitando que los ingenieros observen y experimenten con los diseños de manera virtual antes de producirlos, lo que disminuye gastos y plazos de desarrollo

Estado de la Tecnología

El estado actual de la tecnología en equipos de fluoroscopia evidencia una clara evolución hacia sistemas automatizados de posicionamiento, control digital del movimiento y reducción de la dependencia de la operación manual. Los equipos de fluoroscopia de última generación incorporan motores eléctricos, sistemas de control electrónico y software avanzado que permiten posicionamientos precisos y reproducibles del arco en C. Fabricantes líderes como Siemens Healthineers, Philips y GE Healthcare han integrado en sus modelos más recientes sistemas motorizados de posicionamiento y control asistido por software, orientados a optimizar el flujo de trabajo clínico y reducir la exposición radiológica. Estos sistemas permiten almacenar posiciones predefinidas, realizar movimientos suaves y controlados, y mejorar la ergonomía del operador (Fluoroscopy *Equipment Market - Share, Size & Industry Analysis,* 2025)

No obstante, una gran cantidad de instituciones de salud, especialmente en países en desarrollo, continúan utilizando equipos de fluoroscopia con sistemas de posicionamiento manual debido a limitaciones presupuestales. Esta brecha tecnológica ha motivado el desarrollo de soluciones de modernización y retrofit, que buscan incorporar automatización a

equipos existentes sin necesidad de reemplazarlos completamente (Nivedita Radder et al., 2025)

Desde el enfoque normativo, el estado de la tecnología está respaldado por estándares internacionales como la IEC 60601-1 y la IEC 60601-2-43, que regulan la seguridad eléctrica, el desempeño esencial y los sistemas de control de movimiento en equipos electromédicos. Estas normas permiten la implementación de sistemas motorizados siempre que se garantice la seguridad funcional y la gestión adecuada de riesgos (Norma *IEC 60601 para equipos electromédicos,* s. f.)

En este contexto, el desarrollo de un prototipo mecatrónico de posicionamiento automatizado del arco en C se alinea con las tendencias tecnológicas actuales y responde a la necesidad de soluciones intermedias entre equipos completamente manuales y sistemas de alta gama.

Teorías, Técnicas y Métodos Usados

El desarrollo del sistema mecatrónico propuesto se fundamenta en teorías y métodos propios de la ingeniería de control, la automatización industrial y el diseño mecatrónico aplicado a entornos críticos.

Desde la teoría de control automático, se emplea el concepto de control en lazo cerrado, en el cual la señal de salida (posición angular del arco en C) es medida mediante sensores y comparada con una referencia para corregir errores en tiempo real. Este enfoque garantiza estabilidad, precisión y repetibilidad del sistema (Storr, 2013)

En cuanto a las técnicas de control de movimiento, la utilización de un motorreductor junto con un sistema de transmisión por cremallera permite un movimiento sin esfuerzo, coordinado y de bajo mantenimiento. Cuando se requiere una estricta precisión mecánica y

confiabilidad, este método encuentra un amplio uso en los campos médico e industrial (Elegir *la cinta de distribución adecuada para el control de movimiento a alta velocidad,* s. f.)

La metodología de diseño utiliza el enfoque de diseño modular, que permite crear el sistema como un módulo independiente que se puede integrar fácilmente con hardware preexistente. Este enfoque facilita la validación del prototipo, reduce las posibilidades de participación directa de los equipos clínicos y hace que el sistema sea más escalable (Jain & Solutions, 2025)

Adicionalmente, se aplica el método de gestión de riesgos, basado en la norma ISO 14971, con el fin de detectar amenazas potenciales relacionadas con el movimiento automatizado, evaluar esas amenazas y establecer mecanismos de control, como el uso de un embrague mecánico y redundancia de sensores, para garantizar el funcionamiento seguro del sistema. (ISO *14971,* s. f.-c)

Por último, el proyecto emplea enfoques experimentales para validar el cumplimiento de los objetivos establecidos. Esto se logra mediante pruebas funcionales del prototipo en un entorno controlado, que evalúa los parámetros de posicionamiento, la capacidad de respuesta del sistema y la confiabilidad operativa.

Capítulo III

Memoria Descriptiva

Descripción General del proyecto

Una característica funcional del sistema es su capacidad para ejecutar movimientos angulares en sentido horario y antihorario de manera controlada, precisa y repetitiva sin ningún trabajo manual para el operador mediante la regulación del operador mediante giro o rotación. Los objetivos de este enfoque son mejorar la ergonomía de procedimientos fluoroscópicos prolongados o repetidos, optimizar el proceso clínico y reducir la variabilidad operativa asociada con el manejo manual.

La propuesta del sistema mecatrónico está equipado con un motor reductor que genera el par y la velocidad necesarios para mover el brazo en C. Este motor está acoplado a un sistema de transmisión por engranajes y a una cremallera que se coloca en el lateral del dispositivo. Esta disposición garantiza que el movimiento sea suave, coordinado y necesite poco mantenimiento. Un embrague mecánico adicional permite el control manual del brazo en C en caso de emergencia, mantenimiento o cuando sean necesarias modificaciones en el

funcionamiento, lo que garantiza seguridad y flexibilidad. Esto permite desmontar el motor. Respecto al control y la retroalimentación, el sistema cuenta con un encoder incremental sirve como sensor de posición absoluta adicional además de proporcionar datos precisos sobre el desplazamiento angular mediante un potenciómetro de posición. Esta configuración allana el camino para el control de movimiento de circuito cerrado, que mejora la precisión del posicionamiento y hace que el sistema sea más robusto contra errores de medición.

