

COLIMADOR AUTOMÁTICO DE RAYOS X CARX PROYECTO

Versión 1.3

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Autores	
Nombre Completo del integrante 1	Franco Nicolás Agüero
Legajo	35736
e-mail	franco.naguero@outlook.com
Nombre Completo del integrante 2	Arturo Ramón Rinaudo
Legajo	37870
e-mail	arturo.rinaudo@gmail.com

Tutor	Ing. Ernesto Gandolfo
Director	Ing. Germán Lombardo
Año Académico	2022
Responsable de la cátedra	Esp. Ing. Antonio Álvarez

Empresa / Organización / Laboratorio	
Patrocinador (Sponsor)	Autofinanciado

ÍNDICE

Tabla de contenido

1	INTRODUCCIÓN	4
1.1	EXECUTIVE RESUME	4
1.2	RESUMEN EJECUTIVO.....	4
2	DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO	5
2.1	OBJETIVO GENERAL	5
2.2	OBJETIVO PARTICULAR	7
3	JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO (CASO DE NEGOCIO)	7
3.1	ANTECEDENTES DEL PROYECTO	7
3.2	ESTADO ACTUAL.....	10
3.3	NECESIDAD DEL NEGOCIO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	10
3.4	IDEA DEL PROYECTO	10
3.5	BENEFICIOS DEL PROYECTO	11
4	ALCANCE.....	11
4.1	ALCANCE	11
4.2	LÍMITES O FUERA DE ALCANCE.....	11
4.3	REQUISITOS DE ALTO NIVEL	12
4.4	SOLUCIONES Y ENTREGABLES PRINCIPALES	12
5	PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO	12
5.1	PROCESOS	12
5.2	CRONOGRAMA.....	13
5.3	HITOS	17
6	DESARROLLO DEL PROYECTO	17
6.1	INTRODUCCIÓN.....	17
6.1.1	RAYOS X.....	17
6.1.2	COMPONENTES BÁSICOS DEL TUBO DE RAYOS X.....	25
6.1.3	COLIMADORES.....	35
	37
6.2	DESARROLLO	42
6.2.1	POSTULADOS PREVIOS.....	42
6.2.2	DISEÑO DEL SISTEMA DE PLACAS.....	44
6.2.3	MARCO ESTRUCTURAL Y TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTOS.....	47
6.3	ELECTRÓNICA	61
6.3.1	MICROPROCESADOR.....	61
6.3.2	PANTALLA.....	66
6.3.3	MEDIDOR DE DISTANCIA LASER	67
6.3.4	ENCODERS ROTATIVOS CON PULSADOR.....	75
6.3.5	DRIVERS DE MOTORES.....	77

6.3.6	<i>FINES DE CARRERA</i>	84
6.3.7	<i>DIAGRAMA GENERAL ELECTRÓNICA</i>	86
6.4	SOFTWARE	87
6.5	CONCLUSIONES.....	90
7	FACTIBILIDAD ECONÓMICA.....	92
7.1	COSTOS DE FABRICACIÓN POR COLIMADOR	92
7.2	APROXIMACIÓN AL VALOR ACTUAL NETO.....	94
7.3	TASA INTERNA DE RETORNO	100
7.4	PAYBACK O PLAZO DE RECUPERACIÓN.....	101
7.5	PRODUCTOS Y SERVICIOS DE OTROS FABRICANTES	102
8	APÉNDICE A: REFERENCIAS	107
9	APÉNDICE B: DICCIONARIO.....	108
10	APÉNDICE C: MANUAL DE USUARIO.....	109

1 INTRODUCCIÓN

1.1 EXECUTIVE RESUME

X-rays are used in many applications, such as fail detectors in metallurgical industries; also, in medical, veterinarian and dental care. By these days, most part of the medical centers have this equipment, since its use has become indispensable in medical diagnostic.

X-Rays, as imaging method, are used in many different fields. Its uses include industrial activities as metallurgy, used to find inconsistencies in welding. Its more typical and known use is in medical applications (vet, dental and clinical). Currently, most of medical clinics have X-ray equipment. Because of its low cost and its very high quality, they are present in many clinics and hospitals.

Nowadays, in our country, almost every functional X-rays system has manual adjustment collimation. This means that the operator must delimit the irradiated zone using mechanical commands. This can produce human error and exposing the mechanisms to a permanent deterioration.

The purpose of this project is to develop a functional prototype of an automatic X-rays collimator, after its development, this project can be manufactured and sold out with few changes. This collimator, is a way to forget about the operator's manual adjustment. As a main property, the device is going to have an LCD screen, in which is possible to choose the size of the area to irradiate, depending on the part of the body where is necessary to take the bone scan.

1.2 RESUMEN EJECUTIVO

Los rayos X, cómo medio de obtención de imágenes, son utilizados en diversos rubros. Los usos abarcan actividades como metalúrgica, utilizados para detectar fallas en soldaduras; y su utilización más difundida, el ambiente médico, el cual incluye aplicaciones de uso veterinario, odontológico, etc. En la actualidad la mayor parte de las clínicas médicas cuentan con estos equipos. Su bajo costo y su buena calidad de imagen, hacen que estos equipos estén presentes en la mayoría de clínicas de diagnóstico de todo el mundo.

Hoy en día, en nuestro país, la mayoría de los equipos en funcionamiento poseen colimadores de ajuste manual. Esto implica que el operario debe delimitar mediante comandos mecánicos la zona a irradiar, pudiendo provocar error humano y exponiendo a los mecanismos a un desgaste permanente.

El propósito de este proyecto, es desarrollar un prototipo funcional de colimador automático de rayos X, el mismo será abordado de forma tal que pueda pasar a producción y venta con mínimos cambios. Este colimador, permitirá al técnico la opción de realizar los ajustes manuales o trabajar la colimación en forma automática. Como característica principal, el equipo contará con una pantalla en la cual se podrá seleccionar el tamaño de la zona a irradiar, dependiendo esto de la parte del cuerpo en donde se quiera tomar la radiografía.

2 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

Como estudiantes avanzados de ingeniería electrónica, nos enfocaremos en la funcionalidad y la optimización de recursos para lograr un producto confiable, de buena calidad y a precio competitivo.

Se construirá un equipo de colimación automática, que es una parte esencial en el sistema de rayos X. Esto se hará con el uso de dispositivos electrónicos que lograrán la automatización del mismo.

En forma resumida, se utilizarán motores para posicionar las placas de plomo que limitan el área irradiada. Un procesador será el encargado de controlar dichos motores, y obtener información de ellos a través de sensores; además, almacenará los distintos tamaños de placas radiológicas utilizadas, para realizar el correspondiente posicionamiento de las placas.

Se proveerá una interfaz de usuario a través de una pantalla y dispositivos de interacción, permitiendo que el operario pueda seleccionar el tamaño deseado de la placa a utilizar. En la misma, se podrán observar los parámetros seleccionados, además de mostrar información del equipo.

2.1 OBJETIVO GENERAL

Construir un prototipo funcional capaz de escalar y de comercializarse con mínimos cambios contemplados en el diseño.

Construir un colimador de ajuste automático, que responda a medidas estándares preconfiguradas.

Proveer un equipo que se independice del error humano cometido al ajustar manualmente las medidas de colimación.

Poder introducir un equipo para suplir a la industria biomédica nacional con un producto que hoy en día no se comercializa localmente.

Comercializar el equipo y obtener rentabilidad económica.

Ofrecer un producto adaptable a los equipos que ya están funcionando en clínicas y hospitales.

2.2 OBJETIVO PARTICULAR

Diseñar mecánicamente un prototipo de colimador que sea viable para la fabricación. Durante el diseño se tendrá en cuenta consideraciones mecánicas, tal como formato de estructuras, transmisión mecánica de movimiento, eficiencia en espacio, etc.