46

La interacción del usuario se lleva a cabo a través de una Interfaz Hombre-Máquina (HMI), con la capacidad de observar la posición del brazo de ángulo C en tiempo real, la capacidad de ajustar los ángulos a su gusto, la capacidad de elegir de una lista de configuraciones preestablecidas y la capacidad de seleccionar entre modos de operación de control manual, automático o asistido. La interfaz se diseñó centrándose en la seguridad operativa, la simplicidad y la claridad para minimizar la posibilidad de error humano durante el uso del sistema.

Este proyecto se valida una vez que se ha creado al nivel de un prototipo viable. Sin tener que realizar ningún cambio directo en el equipo clínico que está actualmente en uso, esto nos permite evaluar su viabilidad técnica, rendimiento mecánico y eficiencia del sistema de control. Este método, que ayuda a reducir riesgos, permite la validación del diseño y aborda futuras mejoras, escalabilidad e implementación práctica, es una estrategia que garantiza el cumplimiento de las normas técnicas y de seguridad relevantes para los equipos electromédicos.

Diseño Mecánico General

El diseño mecánico global del sistema mecatrónico de posicionamiento del arco en C fue concebido como un módulo adaptativo, El objetivo principal de este proyecto es automatizar el proceso de hacer girar el equipo de fluoroscopia manteniendo el diseño original del dispositivo. La transferencia de movimiento al eje de rotación del brazo en C es posible gracias a la configuración mecánica, que se basa en un motor de CC y un reductor que funcionan en combinación con un sistema de transmisión que está acoplado al marco.. El mantenimiento mínimo requerido, la alta precisión y la reactividad dinámica de este sistema

47

de transmisión lo convirtieron en una opción ideal para aplicaciones de control de

movimiento.

Para instalar el motorreductor se utilizan estructuras de soporte rígidas, lo que ayuda a minimizar las vibraciones y garantiza la estabilidad mecánica y la alineación. Se utiliza un embrague mecánico para acoplar y desacoplar el motor de la transmisión al sistema de la cremallera. Este componente es crucial para la seguridad y flexibilidad del sistema, ya que evita privar el modo manual en el arco en C. También permite la operación de manual a controlado del arco en C en situaciones de emergencia o mantenimiento.

El diseño mecánico también cuenta con elementos de seguridad como finales de carrera mecánicos que se ubican en los extremos del desplazamiento orbital. Estos interruptores garantizan que el arco en C no sobrepase su recorrido permitido. Combinada, la disposición mecánica sugerida permite una rotación controlada tanto en el sentido de las agujas del reloj como en el sentido contrario a las agujas del reloj, lo que garantiza la precisión, la estabilidad y la confiabilidad del sistema; salvaguardar la integridad del equipo médico original; y facilitar el futuro mantenimiento o ampliación del diseño.

48

Diagramas en Bloques del Proyecto

49

Diagrama de flujo del Proyecto

Especificación Técnica de Proyecto

El proyecto consiste en el desarrollo de un sistema mecatrónico de posicionamiento automatizado del arco en C, basado en un accionamiento por motor DC controlado por driver DCS-810, con realimentación mediante encoder incremental, gobernado por un PLC, y con interacción a través de pulsadores, señalización luminosa y alarma sonora.

El sistema opera con:

• Alimentación principal: 220 VAC monofásico

50

• Alimentación de potencia DC: 24 VDC / 5 A

• Lógica de control: PLC industrial

• Accionamiento: Motorreuctor de CC

• Seguridad: Interruptor termomagnético, diferencial, fusibles, parada de emergencia, embrague mecánico y sensor de corriente incluido en el servodriver

El diseño contempla operación automática y manual, garantizando seguridad eléctrica, mecánica y operativa.

Especificación Técnica de Componentes

Motorreductor, Clutch y Encoder

51

Parámetro ZY58243000

Serie / Modelo PG56ZY58 series (56 mm planetary gear motor)

Material de la carcasa Acero

Material tren de engranajes Acero / metal en polvo

Lubricante Grasa para alta y baja temperatura

Dirección de rotación CW/CCW reversible

Rango de temperatura de operación -40 °C a +100 °C

Codificador Opcional; 13 PPR (encoder)

Freno electromagnético Opcional; tipo power-off brake

Freno – torque 1.5 Nm (cuando está presente)

Aplicaciones / características Bajo ruido, alta durabilidad, adecuado para operación continua y reversible

Voltaje nominal 24 V DC

Velocidad en vacío 3000 rpm

Corriente en vacío ≤ 252 mA

Velocidad nominal 2605 rpm

Corriente nominal ≤ 6252 mA

Torque nominal 1562 g·cm

Potencia nominal 39.5 W

Torque de bloqueo (stall) 8392 g·cm

Corriente de bloqueo (stall) ≤ 12.4 A

52

Final de Carrera

Parámetro Especificación técnica

Corriente 15 A a 250 VAC

Polos SPDT

Pines 3 (NO, COM, NC)

Largo de palanca 28 mm

Pulsadores

Parámetro Característica técnica **Modo de funcionamiento** ON-ON-OFF **Corriente nominal** 10 Amperios **Marca** Herold **Tensión** 220v max **Dimensiones del producto: largo x ancho x alto** 14 x 10 x 7 centímetros

53

Servodriver DCS810

Punto crítico Descripción técnica Importancia directa en el proyecto

Control

Control de lazo cerrado con encoder incremental

Garantiza precision en el ángulo en los escaneos 3D del arco en C.

Comunicación motor–encoder

El sentido de giro depende de la polaridad del voltaje que se inyecte al motor y del orden de fases A/B del encoder

Previene fallos en el seguimiento y problemas de ubicación que afectarían la angulación.

Dirección de giro por defecto

Giro CW cuando la entrada de dirección está en nivel lógico alto

Es necesario establecer correctamente para que la inclinación se alinee con el enfoque clínico esperado.