Implementar electrónica de control para posicionar las placas deflectoras, logrando así una correcta colimación.

Proveer una interfaz gráfica amigable, que le permita al usuario el control del equipo mediante encoders rotativos.

Proveer la posibilidad de utilizar el equipo de manera manual, ajustando el tamaño de abertura de placas manualmente, o de manera automática, seleccionando los tamaños pre cargados para que su abertura se realice de manera automática.

El equipo contara con un medidor de distancia a la camilla, de esta forma, al variar la altura del brazo de disparo del equipo, el equipo automáticamente ajustará la abertura de placas para que la zona irradiada sea la seleccionada.

3 JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO (CASO DE NEGOCIO)

3.1 ANTECEDENTES DEL PROYECTO

Argentina ha sido pionera en la adopción del uso de los rayos x con fines medicinales. Apenas un año después del descubrimiento de los mismos (Röntgen – Alemania, 1895), se realizó la primera radiografía en el país, siendo uno de los primeros en adoptar esta tecnología tanto para fines médicos, como para fines de investigación. En 1917 se crea en Argentina la Sociedad Argentina de Radiología (SAR), con el fin de dar un marco académico a los socios para su formación continua.

En lo que respecta a equipos de rayos x, la industria nacional destaca a cuatro empresas que fabrican, ensamblan y/o comercializan equipos de rayos X, las mismas son:

- *PIMAX*: Rayos Pimax nació como una empresa de asesoramiento y servicio técnico. A partir de 1993, comenzó el diseño y la fabricación de equipos de rayos X para uso en medicina humana y, en 1995, para veterinaria, evolucionando constantemente acorde al avance tecnológico mundial y al contexto local. En el año 2003, se ingresó a la era digital con sistemas de radiología digital indirecta

CR y para el año 2010 se incorporó la tecnología digital directa a los equipos fabricados por la empresa.

Rayos Pimax SRL, produce bajo las normas de calidad internacionales (ISO 9001/94) y nacionales como ser buenas prácticas de fabricación de productos médicos (BPF) según los lineamientos de la Administración Nacional de Medicamentos, Alimentos y Tecnología Médica (ANMAT).

- *GBA*: Mas de 65 años de permanencia continua en el mercado, incorporando constantes avances tecnológicos bajo normas CE, ya sea por desarrollos propios o de empresas europeas, obteniendo productos de la más alta confiabilidad.
- *FEMARG*: Femarg cuenta con profesionales con más de 30 años de experiencia en la fabricación de equipos Médicos de Rayos X, como así también con profesionales en Ingeniería del Software orientados al área de medicina que son parte de la empresa.

FEMARG es la primera y única empresa en Argentina que ha desarrollado en su totalidad las partes constitutivas que integran el Sistema de Radiología Digital Directa, detectores digitales en sus dos modelos y todos los paquetes de software que intervienen en las distintas configuraciones.

- *DINAN*: situada en la ciudad de Buenos Aires que inició sus actividades en el año 1971 dedicándose al diseño, desarrollo y fabricación de equipos de rayos x con tecnología propia.

De las empresas comentadas que comercializan equipos de rayos X, la mayoría utiliza tecnología y diseño propio, pero esto solo se ve aplicado en electrónica en placas de generador de HV, control, etc.; las partes más importantes (y caras) del equipo, como son el tubo de rayos x, colimador, transformadores de alta frecuencia, son importados, ya que es tecnología que está probada internacionalmente y cuenta con mucho respaldo de marcas de renombre. De todos los equipos comercializados, menos del 10% de los modelos cuentan con tecnología digital/automatizada en colimadores. La mayor parte de la innovación se ve aplicada en los controles de disparo, detección y generación de rayos x. Asimismo, los servicios postventa solo ofrecen repuestos y partes para los equipos propios de la marca, los cuales muchas veces no son compatibles con otros equipos de rayos x.

Por otro lado, la actualización de esta pieza en los equipos de rayos x se realiza en promedio cada 5 a 7 años debido al desgaste mecánico que tienen, por lo cual esto marca un flujo de mercado.

3.2 ESTADO ACTUAL

Hoy en día, existen en servicio una amplia variedad de equipos de rayos X, algunos cuya tecnología es muy antigua y requieren del operario para realizar todos los ajustes necesarios para tomar una radiografía. Hay otros, que representan la mayor parte, que controlan automáticamente algunos ajustes, y otros, como la colimación, siguen quedando a cargo del operario; aun así, estos equipos tienen varios años en funcionamiento y su tecnología es antigua. Finalmente, se pueden encontrar una ínfima cantidad de unidades cuya operación es totalmente automática dejando poco margen al error humano. Estos últimos, solo se encuentran integrados de fábrica en equipos de rayos X de muy alta performance. El hecho de automatizar la mayor parte de los parámetros persigue el fin de optimizar los recursos para obtener una imagen óptima y que el equipo tenga una mayor vida útil.

Actualmente, en Argentina, en el mercado de colimadores, no hay equipos automáticos, solo se encuentran unidades manuales. Los mismos provienen todos del exterior, ya que a la fecha no existe producción nacional de estos. Por otro lado, existen fábricas de sistemas de rayos X que no confeccionan sus colimadores, sino que los importan.

3.3 NECESIDAD DEL NEGOCIO Y DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Cuando surge la necesidad de cambiar el colimador del equipo, queda en evidencia que la oferta es muy acotada. Las posibilidades se encuentran entre dispositivos mecánicos, cuya tecnología no está a la altura de las tendencias internacionales en el rubro biomédico, y colimadores automáticos. Estos, no son importados, ya que en un principio su precio es elevado y adicionando los costos impositivos por la importación, su precio final se vuelve inalcanzable e injustificable.

Las condiciones del mercado local conllevan a que los vendedores tomen provecho y sobrevaluen los colimadores mecánicos, obligando a que sus clientes inviertan mucho dinero en tecnología anticuada.

Esta tecnología posee dos desventajas fundamentales en comparación con los equipos automáticos; se produce mayor desgaste de los sistemas de posicionamiento mecánicos, culminando en fallas que rara vez pueden ser reparadas, debido a la escasez de repuestos. La otra desventaja muy importante es que la calidad de los resultados y la seguridad del paciente se depositan totalmente en la capacidad del operario para realizar los ajustes necesarios.

3.4 IDEA DEL PROYECTO

La idea del proyecto consiste en diseñar y construir un prototipo de colimador automático de rayos X, teniendo como objetivo principal la posterior manufactura del mismo, conllevando esto a la modernización de los equipos que están en funcionamiento actualmente. No menos importante, se apunta a suplir a la industria biomédica nacional con equipos modernos a precios competitivos, ofreciendo soporte técnico y garantía local, con todo lo que esto beneficia al cliente con un servicio post venta en el país (reducción de costos y tiempos).

3.5 BENEFICIOS DEL PROYECTO

Se proveerá un prototipo de colimador de última tecnología, el cual se podrá manufacturar con mínimos cambios y comercializar a un precio competitivo, permitiendo a los consumidores acceder a equipos que facilitarán la operación del sistema de rayos X.

Permitirá a las fábricas de equipos de rayos X contar con colimadores con tecnología moderna, que harán más atractivo y no encarecerán el producto final. A su vez, contarán con garantía y soporte nacional.

Por otro lado, se obtendrán beneficios económicos, tanto en la parte de venta, como en el servicio de postventa.

4 ALCANCE

4.1 ALCANCE

Se investigará y diseñará un prototipo viable de colimador automático. En esta etapa se determinará la tecnología a utilizar, tanto en los dispositivos electrónicos, como mecánicos. Se desarrollarán los planos y simulaciones respectivos, y se determinarán las especificaciones técnicas.

Las tareas principales a desarrollar son:

- Diseño de piezas, teniendo en cuenta economía de material, funcionalidad y escalabilidad.
- Programación de interfaz de usuario intuitiva y fácil de manejar.

4.2 LÍMITES O FUERA DE ALCANCE

Los siguientes agregados se dejarán para una posterior versión del colimador:

- Medición de ángulo de inclinación.

4.3 REQUISITOS DE ALTO NIVEL

La siguiente tabla presenta los requisitos que el resultado del proyecto debe cumplir como condición necesaria.

Req. #	Descripción del requisito
1	El equipo debe ser fácil de utilizar e intuitivo
2	El equipo debe tener almacenadas las medidas standar de placas radiográficas
3	El equipo debe ajustar automáticamente la abertura de las placas de plomo a la medida seleccionada
4	Debe poseer una luz indirecta que simula la zona a irradiar
6	Debe tener una pantalla para permitir la configuración del equipo

Tabla 1 - Descripción de requisitos

4.4 SOLUCIONES Y ENTREGABLES PRINCIPALES

El prototipo de colimador automático de rayos x proporcionará gran precisión en la delimitación del área a irradiar, por medio de una interfaz sencilla de utilizar y amigable con el usuario. De esta forma, se eliminará el error humano en la colimación con el objetivo de proteger a las personas (técnicos y pacientes).

La siguiente tabla muestra un listado de los entregables del proyecto (productos o servicios)

Entregables principales	Descripción del entregable
Prototipo de colimador	Prototipo del equipo automático para colimación de rayos X

Tabla 2 - Entregables

5 PLANIFICACIÓN DEL PROYECTO

5.1 PROCESOS

La metodología a aplicar en relación con la estrategia de la Dirección del Proyecto es la de PMI.

El Programa de Investigación del PMI, el más extenso en este campo, avanza la ciencia, la práctica, y la profesión de la dirección de proyectos. El mismo expande

los fundamentos para la dirección de proyectos a través de proyectos de investigación, de simposios, y de encuestas.

5.2 CRONOGRAMA

El cronograma del proyecto se muestra debajo, junto con su diagrama de Gantt.

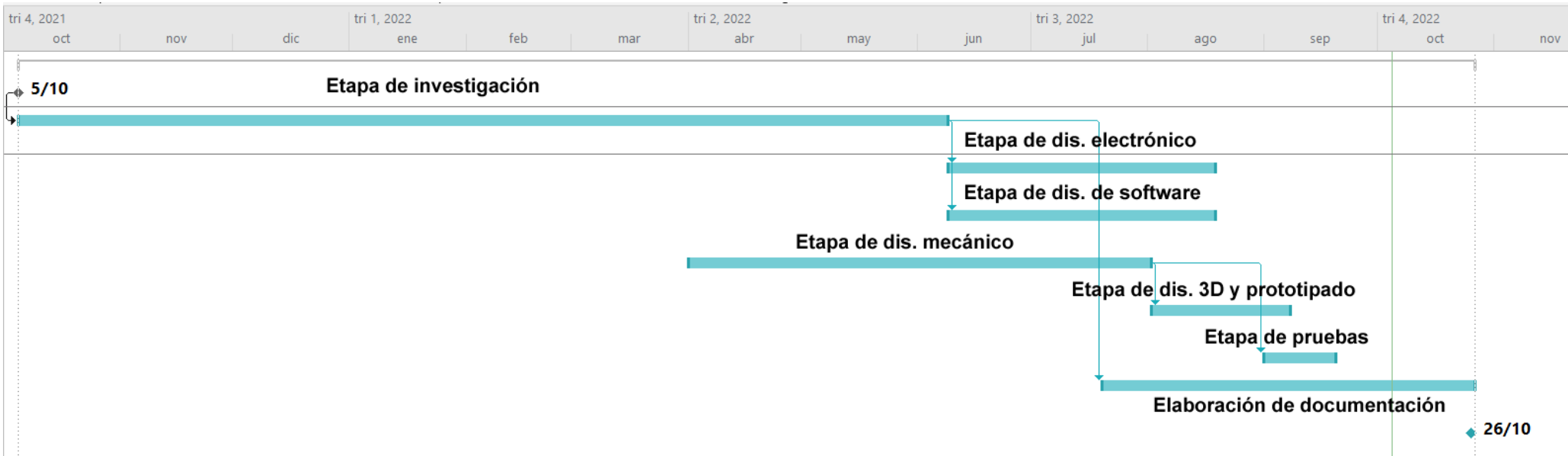


Imagen 1 - Diagrama de Gantt







		Modo de	Nombre de tarea	Duración	Comienzo	Fin	Predecesoras
0			2022-19-CARX	277 días	mar 5/10/21	mié 26/10/21	
1			Inicio	0 días	mar 5/10/21	mar 5/10/21	
2			Etapa de investigación	177 días	mar 5/10/21	mié 8/6/22	1CC
3			Etapa de diseño electrónico	51 días	jue 9/6/22	jue 18/8/22	2
4			Etapa de diseño de software	51 días	jue 9/6/22	jue 18/8/22	2
5			Etapa de diseño mecánico	87 días	vie 1/4/22	lun 1/8/22	
6			Etapa de diseño 3D y prototipado	27 días	mar 2/8/22	mié 7/9/22	5
7			Etapa de pruebas	13 días	jue 1/9/22	lun 19/9/22	5
8			Elaboración de documentación	71 días	mié 20/7/22	mié 26/10/22	2
9			Fin	0 días	mié 26/10/22	mié 26/10/22	

Imagen 2 - Etapas del diagrama de Gantt

Las etapas que se tuvieron en cuenta para la realización del cronograma del proyecto son:

- Etapa de investigación: en esta etapa se incluye la investigación tanto de la parte funcional de los equipos de rayos x, la mecánica de los colimadores actuales, posibles soluciones y formas de encarar el proyecto, etc.
- Etapa de diseño electrónico: En esta etapa se establecen las características que deben tenerlo componentes electrónicos, motores, microprocesador pantalla, etc.
- Etapa de diseño de software: Se realiza el diagrama de flujo del programa y se establecen alcances, entradas, salidas, procesos, subprocesos, funciones y librerías a utilizar.
- Etapa de diseño mecánico: Aquí se realiza el diseño de la parte mecánica, transmisión de movimiento y principios básicos de funcionamiento del colimador.
- Etapa de diseño 3D y prototipado: Se procede al diseño por CAD del colimador, teniendo en cuenta tamaños de electrónica, principios investigados y diseñados.
- Etapa de pruebas: Se realizan pruebas y puesta a punto del colimador.
- Elaboración de documentación: A medida que se desarrolla el proyecto se va asentando la información técnica y principios de funcionamiento de los componentes elegidos.

5.3 HITOS

Hitos Ejecutivos	Fecha estimada de finalización
Inicio del Proyecto	01/03/22
Inicio etapa de investigación	08/03/22
Inicio etapa de diseño electrónico	04/04/22
Presentación etapa de diseño electrónico	13/06/22
Inicio etapa de diseño de software	04/04/22
Presentación etapa de diseño de software	13/06/22
Inicio etapa de diseño mecánico	13/06/22
Presentación etapa de diseño mecánico	08/08/22
Inicio etapa de modelado 3D y prototipado	27/06/22
Presentación etapa de modelado 3D y prototipado	05/10/22
Inicio etapa de pruebas	10/10/22
Presentación etapa de pruebas	26/12/22
Inicio de etapa documentación	10/10/22
Presentación de etapa documentación	15/12/22

Tabla 3 - Hitos del proyecto

6 DESARROLLO DEL PROYECTO

6.1 INTRODUCCIÓN

6.1.1 RAYOS X

6.1.1.1 DEFINICIÓN

La denominación rayos X designa a una radiación electromagnética ionizante, invisible para el ojo humano, capaz de atravesar cuerpos opacos y de imprimir las películas fotográficas. Su capacidad de penetrar materia es tanto mayor cuanto mayor es el voltaje, cuanto más baja es la densidad de la materia y cuanto menor es el número atómico medio de dicha materia atravesada.