Protección por sobrecorriente

Activación interna al superar 20 A continuos

Protege al sistema ante bloqueos mecánicos o sobrecargas del sistema mecatrónico

Protección para una sobretensión

Activación > 85 ±1.5 VDC Evita daños causados por picos de tensión o recuperación durante paradas abruptas.

54

Protección para una subtensión

Activación < 16.5 ±1.5 VDC Previene un funcionamiento inestable que pueden provocar movimientos erróneos del arco.

Protección de fase invertida

Detecta inversión incorrecta de cables de motor o encoder

Es esencial el sentido de las fases durante la instalación y el mantenimiento en un entorno hospitalario.

Protección fallo en encoder

Activación ante pérdida o error de señal de realimentación

Prohíbe la operación sin un punto de referencia de ubicación, lo que es crucial para el inicio del sistema mecatrónico.

Identificación del fallo

Mediante LED rojo con patrón de parpadeo

Facilita el diagnóstico local y cisual durante el arranque y/o el mantenimiento.

Interfaz

Entradas analógicas y digitales

Integración fácil con PLC S7-1200 para comandos y habilitación.

Comunicación serial

RS-232

Se utiliza para configuración, ajustes precisos y diagnósticos del controlador.

Seguridad funcional

Parada inmediata ante cualquier falla crítica

Disminuye los riesgos mecánicos y eléctricos en el quirófano.

Indicador Piloto LED

Parámetro Característica técnica

Modelo AD22-22DS

Voltaje 24V DC/AC

55

Corriente ≤20mA

Tipo de lámpara LED

Orificio de montaje Ø22mm

Forma de conexión Terminal de tornillo

SB 1223 DC/DC

Cálculos Previos

Antes del diseño se realizaron cálculos preliminares orientados a garantizar la correcta

selección de componentes:

Potencia eléctrica requerida:

Motor DC alimentado a 40 VDC, 5 A → Potencia máxima ≈ 200 W

Protección eléctrica:

Datos técnicos SB 1222 DQ 4 x 5 V DC, 200 kHz Consumo de corriente (24 V DC) 15 mA Tabla: Salidas digitales **Datos técnicos SB 1222 DQ 4 x 5 V DC, 200 kHz** Número de salidas 4

Tipo de salida Estado sólido, MOSFET (sumidero y fuente)[1] Rango de tensión De 4,25 a 6,0 V DC Señal 1 lógica a intensidad máx. L+ menos 0,7 V Señal 0 lógica a intensidad máx. 0,2 V DC, máx. Intensidad (máx.) 0,1 A Número de salidas ON simultáneamente 4

56

Interruptor termomagnético bipolar acorde a corriente nominal

Interruptor diferencial para protección de personas

Fusibles individuales por línea para protección selectiva

Sensor de corriente en etapa de motor para supervisar obstrucciones en el mecanismo

Control de movimiento:

Encoder incremental en cuadratura (canales A y B)

Resolución suficiente para detectar pequeños desplazamientos angulares

Seguridad mecánica:

Inclusión de clutch para desacople inmediato del motor ante emergencia o corte de energía

Consideraciones de Diseño

El diseño del sistema se rige por los siguientes criterios:

• Seguridad del operador y del equipo

• Separación clara entre circuitos de potencia y control

• Redundancia en la detección de posición

• Posibilidad de operación manual sin energía

• Facilidad de mantenimiento

• Adaptabilidad a equipos existentes

57

El sistema se diseña como módulo independiente, evitando modificaciones estructurales al equipo médico.

Operaciones de Cálculos

Principales operaciones de cálculo:

• Cálculo de corriente de motor

• Dimensionamiento de fuente DC (24 V / 5 A)

• Necesidad de instalación de fusibles con margen de seguridad

• Evaluación de la capacidad del driver DCS-810 para manejo de encoder y motor

• Determinación del rango angular permitido a través finales de carrera

Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico se ocupa de la entrega segura de electricidad desde la red hasta el PLC y los aparatos de potencia.

58

Diagramas Eléctricos

El diagrama eléctrico contempla:

Entrada Elemento Función I0.0 P1 Pulsador START I0.1 P2 Pulsador STOP I0.2 P3 Parada de emergencia I0.3 FC1 Fin de carrera horario I0.4 FC2 Fin de carrera antihorario I0.5 ENC-A Encoder canal A I0.6 ENC-B Encoder canal B

1. Entrada de red 220 VAC

L1 y L2: fases

PE: tierra de protección

Bornera de entrada (-X)

59

2. Protección primaria

ITM1: Bipolar termomagnético del interruptor

ID1: Bipolar diferencial de interruptor

3. Protección secundaria

FUSE1: Fusibles por línea

4. Salida hacia el sistema

Alimentación segura hacia PLC y fuente DC

5. Codificador de señales (SIGNAL BOARD)

Suministro de Alimentación

• Entrada: 220 VAC monofásico

• Salida AC: PLC

• Salida DC: Fuente de 24 VDC / 5 A para motor

La tierra de protección (PE) se distribuye a:

Señal Función Rol en el proyecto

PUL+ / PUL− Entrada de pulsos Define el desplazamiento angular del arco en C

DIR+ / DIR− Entrada de dirección Define sentido CW / CCW de la angulación

ENA+ / ENA− Habilitación Permite o bloquea el movimiento del arco

60

• PLC

• Piloto

• Motor del chasis

Circuito de Fuerza y mando

El circuito de fuerza incluye:

• Fuente DC 24 V / 5 A

• Controlador DCS-810

• Motor de corriente continua

• Embrague mecánico

El driver controla:

• Tensión aplicada

• Corriente

• Sentido de giro

Sistemas Mecánicos

El sistema mecánico está compuesto por:

61

• Motor de CC con reductor

• Transmisión por sistema piñon cremallera

• Embrague mecánico

Diagramas Mecánicos

Los diagramas mecánicos muestran:

• Acoplamiento motor–reductor

• Transmisión por piñon y cremallera

• Posición del embrague magnético

• Eje de giro del arco en C

62

Sistema Electrónico

Incluye:

• PLC

• Controlador DCS-810

• Codificador incremental

• Señalización luminosa y acústica

Diagramas Electrónicos

Los diagramas electrónicos representan:

• Conexión PLC–driver

63

• Señales del codificador (A y B)

• Salidas digitales a lámparas y buzzer

• Clutch

Fuente de Alimentación

• Fuente DC industrial

• Entrada: 220 VAC

• Salida: 24 VDC / 5 A

• Protegida contra sobrecorriente

Circuito de Control

El PLC ejecuta la lógica de control:

• Lectura de pulsadores y sensores

• Conteo de pulsos del encoder

• Control del sentido de giro

• Gestión de estados y seguridad

Circuito de Potencia

El circuito de potencia gobierna el motor DC a través del driver, el cual recibe

órdenes desde el PLC y regula la energía suministrada al motor.

Sistema de Software

El sistema de software se basa en:

• Programa lógico del PLC

• Gestión de estados

64

• Control de movimiento

• Gestión de alarmas

Diagramas de Flujo y/o Bloques

Incluyen:

• Diagrama general del sistema

• Flujo de arranque

• Flujo de operación

• Flujo de emergencia

Librerías Usadas

• Librerías estándar del PLC

• Funciones de conteo de pulsos

• Temporizadores

• Comparadores

Firmware y Software

• Firmware del PLC

• Software de programación PLC

• Software de configuración del driver

Programa Lógico o Datos de Configuración

El programa contempla:

• Estados: espera, operación, emergencia

• Condiciones de activación de salidas

Áreas Transversales de Impactos

Ámbito de Seguridad y Salud Ocupacional

En el ámbito de la seguridad y salud ocupacional, el sistema mecatrónico de posicionamiento automatizado del arco en C contribuye significativamente a la mejora de las condiciones de trabajo del operador, al reducir el esfuerzo físico asociado a los movimientos manuales repetitivos y a la manipulación directa del equipo. La incorporación de un sistema de parada de emergencia permite la detención inmediata del movimiento ante cualquier situación de riesgo, reforzando la seguridad durante la operación. Asimismo, el diseño contempla una protección eléctrica completa mediante dispositivos adecuados, lo que minimiza los riesgos de descargas eléctricas o fallas del sistema. Por último, el embrague mecánico permite una operación manual segura, lo que garantiza que el equipo aún pueda controlarse y las operaciones puedan continuar en caso de una emergencia, mantenimiento o

falla del sistema automatizado. Esto refuerza la seguridad general del operador y del entorno de trabajo.

Ámbito de Conservación del Medio Ambiente

En el ámbito de la conservación del medio ambiente, este promueve prácticas ecológicas destacando la necesidad de reciclar y mejorar los equipos de fluoroscopia existentes en lugar de adquirir otros nuevos y costosos. Al extender la vida útil de los equipos

Condición LED L1 (Q0.0)

LED L2 (Q0.1)

LED L3 (Q0.2)

BUZER Z1 (Q0.3)

CLUTCH (Q0.4)

PLC energizado, en espera

Proceso iniciado Emergencia Atasco Motor liberado

médicos y disminuir la necesidad de nuevos dispositivos, esta implementación ayuda a reducir la cantidad de desechos electrónicos. Existe una correlación directa entre aprovechar al máximo la infraestructura existente y maximizar la eficiencia con la que se utilizan los recursos. Como resultado, la producción, el envío y la eliminación final de dispositivos electromédicos tienen un efecto menor en el medio ambiente. La gestión responsable de los recursos y los conceptos de sostenibilidad guían este proceso.

Ámbito de Eficiencia Energética

En el ámbito de la eficiencia energética, en el proceso de diseño del sistema de posicionamiento mecatrónico del brazo en C, se consideró el uso de un motor eficiente de corriente continua (CC). Con muy poca pérdida de potencia, este motor produjo todo el par necesario. El sistema de control instalado permite a los usuarios controlar y rastrear su uso de energía, lo que a su vez evita demandas innecesarias y garantiza un uso razonable de energía eléctrica. De manera similar, el funcionamiento bajo demanda garantiza que el sistema solo utilice energía cuando sea necesario, lo que ayuda a reducir el consumo total de energía y promueve un funcionamiento más sostenible y eficiente en el entorno hospitalario.

Análisis de Costos y Presupuestos

Costo de Equipamiento (Hardware y Software)

Componentes principales

Componente Descripción Costo unitario (S/)

PLC básico industrial PLC compacto o con expansión (8–16 I/O) S/ 1,300.00

Motor DC con encodery clutch Motor con encoder integrado para control angular S/ 170.00

SB 1222 Signal Board Salidas digitales diseñada S/ 380.00

Driver de motor DCs 810 Driver de control de potencia para motor DC S/ 268.09

HMI (panel operador) Interfaz hombre-máquina S/ 2,500.00

67

Fuente DC 24 V/5 A industrial Fuente de alimentación de potencia S/ 150.00

Finales de carrera (FC1/FC2) Limit switches de posición mecánica S/ 10.00

Protecciones eléctricas Termomagnético + diferencial + fusibles S/ 300.00

Pulsadores Start , stop, y parada de emergencia S/ 80.00

Lámparas de señalización Estado operativo visual S/ 30.00

Buzzer / Alarma sonora Señal de emergencia S/ 25.00

Cableado y canaletas Integración eléctrica S/ 120.00

Bornes y conectores Conexiones de control S/ 80.00

Mano de obra de ensamblaje Montaje y pruebas S/ 2,500.00

Software de programación Licencia o entorno PLC S/ -

S/ 6,613.09

Resultados

La aplicación del sistema mecatrónico de posicionamiento automatizado del arco en C se realizó mediante el desarrollo e implementación de un prototipo funcional, diseñado para operar en un entorno controlado y representativo del funcionamiento real de un equipo de fluoroscopia. El uso de un prototipo permitió validar la viabilidad tecnológica del proyecto sin interferir con un equipo clínico operativo, lo que ayudó a reducir los riesgos y facilitar el análisis del rendimiento del sistema.