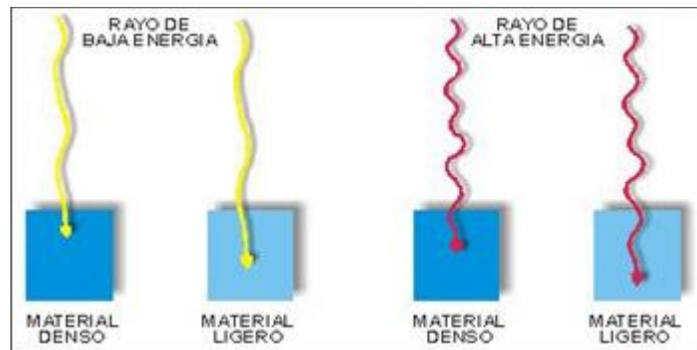


Imagen 3 - Penetración de rayos X

La longitud de onda está entre 10 a 0,01 nanómetros. Los rayos de mayor longitud de onda, cercanos a la banda ultravioleta del espectro electromagnético, se conocen como rayos X blandos; los de menor longitud de onda, que están más próximos a la zona de rayos gamma o incluso se solapan con ésta, se denominan rayos X duros.

Tanto la luz visible como los rayos X se producen a raíz de las transiciones de los electrones atómicos de una órbita a otra. La luz visible corresponde a transiciones de electrones externos y los rayos X a transiciones de electrones internos. Los rayos gamma, cuyos efectos son similares a los de los rayos X, se producen por transiciones de energía en el interior de núcleos excitados. El espectro de difracción de la luz se observa en la siguiente figura.

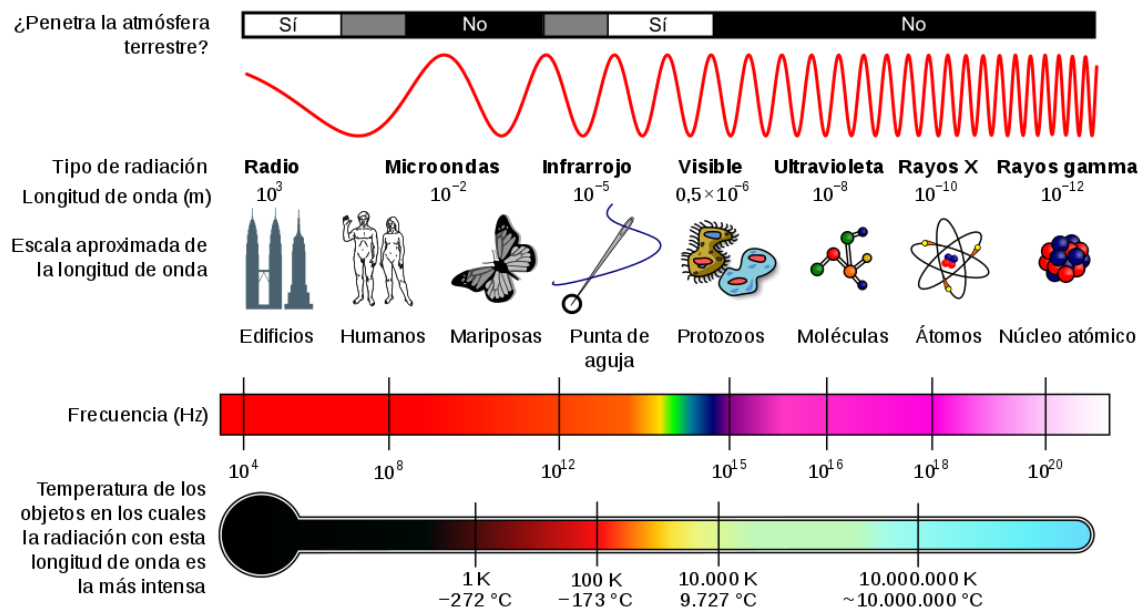


Imagen 4 - Espectro de difracción de la luz

6.1.1.2 DESCUBRIMIENTO

El físico alemán Wilhelm Conrad Röntgen descubrió los rayos X en 1895, mientras experimentaba con los tubos de Hittorff-Crookes y la bobina de Ruhmkorff para investigar la fluorescencia violeta que producían los rayos catódicos. Tras cubrir el tubo con un cartón negro para eliminar la luz visible, observó un débil resplandor amarillo-verdoso proveniente de una pantalla con una capa de platino-cianuro de bario, que desaparecía al apagar el tubo. Determinó que los rayos creaban una radiación muy penetrante, pero invisible, que atravesaba grandes espesores de papel e incluso metales poco densos. Usó placas fotográficas para demostrar que

los objetos eran más o menos transparentes a los rayos X dependiendo de su espesor y realizó la primera radiografía humana, usando la mano de su mujer. Los llamó "rayos incógnita", o "rayos X" porque no sabía qué eran, solo que eran generados por los rayos catódicos al chocar contra ciertos materiales. Pese a los descubrimientos posteriores sobre la naturaleza del fenómeno, se decidió que conservaran ese nombre.

6.1.1.3 PROPIEDADES DE LOS RAYOS X

Los rayos X afectan a una emulsión fotográfica del mismo modo que lo hace la luz. La absorción de rayos X por una sustancia depende de su densidad y masa atómica. Cuanto menor sea la masa atómica del material, más transparente será a los rayos X de una longitud de onda determinada. Cuando se irradia el cuerpo humano con rayos X, los huesos compuestos de elementos con mayor masa atómica que los tejidos circundantes absorben la radiación con más eficacia, por lo que producen sombras más oscuras sobre una placa fotográfica.

- **Fluorescencia:** Los rayos X también producen fluorescencia en determinados materiales, como el platino cianuro de bario o el sulfuro de cinc. Si se sustituye la película fotográfica por uno de estos materiales fluorescentes, puede observarse directamente la estructura interna de objetos opacos. Esta técnica se conoce como fluoroscopia.
- **Ionización:** Otra característica importante de los rayos X es su poder de ionización, que depende de su longitud de onda. La capacidad de ionización de los rayos X monocromáticos es directamente proporcional a su energía. Esta propiedad proporciona un método para medir la energía de los rayos X. Cuando se hacen pasar rayos X por una cámara de ionización se produce una corriente eléctrica proporcional a la energía del haz incidente. Además de la cámara de ionización, otros aparatos más sensibles como el contador Geiger o el contador de centelleo también miden la energía de los rayos X a partir de la ionización que provocan. Por otra parte, la capacidad ionizante de los rayos X hace que su trayectoria pueda visualizarse en una cámara de niebla o de burbujas.
- **Difracción de rayos X:** Los rayos X pueden difractarse al atravesar un cristal, o ser dispersados por él, ya que el cristal está formado por redes de átomos regulares que actúan como redes de difracción muy finas. Los diagramas de interferencia resultantes pueden fotografiarse y analizarse para determinar la longitud de onda de los rayos X incidentes o la distancia entre los átomos del cristal, según cuál de ambos datos se desconozca. Los rayos X también pueden difractarse mediante redes de

difracción rayadas, si su espaciado es aproximadamente igual a la longitud de onda de los rayos X.

- Interacción con la materia: En la interacción entre la materia y los rayos X existen tres mecanismos por los que éstos son absorbidos; los tres demuestran la naturaleza cuántica de los rayos X.
- Efecto fotoeléctrico: Cuando un cuanto de radiación o fotón correspondiente a la zona de rayos X del espectro electromagnético choca contra un átomo, puede golpear un electrón de una capa interna y expulsarlo del átomo. Si el fotón tiene más energía que la necesaria para expulsar el electrón, le transferirá esta energía adicional en forma de energía cinética. Este fenómeno, denominado efecto fotoeléctrico, tiene lugar principalmente en la absorción de rayos X de baja energía.
- Efecto Compton: El efecto Compton, descubierto en 1923 por el físico y educador estadounidense Arthur Holly Compton, es una manifestación importante de la absorción de rayos X de menor longitud de onda. Cuando un fotón de alta energía choca con un electrón, ambas partículas pueden ser desviadas formando un ángulo con la trayectoria de la radiación incidente de rayos X. El fotón incidente cede parte de su energía al electrón y sale del material con una longitud de onda más larga. Estas desviaciones acompañadas por un cambio en la longitud de onda se conocen como dispersión Compton.
- Producción de pares: En el tercer tipo de absorción, que se observa especialmente cuando se irradian elementos de masa atómica elevada con rayos X de muy alta energía, se produce el fenómeno de producción de pares. Cuando un fotón de alta energía penetra en la capa electrónica cercana al núcleo, puede crear un par de electrones, uno con carga negativa y otro con carga positiva; los electrones con carga positiva se conocen también como positrones. La producción de pares es un ejemplo de la conversión de energía en masa. El fotón necesita una energía de al menos 1,2 MeV para proporcionar la masa del par. Si el fotón incidente posee más energía de la necesaria para la producción del par, el exceso de energía se cede al par de electrones en forma de energía cinética. Las trayectorias de las dos partículas son divergentes.
- Poder de penetración: Los rayos X tienen la capacidad de penetrar en la materia.

- Efecto luminiscente: los rayos X tienen la capacidad de que, al incidir sobre ciertas sustancias, éstas emitan luz.
- Efecto fotográfico: los rayos X tienen la capacidad de producir el ennegrecimiento de las emulsiones fotográficas, una vez reveladas y fijadas éstas. Esta es la base de la imagen radiológica.
- Efecto biológico: son los efectos más importantes para el hombre, y se estudian desde el aspecto benéfico para el ser humano en la Radioterapia, y desde el negativo, intentando conocer sus efectos perjudiciales, en la Protección Radiológica.

6.1.1.4 APLICACIONES DE LOS RAYOS X

Los rayos X se emplean sobre todo en los campos de la investigación científica, la industria y la medicina.

6.1.1.4.1 Investigación

El estudio de los rayos X ha desempeñado un papel primordial en la física teórica, sobre todo en el desarrollo de la mecánica cuántica. Como herramienta de investigación, los rayos X han permitido confirmar experimentalmente las teorías cristalográficas. Utilizando métodos de difracción de rayos X es posible identificar las sustancias cristalinas y determinar su estructura. Casi todos los conocimientos actuales en este campo se han obtenido o verificado mediante análisis con rayos X. Los métodos de difracción de rayos X también pueden aplicarse a sustancias pulverizadas que, sin ser cristalinas, presentan alguna regularidad en su estructura molecular. Mediante estos métodos es posible identificar sustancias químicas y determinar el tamaño de partículas ultramicroscópicas. Los elementos químicos y sus isótopos pueden identificarse mediante espectroscopia de rayos X, que determina las longitudes de onda de sus espectros de líneas característicos. Varios elementos fueron descubiertos mediante el análisis de espectros de rayos X.

Algunas aplicaciones recientes de los rayos X en la investigación van adquiriendo cada vez más importancia. La micro radiografía, por ejemplo, produce imágenes de alta resolución que pueden ampliarse considerablemente. Dos radiografías pueden combinarse en un proyector para producir una imagen tridimensional llamada estéreo radiograma. La radiografía en color también se emplea para mejorar el detalle; en este proceso, las diferencias en la absorción de rayos X por una muestra se representan como colores distintos. La microsonda de electrones, que utiliza un haz de electrones muy preciso para generar rayos X sobre una muestra en una

superficie de sólo una micra cuadrada, proporciona también una información muy detallada.

6.1.1.4.2 Industria

Además de las aplicaciones de los rayos X para la investigación en física, química, mineralogía, metalurgia y biología, los rayos X también se emplean en la industria como herramienta de investigación y para realizar numerosos procesos de prueba. Son muy útiles para examinar objetos, por ejemplo, piezas metálicas, sin destruirlos. Las imágenes de rayos X en placas fotográficas muestran la existencia de fallos, pero la desventaja de este sistema es que el equipo de rayos X de alta potencia que se necesita es voluminoso y caro. Por ello, en algunos casos se emplean radioisótopos que emiten rayos gamma de alta penetración en vez de equipos de rayos X. Estas fuentes de isótopos pueden albergarse en contenedores relativamente ligeros, compactos y blindados. Para la radiografía industrial se suelen utilizar el cobalto 60 y el cesio 137. En algunas aplicaciones médicas e industriales se ha empleado tulio 70 en proyectores isotópicos pequeños y cómodos de usar.

Muchos productos industriales se inspeccionan de forma rutinaria mediante rayos X, para que las unidades defectuosas puedan eliminarse en el lugar de producción. Existen, además, otras aplicaciones de los rayos X, entre las que figuran la identificación de gemas falsas o la detección de mercancías de contrabando en las aduanas; También se utilizan en los aeropuertos para detectar objetos peligrosos en los equipajes. Los rayos X ultra blandos se emplean para determinar la autenticidad de obras de arte y para restaurar cuadros.

6.1.1.4.3 Medicina

Las fotografías de rayos X o radiografías y la fluoroscopia se emplean mucho en medicina como herramientas de diagnóstico. En la radioterapia se emplean rayos X para tratar determinadas enfermedades, en particular el cáncer, exponiendo los tumores a la radiación.

La utilidad de las radiografías para el diagnóstico se debe a la capacidad de penetración de los rayos X. A los pocos años de su descubrimiento ya se empleaban para localizar cuerpos extraños, por ejemplo, balas, en el interior del cuerpo humano. Con la mejora de las técnicas de rayos X, las radiografías revelaron minúsculas diferencias en los tejidos, y muchas enfermedades pudieron diagnosticarse con este método. Los rayos X eran el método más importante para diagnosticar la tuberculosis cuando esta enfermedad estaba muy extendida. Las imágenes de los pulmones eran fáciles de interpretar porque los espacios con aire

son más transparentes a los rayos X que los tejidos pulmonares. Otras cavidades del cuerpo pueden llenarse artificialmente con materiales de contraste, de forma que un órgano determinado se vea con mayor claridad. El sulfato de bario, muy opaco a los rayos X, se utiliza para la radiografía del aparato digestivo. Para examinar los riñones o la vesícula biliar se administran determinados compuestos opacos por vía oral o intravenosa.