Parte del proceso de solicitud fue construir un prototipo que cumpliera con todas las especificaciones técnicas. Esto incluyó la integración de sistemas mecánicos, eléctricos, electrónicos y programación de control. Tanto el PLC como el motor estaban alimentados por un cable rojo monofásico de 220 VCA. Al confirmar que el interruptor termomagnético, el

68

interruptor diferencial y los fusibles funcionan correctamente, podemos estar seguros de que el tomacorriente proporcionará un ambiente de trabajo seguro.

En la etapa de pruebas funcionales, examinado utilizando los botones de inicio, parada y parada de emergencia. En respuesta a las señales de entrada, el PLC ejecutó con precisión la lógica preprogramada y encendió las salidas correspondientes. Los estados del sistema podrían identificarse fácilmente mediante el uso de señalización luminosa: equipo electrificado en espera, inicio de proceso y condición de emergencia. En casos urgentes, la advertencia de auditoría puede activarse rápidamente.

Este motor DC resultó de mucha eficiencia por su sistema de engranajes, su funcionamiento fue estable y bajo control gracias al driver DCS-810. El motor respondió eficazmente a los sentidos de rotación, tanto horario como antihorario, y se mantuvo dentro de los parámetros establecidos por los finales de carrera. La transmisión por una cremallera y piñon demostró un sistema mecánico bien elegido, que permitió un movimiento coordinado y sin vibraciones.

El encoder incremental permite que el sistema de control mantenga una posición exacta al proporcionar información de la ubicación del eje y la dirección de rotación. La correcta interpretación de los canales A y B por parte del control permitió verificar la dirección del movimiento y la parada del motor en las posiciones preestablecidas. La precisión de la ubicación angular del prototipo dependió en gran medida de este sistema de ubicación automática.

69

Asimismo, se comprobó la funcionalidad del clutch magnético, permitió operación manual y cortes de energía en escenarios de emergencia que involucraron la desconexión del motor del sistema de transmisión. Esta característica mejora la seguridad y agilidad del mecanismo al permitir moverlo manualmente sin resistencia incluso cuando la automatización está apagada.

Como resultado global de la aplicación, el prototipo demuestra que es teóricamente posible automatizar la colocación del arco en C mediante el uso de un sistema mecatrónico modular. Esto daría como resultado un aumento de la seguridad operativa, una reducción en la cantidad de énfasis puesto en el trabajo humano y una mejora en la precisión del

movimiento. Los hallazgos validan que el sistema sugerido logra los objetivos; también proporcionan una base para mejorar el sistema, hacerlo más escalable e incorporarlo a los equipos actuales, cumpliendo al mismo tiempo con todos los estándares técnicos y de seguridad relevantes en un entorno clínico.

Para concluir, la validación práctica del prototipo de las ideas de automatización, control de movimiento y seguridad del proyecto demostró que la mecatrónica industrial puede proporcionar soluciones seguras y eficientes para actualizar equipos médicos.

Capítulo IV

Operación y Mantenimiento

Operación

La operación del sistema mecatrónico de posicionamiento automatizado del arco en C se lleva a cabo utilizando un prototipo funcional destinado a replicar las circunstancias de uso actuales de los equipos de fluoroscopia. El sistema permite controlar el movimiento angular del arco en C de forma precisa, segura y repetible, reemplazando el ajuste manual por un accionamiento motorizado gobernado por un PLC.

El sistema cuenta con tres estados definidos:

• Sistema energizado en espera

• Sistema en marcha

• Sistema de estado en parada de emergencia

Estos estados son identificados mediante señalización visual (lámparas) y sonora

(buzzer), permitiendo al operador reconocer rápidamente la condición del sistema.

Consideraciones de Seguridad para la Operación

La seguridad durante la operación es un aspecto crítico del sistema, considerando su

aplicación potencial en entornos clínicos. Para ello, se han implementado

Medidas de seguridad implementadas

Tipo de seguridad Elemento Función Eléctrica Interruptor termomagnético Protección contra sobrecorriente Eléctrica Interruptor diferencial Protección contra fugas a tierra Eléctrica Fusibles Protección selectiva Mecánica Clutch mecánico Desacople del motor Lógica Parada de emergencia Detención inmediata Operativa Finales de carrera Limitación de recorrido Señalización Lámparas y buzzer Advertencia de estados

72

Manual de Usuario u Operación de Puesta en Servicio

Procedimiento de puesta en servicio

• Verificar que el sistema esté correctamente conectado a tierra.

• Energizar el sistema desde la red eléctrica de 220 VAC.

• Confirmar que la lámpara "Energizado" se encuentre encendida.

• Verificar que la parada de emergencia no esté accionada.

• Presionar el pulsador INICIAR para iniciar el sistema.

• Seleccionar el sentido de giro del arco EN EL PANEL DE DIRECCION

• Supervisar el movimiento del sistema durante la operación.

• Para detener el sistema, presionar DETENER.

• En caso de riesgo, presionar la Parada de emergencia.