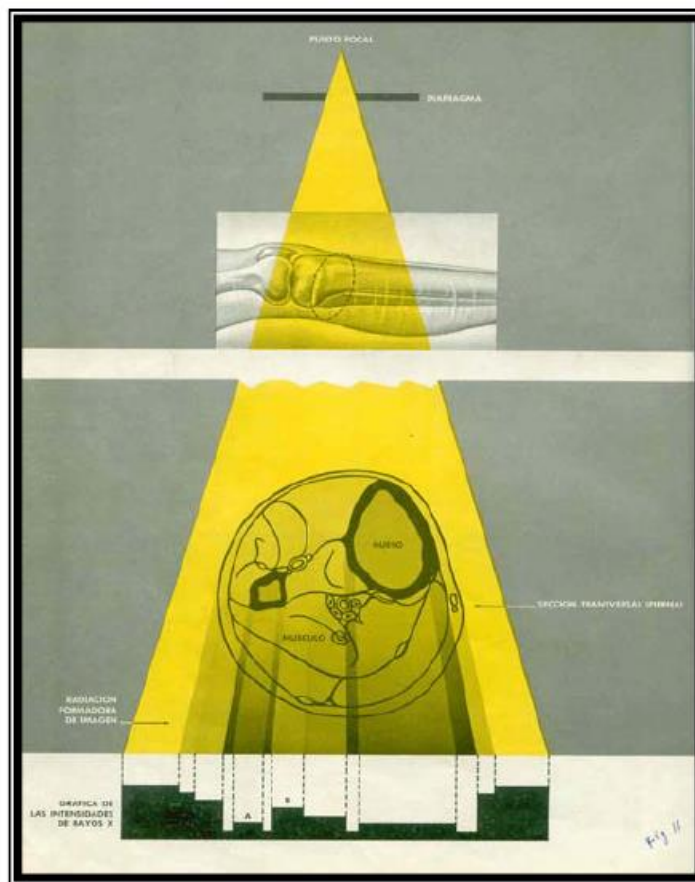


Imagen 5 - Rayos X en diagnóstico médico

6.1.1.5 GENERACIÓN DE RAYOS X

Los rayos X se pueden observar cuando un haz de electrones muy energéticos (del orden de 1 KeV) se desaceleran al chocar con un blanco metálico. Según la mecánica clásica, una carga acelerada emite radiación electromagnética, de este modo, el choque produce un espectro continuo de rayos X a partir de cierta longitud de onda mínima dependiente de la energía de los electrones. Este tipo de radiación se denomina Bremsstrahlung, o 'radiación de frenado'. Además, los átomos del material metálico emiten también rayos X monocromáticos, lo que se conoce como

línea de emisión característica del material. Otra fuente de rayos X es la radiación sincrotrón emitida en aceleradores de partículas.

Para la producción de rayos X en laboratorios y hospitales se usan los tubos de rayos X, que pueden ser de dos clases: tubos con filamento o tubos con gas.

El tubo con filamento es un tubo de vidrio al vacío en el cual se encuentran dos electrodos en sus extremos. El cátodo es un filamento de tungsteno y el ánodo es un bloque de metal con una línea característica de emisión de la energía deseada. Los electrones generados en el cátodo son enfocados hacia un punto en el blanco (que por lo general posee una inclinación de 45°) y los rayos X son generados como producto de la colisión. El total de la radiación que se consigue equivale al 1% de la energía emitida; el resto son electrones y energía térmica, por lo cual el ánodo debe estar refrigerado para evitar el sobrecalentamiento de la estructura. A veces, el ánodo se monta sobre un motor rotatorio; al girar continuamente el calentamiento se reparte por toda la superficie del ánodo y se puede operar a mayor potencia. En este caso el dispositivo se conoce como «ánodo rotatorio».2 Finalmente, el tubo de rayos X posee una ventana transparente a los rayos X, elaborada en berilio, aluminio o mica.

El tubo con gas se encuentra a una presión de aproximadamente 0.01 mmHg y es controlada mediante una válvula; posee un cátodo de aluminio cóncavo, el cual permite enfocar los electrones y un ánodo. Las partículas ionizadas de nitrógeno y oxígeno, presentes en el tubo, son atraídas hacia el cátodo y ánodo. Los iones positivos son atraídos hacia el cátodo e inyectan electrones a este. Posteriormente los electrones son acelerados hacia el ánodo (que contiene al blanco) a altas energías para luego producir rayos X. El mecanismo de refrigeración y la ventana son los mismos que se encuentran en el tubo con filamento.

6.1.2 COMPONENTES BÁSICOS DEL TUBO DE RAYOS X

6.1.2.1 GENERADOR

Un generador de rayos X es un dispositivo que suministra energía eléctrica al tubo de rayos X. No es un generador eléctrico en el sentido estricto de la palabra ya que, por definición, un generador convierte la energía mecánica en energía eléctrica. Un generador de rayos X parte de una fuente de energía eléctrica. El generador de rayos X modifica esta energía para acomodarla a las necesidades del tubo de rayos X. El tubo de rayos X necesita energía eléctrica con dos fines: arrancar electrones del filamento y acelerar estos electrones desde el cátodo al ánodo. El generador de rayos X tiene un circuito para cada una de estas funciones, esto es, el circuito de

filamento y el circuito de alto voltaje. Además, el generador tiene un tercer circuito, un de cronómetro que regula la duración de la exposición.

El generador de rayos X se dispone en dos compartimentos separados: un panel de control o consola y un transformador. Los mandos del panel de control permiten al operador seleccionar el kV, los mA y el tiempo de exposición apropiados para cada estudio particular. Existe un transformador de bajo voltaje para el circuito de filamento y un transformador de alto voltaje junto a un grupo de rectificadores para el circuito de alto voltaje. El rectificador es un dispositivo que cambia la corriente alterna en corriente continua. Las diferencias de potencial en estos circuitos pueden llegar a ser de 150000 V, por lo que transformadores y rectificadores deben estar inmersos en aceite, que cumple la función de aislante.

6.1.2.2 FILAMENTO

El cátodo del tubo de rayos X es un filamento (Fig. 2) de un material (wolframio, molibdeno, rodio) que produce electrones cuando es sometido a un calentamiento. La forma de calentarlo es hacer pasar por el mismo una corriente eléctrica. Cuando un metal se calienta, sus átomos absorben energía térmica y algunos de los electrones del mismo adquieren suficiente energía como para separarse a una pequeña distancia de la superficie del metal. Este escape es lo que se conoce como emisión termoiónica. Cuanto mayor sea la corriente que pasa por el filamento, mayor será la temperatura que adquiera y mayor el número de electrones que emitirá.

El wolframio es el material más comúnmente utilizado como ánodo en tubos de RX, pese a no ser un emisor termoiónico tan eficiente como algunas de sus aleaciones, pero se utiliza debido a su facilidad para formar hilos delgados y fuertes con alto punto de fusión y a su baja tendencia a evaporarse, lo que le hace tener una esperanza de vida razonablemente larga.

Además del filamento, que constituye la fuente de electrones, el cátodo tiene otros dos elementos: los cables conectores que suministran el voltaje y la intensidad (mA) para calentar el filamento y una copa focalizadora metálica. La corriente de electrones a través del tubo de rayos X tiene lugar en un solo sentido (siempre de cátodo a ánodo). Debido a las fuerzas de repulsión mutua y del gran número de electrones que forman la corriente, ésta tendería a extenderse demasiado y bombardear una superficie anódica inaceptablemente amplia. El papel de la copa focalizadora es impedir que se expanda la corriente de electrones, manteniéndola al mismo potencial negativo que el filamento cuando el tubo de rayos X está conduciendo.

Los tubos de rayos X modernos tienen habitualmente un doble filamento. Cada filamento consiste en una espiral de alambre. Una de ellas es más larga y ambas

están montadas una al lado de la otra o bien la una sobre la otra. Para una exposición de rayos X dada sólo se utiliza un filamento y normalmente el filamento mayor, llamado foco grueso, se utiliza para exposiciones más largas. El tamaño de foco es importante para la calidad de imagen. Las exposiciones realizadas con el foco fino ofrecen una mejor calidad de imagen. Sin embargo, cuando se utiliza foco fino, el número de electrones que llegan al blanco disminuye y las exposiciones deben tener una mayor duración para obtener la misma densidad óptica en la placa radiográfica o receptor de imagen. El aumento del tiempo de disparo hace aumentar también la posibilidad de movimiento del paciente y aumenta por tanto el riesgo de penumbra cinética. Además, el tubo sufre un calentamiento mucho mayor lo que acorta su vida útil. Las imágenes obtenidas con foco grueso presentan peor calidad (ya que la penumbra geométrica está relacionada con el tamaño de foco) pero requieren un menor tiempo de disparo con respecto a las realizadas con foco fino para obtenerla misma exposición en el receptor de imagen.

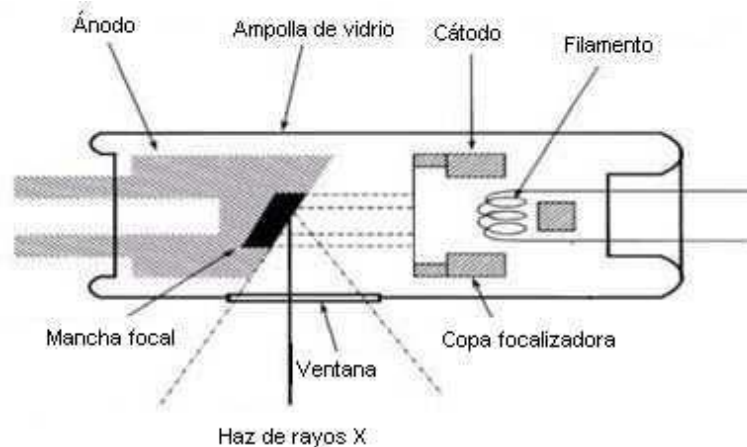


Imagen 6 - Estructura interna del tubo de rayos X

6.1.2.3 ÁNODO

El ánodo es el material (blanco) contra el que chocan los electrones para producir rayos X, normalmente de wolframio. Se llama mancha focal al área del ánodo en la que impactan los electrones procedentes del cátodo. La mayoría de la energía de los electrones se convierte en calor y sólo el 1% se convierte en rayos X. Puesto que el calor se distribuye uniformemente sobre la mancha focal, cuanto más grande sea esta, mayor cantidad de calor podrá acumular antes de que llegue a producirse un daño en el ánodo. Sin embargo, cuanto mayor sea el área del foco menor detalle podremos observar en las radiografías. Este conflicto se resolvió dando una inclinación a la superficie anódica de modo que forme un ángulo con la perpendicular al plano de incidencia del haz. Este ángulo difiere de unos tubos a otros y puede variar de 6 a 20°. Debido a esta angulación, cuando la superficie inclinada de la mancha focal es vista desde la dirección en la cual los rayos emergen del tubo de rayos X, la superficie parece menor, o, dicho de otro modo, el tamaño del foco efectivo o aparente es considerablemente menor que el del foco

real. Cuanto menor sea el ángulo del ánodo, menor será el tamaño del foco aparente. Algunos tubos modernos utilizan un ángulo anódico de sólo 6° . El empleo de ángulos tan pequeños permite aumentar el área sometida al impacto de los electrones (y, por tanto, el área disponible para la disipación de calor), manteniendo un tamaño de foco aparente muy pequeño. Sin embargo, a efectos prácticos, hay un límite por debajo del cual no conviene disminuir más el ángulo del ánodo que viene dictado por el efecto talón, del cual se hablará más adelante. Para radiografías de diagnóstico general realizadas a distancias foco-receptor de imagen de alrededor de 1 m, el ángulo anódico no suele ser inferior a 15° .

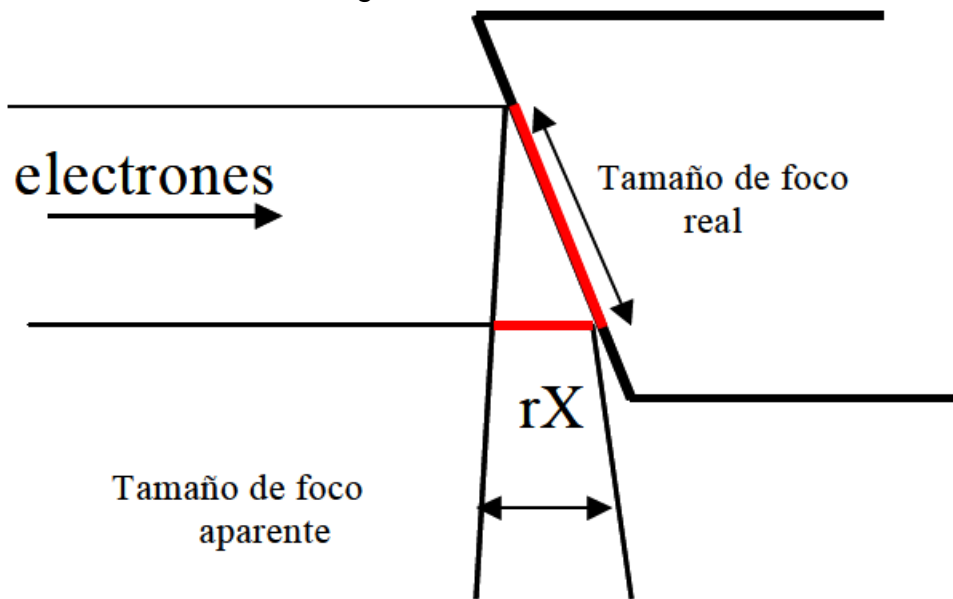


Imagen 7 - Dispersión de rayos X

La forma y tamaño de la mancha focal vienen determinados por la forma y tamaño de la corriente de electrones cuando ésta impacta sobre el ánodo; a su vez, dichas corrientes dependen de las dimensiones del filamento, de la copa focalizadora y de la posición del filamento en la misma. Los tamaños de foco aparente comúnmente usados son de 0.1, 0.3, 0.6, 1.2 y 1.5 mm.

Los ánodos pueden ser de dos tipos: estacionarios o rotatorios. El ánodo estacionario consiste en una pequeña placa rectangular de wolframio de 2 a 3 mm de espesor embebida en una masa de cobre. Se utiliza wolframio como material para el ánodo por varios motivos:

- Tiene un alto número atómico ($Z = 74$) que lo hace más eficiente para la producción de rayos X, es decir, tiene una alta emisividad termoiónica
- Debido a su alto punto de fusión (3370°C), es capaz de soportar las altas temperaturas producidas en el proceso de generación de RX, y

- Es un material razonablemente bueno desde el punto de vista tanto de la absorción de calor como de la disipación del mismo.

Sin embargo, a pesar de sus buenas propiedades térmicas, el wolframio no es capaz de soportar el calor producido por exposiciones repetidas. El cobre es mejor conductor del calor, con lo que aumenta la capacidad térmica total del ánodo y su velocidad de enfriamiento, de ahí que se emplee también en la construcción del ánodo.

El ánodo rotatorio consiste en un disco, en general de wolframio o aleación de wolframio que rota teóricamente a una velocidad de unos 3600 rpm en el momento de la exposición. Dicho disco tiene un borde inclinado, al igual que el ánodo estacionario. El propósito del ánodo rotatorio es distribuir el calor producido durante una exposición sobre un área anódica mayor. Debido a la inercia que presenta el disco a la rotación, existe un pequeño retraso entre la aplicación de la fuerza y el momento en que el rotor alcanza la máxima velocidad angular. Este período normalmente varía entre 0.5 y 1 s. En los tubos existe un circuito de seguridad que impide realizar una exposición hasta que el rotor ha alcanzado su máxima velocidad.