1 2 3 4 5 6 7 8

73

Plan de Pruebas Funcionales y Operatividad

Nº Prueba Resultado esperado

Energización del sistema PLC operativo

Pulsador START Inicio del movimiento

Pulsador STOP Detención controlada

Parada de emergencia Parada inmediata

Fin de carrera horario Detención en límite

Fin de carrera antihorario Detención en límite

Encoder Conteo correcto

Clutch mecánico Desacople efectivo

74

Fichas, Tablas y/o Hoja de Resultados

Prueba Resultado Observaciones

Sistema eléctrico Conforme Sin fallas

Sistema de control Conforme Respuesta adecuada

Sistema mecánico Conforme Movimiento estable

Seguridad Conforme Protecciones activas

Proceso de Mantenimiento

El mantenimiento del sistema está orientado a preservar la seguridad, confiabilidad y continuidad operativa del prototipo, mediante actividades preventivas y correctivas debidamente planificadas.

Organigrama de Mantenimiento

Responsable del Proyecto

Técnico Mecatrónico

Técnico Eléctrico / Electrónico

Evaluación de Alcance de Mantenimiento

Componente Tipo de mantenimiento

PLC Preventivo / Correctivo

Motor DC Preventivo

Driver Preventivo / Correctivo

75

Componente Tipo de mantenimiento

Encoder Preventivo

Clutch Preventivo

Protecciones eléctricas Preventivo

Planificación de Mantenimiento

El mantenimiento se planifica de manera periódica para evitar fallas inesperadas y

prolongar la vida útil del sistema.

Gestión Logística de Mantenimiento

Mantenimiento Preventivo

Diagrama Gantt de Mantenimiento Preventivo

Actividad Mensual Trimestral Semestral

Inspección visual ✔

Limpieza y lubricación en general ✔

Revisión de red eléctrica ✔

Verificación del encoder ✔

Revisión de clutch ✔

Pruebas de funcionamiento ✔

76

Procedimiento de Mantenimiento Preventivo

• Des energizar completamente el sistema.

• Verificar ausencia de tensión eléctrica.

• Inspeccionar visualmente conexiones

• Limpiar y medir componentes electrónicos.

• Revisar el dentado del sistema cremallera y piñon.

• Verificar el correcto funcionamiento del clutch.

• Probar finales de carrera.

• Registrar actividades realizadas.

• Finalmente reiniciar horas en el contador de lubricación y mantenimiento.

Materiales, Equipos y Herramientas

Elemento Uso

Multímetro Medición eléctrica

Juego de llaves Ajustes mecánicos

Destornilladores Montaje

Aire comprimido Limpieza

Laptop Diagnóstico PLC

Ficha de Mantenimiento Preventivo

Fecha Actividad Responsable Observaciones

77

Mantenimiento Correctivo

Procedimiento de Mantenimiento Correctivo

• Identificar la falla presentada.

• Des energizar el sistema.

• Aislar el componente defectuoso.

• Reparar o reemplazar el componente.

• Realizar pruebas funcionales.

• Registrar la intervención realizada.

Materiales, Equipos y Herramientas

Elemento Uso

Multímetro Diagnóstico

Repuestos eléctricos Sustitución

Laptop Reprogramación

Herramientas mecánicas Reparación

Ficha de Mantenimiento Correctivo

Fecha Falla detectada Acción correctiva Responsable

78

Conclusiones

Conclusión 1: Se diseñó correctamente el sistema mecánico y de transmisión al arco en C propuesto, integrando un motorreductor, sistema piñón–cremallera y un clutch magnético, lo que permite un movimiento controlado de la angulación en sentido horario y antihorario. Este diseño garantiza estabilidad, precisión y ejecución de manera segura, demostrando que es posible una integración del sistema propuesto para aplicaciones médicas.

Conclusión 2: Se evidencian los esquemas de conexiones eléctricas del sistema de posicionamiento del arco en C para reconstrucción 3D en salas de operaciones, integrando correctamente los componentes eléctricos y de control. Los diagramas garantizan un funcionamiento segura, funcional y acorde a las necesidades del entorno clínico, demostrando la viabilidad del sistema planteado.

79

Conclusión 3: Se llevó a cabo la programación del sistema de control basado en un (PLC), permitiendo que el motorreductor del arco en C se active de forma segura con una velocidad controlada por servodriver. De este modo se puede garantizar un funcionamiento seguro y confiable. La lógica de control que se implementó está diseñada para identificar atascos mecánicos, fallas electrónicas y delimitar el rango de giro del arco en C.

Conclusión 4: Para automatizar la colocación del arco en C, se creó e implementó una interfaz hombre-máquina (HMI). Debido a esto, tanto la angulación real como la prevista se pueden ver en tiempo real. Además, la HMI mejoró la interfaz operador-sistema y redujo las fallas operativas al simplificar la configuración y ajustar la configuración del sistema, cambiar entre varios modos operativos y mostrar advertencias.

Recomendaciones

Se sugiere efectuar pruebas de resistencia de fuerza mecánica y durabilidad del sistema de transmisión, para garantizar que el motor de engranajes, la cremallera y el embrague mecánico sean lo suficientemente estables y confiables para usarse en un entorno clínico a largo y corto plazo.

80

Se recomienda diseñar una cubierta que cubra toto el sistema mecatrónico con el fin

de bajar el porcentaje de atascos en la cremallera y proteger de contaminaciones de fluidos externos

Se recomienda incorporar movimientos en los otros 3 ejes del arco en C, de este modo contar con un equipo de alta tecnología en los lugares de bajos recursos

Es recomendable implementar la interfaz HMI con registro de perfiles de usuario y mensajes de ayuda interactivos, con el propósito de mejorar el performance del sistema, estandarizar los procedimientos de posicionamiento por usuario y reducir el riesgo de malos usos

Referencias Bibliográficas

Admin. (2024, octubre 22). ¿Qué es una HMI (Interfaz Hombre-Máquina) y cuáles son sus principales características? *AUTEXOPEN.* https://www.autex-open.com/sistemas-mes/que-es-una-hmi-interfaz-hombre-maquina-y-cuales-son-sus-principales-caracteristicas/

Adquisición De Equipo De Rayos X Estacionario Radiografía Fluoroscopia Digital Para El Servicio De Diagnostico Por Imágenes Del Hospital Regional Lambayeque IOARR - CUI N° 2542065. (s. f.). Todo Licitaciones. Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://www.todolicitaciones.pe/licitacion/ocds-dgv273-seacev3-2025-200441-26/adquisicion-de-equipo-de-rayos-x-estacionario-radiografia-fluoroscopia-digital-para-el-servicio-de-diagnostico-por-imagenes-del-hospital-regional

Ajewole, O., Adewuyi, P., Ezugwu, C., Igbinosa, G., Adetiba, G., & Adewuyi, I. (2025). *Smart Motor Control Systems: Revolutionising Industrial Automation through Advanced Technologies-A Review.*

Avance del cierre de brechas en infraestructura del sector salud. (s. f.). ComexPerú. Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://www.comexperu.org.pe/articulo/avance-del-cierre-de-brechas-en-infraestructura-del-sector-salud

Basics of Encoders for Motion Systems | Rockwell Automation | US. (s. f.). Rockwell Automation. Recuperado 27 de enero de 2026, de https://www.rockwellautomation.com/en-us/company/news/the-journal/basics-

encoder-for-motion-system.html

Binder, N., Matthäus, L., Burgkart, R., & Schweikard, A. (2005). A robotic C-arm fluoroscope. *The International Journal of Medical Robotics and Computer Assisted Surgery, 1(3),* 108-116. https://doi.org/10.1002/rcs.34

4 Castrillón-Giraldo, W. S., Morales-Aramburo, J., & Jaramillo-Garzón, W. (2020). Control de calidad en equipos de rayos X en intervencionismo. *Revista Colombiana de Cardiología, 27,* 88-95. https://doi.org/10.1016/j.rccar.2019.09.009

Control de Calidad de Equipos de Rayos X. (s. f.). Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://www.ipen.gob.pe/index.php/servicios/metrologia-y-dosimetria/control-de-calidad-de-equipos-de-rayos-x?utm_source

3 *Diagnóstico de la Situación de Brechas de infraestructura o de acceso a servicios del Sector Salud 2026-2028.* (s. f.). Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://www.gob.pe/institucion/minsa/informes-publicaciones/5887860-diagnostico-de-la-situacion-de-brechas-de-infraestructura-o-de-acceso-a-servicios-del-sector-salud-2026-2028?utm_source

Diagnostico-brechas-infraestrucctura-sector-salud-2022.pdf. (s. f.). Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://www.minsa.gob.pe/Recursos/OTRANS/08Proyectos/2022/diagnostico-brechas-infraestrucctura-sector-salud-2022.pdf?utm_source

Diagnostico-Infraestructura-Sector-Salud-2024-2026.pdf. (s. f.). Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://www.minsa.gob.pe/Recursos/OTRANS/08Proyectos/2022/Diagnostico-Infraestructura-Sector-Salud-2024-2026.pdf?utm_source

Elegir la cinta de distribución adecuada para el control de movimiento a alta velocidad. (s. f.). Recuperado 27 de enero de 2026, de https://in.misumi-ec.com/pr/blog/conveyors/choosing-the-right-conveyor-timing-belt-for-high-speed-motion-control/?srsltid=AfmBOoqivr_sbM9XBYKzxWfpJ5-nQL0Ij2HeLS6pNsYJWSMRK8LdJKvw&utm

8 *Fluoroscopía y Arco en C: La Importancia de la Radiografía en Tiempo Real.* (2025, abril 16). https://medicalmarket.cl/fluoroscopia-arco-en-c-radiografia-tiempo-real/

Gauntt, D., UAB Medical Center, Birmingham, AL, Ranger, N., Aspirus Wausau Hospital, Schofield, WI, Willis, C., Independent Consultant, Bellaire, TX, Al-Senan, R., Penn State University, Hershey, PA, Bercha, I., Yale New Haven Hospital & Yale University School of Medicine, Guiford, CT, Dave, J., Mayo Clinic, Rochester, MN, Fang, Y., FDA Center for Device and Radiological Health, Silver Spring, MD, Gingold, E., Thomas Jefferson University, Philadelphia, PA, Goldman, L., Independent – No Affiliation, West Hartford, CT, Jones, A. K., … Canon Medical Research USA, Vernon Hills, IL. (2024). *Acceptance Testing and Quality Control of Digital Radiographic Imaging Systems.* American Association of Physicists in Medicine. https://doi.org/10.37206/202

Gharib, M., Mohammadi, S., Mohammadi, M., Maghbouli, N., & Nabian, M. H. (2023). Challenges of Using C-Arm Fluoroscopy Systems: A Mixed Method Study Investigating Orthopedic Surgeons' Experience. *Journal of Iranian Medical Council.* https://doi.org/10.18502/jimc.v7i2.15047

IAEA. (2015). *Worldwide Implementation of Digital Imaging in Radiology.* IAEA.

IAEA. (2017, octubre 30). *IAEA Safety Standards and medical exposure* [Text]. http://www.iaea.org/resources/rpop/resources/international-safety-standards/iaea-safety-standards-and-medical-exposure

IAEA. (2022, agosto 9). *La protección radiológica y la fluoroscopia* [Text]. http://www.iaea.org/es/recursos/proteccion-radiologica-de-los-pacientes/profesionales-de-la-salud/radiodiagnostico/fluoroscopia

IAEA-TECDOC-1958. (s. f.). Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/TE-1958web.pdf

IEC 60601-1:2005+AMD1:2012 CSV. (s. f.). Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://webstore.iec.ch/en/publication/2612

IEC 60601-2-1:2009+AMD1:2014 CSV. (s. f.). Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://webstore.iec.ch/en/publication/2616

IEC 60601-2-43:2022. (s. f.). Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://webstore.iec.ch/en/publication/71504

Instituto Peruano de Energía Nuclear—IPEN. (2025, diciembre 29). https://www.gob.pe/ipen

ISO 13485:2016. (s. f.). ISO. Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://www.iso.org/standard/59752.html

ISO 14971:2019. (s. f.-a). ISO. Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://www.iso.org/standard/72704.html

83

ISO 14971:2019. (s. f.-b). ISO. Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://www.iso.org/standard/72704.html

ISO 14971:2019. (s. f.-c). ISO. Recuperado 27 de enero de 2026, de https://www.iso.org/standard/72704.html

Jain, A., & Solutions, V. (2025, agosto 5). ¿Qué es el diseño modular? *Visure Solutions.* https://visuresolutions.com/es/gu%C3%ADa-de-plm/dise%C3%B1o-modular/

Mahbub, F., Hoq, E., Saleheen, R. U., Farhan, A., Erin, Md. T. U. R., & Rahman, M. (2024). Control System in Mechatronics Engineering. En Md. M. Rahman, F. Mahbub, R. Tasnim, & R. U. Saleheen (Eds.), *Mechatronics: Fundamentals and Applications* (pp. 49-80). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-97-7117-2_3

Martins, O. O., Oosthuizen, C. C., & Desai, D. A. (2025). Exploring the import of mechatronics engineering in medicine: A review. *Beni-Suef University Journal of Basic and Applied Sciences, 14(1),* 26. https://doi.org/10.1186/s43088-025-00618-w

Matthews, F., Hoigne, D. J., Weiser, M., Wanner, G. A., Regazzoni, P., Suhm, N., & Messmer, P. (2007). Navigating the Fluoroscope's C-Arm Back into Position: An Accurate and Practicable Solution to Cut Radiation and Optimize Intraoperative Workflow. *Journal of Orthopaedic Trauma, 21(10),* 687. https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e318158fd42

Microsoft PowerPoint—IEC 61508 & Functional Safety-2022.pptx. (s. f.). Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://assets.iec.ch/public/acos/IEC%2061508%20&%20Functional%20Safety-2022.pdf?2023040501

Ministerio de Salud—MINSA. (2025, diciembre 30). https://www.gob.pe/minsa

Modifican la Norma Técnica de Salud NTS N° 113-MINSA/DGIEM-V.01 "Infraestructura y Equipamiento de los Establecimientos de Salud del Primer Nivel de Atención"—RESOLUCION MINISTERIAL - N° 637-2024/MINSA - SALUD. (s. f.). Recuperado

30 de diciembre de 2025, de https://busquedas.elperuano.pe/dispositivo/NL/undefined/dispositivo/NL/2326729-1

Nivedita Radder, Avinash Nanivadekar, & Shrinivas Radder. (2025). Revolutionizing critical care radiography: A cost-effective retrofitted digital radiography solution. *World Journal of Biology Pharmacy and Health Sciences, 21(2),* 555-564. https://doi.org/10.30574/wjbphs.2025.21.2.0221

84

Norma IEC 60601 para equipos electromédicos. (s. f.). https://sgsystemsglobal.com/es/. Recuperado 27 de enero de 2026, de https://sgsystemsglobal.com/es/glosario/iec-60601/

Petrosino, J. A. V. (s. f.). *OLLANTA HUMALA TASSO.*

Podestá Legonía, J. M. (2025). Proyecto de modernización y optimización de equipos de rayos X para diagnóstico por imagen. *Repositorio Académico USMP.* https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/17868

Portocarrero Bonifaz, A., Camarena Rodriguez, C. S., & Palma Esparza, R. (s. f.). Diagnostic Reference Levels for Common X-ray Procedures in Peru. *Cureus, 13(10),* e18566. https://doi.org/10.7759/cureus.18566

PROTOCOLOS DE QC PARA EQUIPOS DE RX CON FLUOROSCOPIA. (s. f.). Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://rd.udb.edu.sv/server/api/core/bitstreams/42244dc6-107c-49a9-852d-8e35614b2bc9/content

¿Que es un PLC? | Autómatas programables (PLC). (s. f.). Recuperado 27 de enero de 2026, de https://industrial.omron.es/es/products/programmable-logic-controllers

Revista Vol 23 Nro 1 Editorial. (2024, octubre 15). *Sociedad Peruana de Radiología.* https://socpr.org.pe/revista-vol-23-articulos-enero-septiembre-2024/revista-vol23-nro-1-editorial/

Sensor de posición del potenciómetro, Transductor de posición del potenciómetro—Todos los fabricantes industriales—Página 2. (s. f.). Recuperado 27 de enero de 2026, de https://www.directindustry.com/industrial-manufacturer/potentiometer-position-sensor-148672-_2.html?

Sistema Nacional de Evaluación, Acreditación y Certificación de la Calidad Educativa—SINEACE. (2024, febrero 28). https://www.gob.pe/sineace

Storr, W. (2013, agosto 30). Closed-loop System and Closed-loop Control Systems. *Basic Electronics Tutorials.* https://www.electronics-tutorials.ws/systems/closed-loop-system.html

Wcms_154389.pdf. (s. f.). Recuperado 30 de diciembre de 2025, de https://www.ilo.org/sites/default/files/wcmsp5/groups/public/%40ed_protect/%40protrav/%40safework/documents/publication/wcms_154389.pdf

Anexos