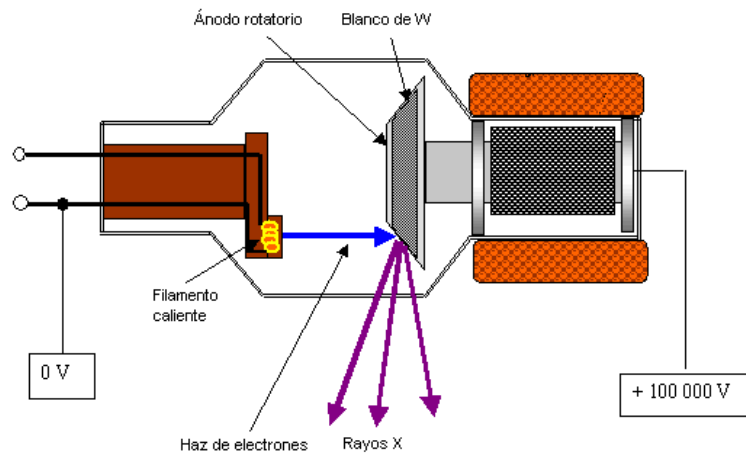


Imagen 8 - Estructura del tubo de rayos X

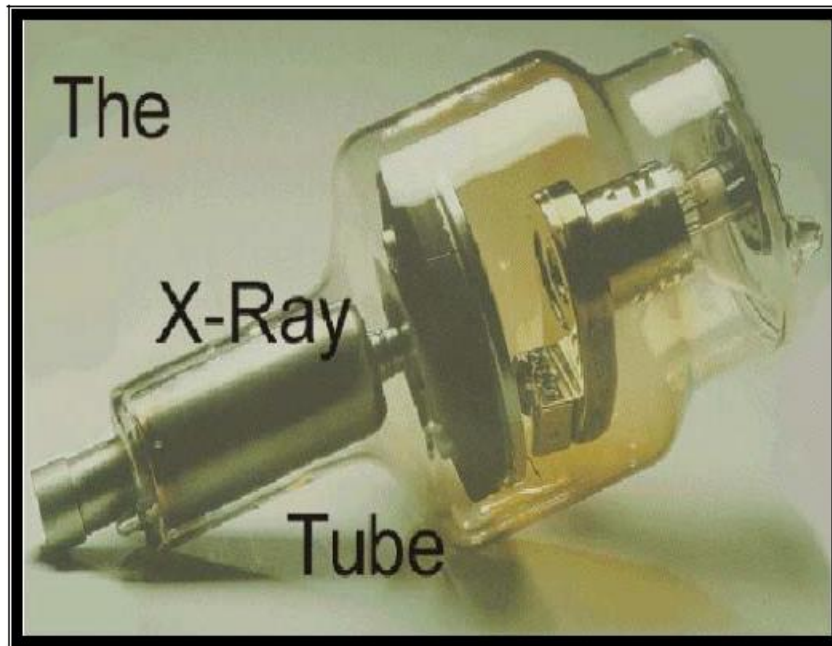


Imagen 9 - Tubo de rayos X

6.1.2.4 VACÍO

Todos los elementos descritos anteriormente están encerrados en una ampolla de vidrio en la que se ha hecho el vacío. Si existiera un gas dentro del tubo, los electrones chocarían contra las moléculas de gas en su camino entre cátodo y ánodo y perderían energía, con lo que no adquirirían la velocidad deseada. Además, en los choques entre los electrones y las moléculas de gas se producirían ionizaciones y, por tanto, los átomos y moléculas cargados positivamente viajarían hacia el filamento, acabarían destruyéndolo al chocar contra él y se generarían electrones secundarios que serían acelerados hacia el ánodo. Esta producción de electrones secundarios no puede controlarse de manera satisfactoria y su presencia traería como consecuencia una variación en el número y la velocidad de los mismos y por tanto en la corriente del tubo y en la energía de los RX producidos. Por tanto, la finalidad del vacío en los tubos de RX modernos es permitir controlar de modo independiente el número y la velocidad de los electrones.

6.1.2.5 BLINDAJE

El tubo de rayos X debe tener un blindaje frente a la radiación y también frente a los altos voltajes. La radiación que se produce en un tubo de rayos X no se trata de algo confinado que emerge únicamente por la ventana del mismo. En realidad, los rayos X se emiten desde el blanco con aproximadamente la misma intensidad en todas las direcciones. A esta radiación emergente en todas direcciones desde el

foco se le denomina radiación de fuga. Además, los rayos X se dispersan en todas direcciones como resultado de las colisiones de los fotones con diferentes estructuras que se encuentran dentro y alrededor del tubo. Por todo esto, el tubo está rodeado de un blindaje de plomo que sirve para absorber fotones primarios y secundarios que de otro modo producirían una alta intensidad de radiación alrededor del mismo, dando lugar a una exposición innecesaria tanto de pacientes como de profesionales, además de un velo y una borrosidad excesivas para las radiografías.

La efectividad del blindaje para limitar la radiación de fuga debe cumplir las especificaciones de la ICRP (International Commission of Radiation Protection), la cual establece que la radiación de fuga medida a 1 metro de la fuente no debe exceder de 1mGy/h cuando el tubo opera a la máxima potencia.

Otra función del blindaje es proporcionar protección frente a los altos voltajes requeridos para producir los rayos X. Los cables de alto voltaje, que están conectados al tubo a través de receptáculos apropiados en el blindaje, contienen una conexión a tierra. Para impedir cortocircuitos entre los cables de tierra y el tubo, el espacio entre ellos se rellena con un aceite mineral, el cual tiene buenas propiedades como aislante eléctrico y refrigerante.

6.1.2.6 FILTROS

Los filtros son capas de material metálico que se colocan a la salida del haz de rayos X y absorben parte de la radiación que sale del tubo a través de la ventana, fundamentalmente la radiación de baja energía. Dicha radiación de baja energía no contribuye a la formación de la imagen ya que, dado su bajo poder de penetración no es capaz de atravesar al paciente por completo para llegar al receptor de imagen, pero en cambio sí aumenta la dosis al paciente. Por tanto, si mediante filtros eliminamos parte de esos rayos X, conseguiremos impartir menores dosis en piel sin afectar a la calidad de imagen.

La filtración inherente es el resultado de la absorción de los fotones de rayos X en su paso a través del envoltorio de vidrio que recubre el cátodo y el ánodo, el aceite aislante y la ventana del blindaje. La filtración inherente se mide en milímetros equivalentes de aluminio, que representan el espesor de aluminio que produciría el mismo grado de atenuación que el espesor del material en cuestión. La filtración inherente normalmente varía entre 0.5 y 1 mm de Al.

La filtración añadida es aquella producida por absorbentes colocados a la salida del haz de rayos X. La atenuación es más intensa cuando la interacción predominante es el efecto fotoeléctrico y disminuye cuando aumenta la interacción Compton. La

energía de la radiación filtrada del haz puede regularse seleccionando un material con número atómico apropiado. Los materiales comúnmente seleccionados en radiodiagnóstico son el aluminio y el cobre.

6.1.2.7 EFECTO TALÓN

La intensidad del haz de rayos X que abandona el tubo no es uniforme en toda la superficie del mismo, sino que depende del ángulo en el que se emiten los fotones desde el foco, siendo menor en la parte del haz más cercana al ánodo. Esta variación de intensidad es lo que se conoce como efecto talón. La disminución de intensidad del haz a ángulos aproximadamente paralelos a la superficie del ánodo se debe a la absorción de algunos de los fotones por el mismo ánodo.

Por otra parte, debido a la ley del inverso del cuadrado de la distancia, los rayos que impresionan la película en los extremos del haz han recorrido una distancia mayor que los que la impresionan en el eje del mismo, con lo cual la intensidad en aquella región de la placa radiográfica será menor. Además, la radiación que sale en direcciones oblicuas atraviesa un espesor de absorbente (vidrio, aceite) mayor que la que sale en direcciones próximas al eje del haz. La intensidad del haz en función del ángulo de emisión varía dependiendo de las características físicas de cada tubo y de su antigüedad.

El efecto talón se ve acrecentado con las rugosidades del ánodo y éstas van aumentando con el uso del tubo y el empleo de valores altos de kV y mAs. Este efecto es menos importante cuando se utilizan distancias foco-película grandes y, para una distancia foco-película dada, es menos importante para tamaños de campo menores, ya que la intensidad del haz cerca del eje es más uniforme que hacia la periferia del mismo. El efecto talón puede compensarse exponiendo por el lado del ánodo partes del cuerpo del paciente con menor espesor o densidad.

6.1.2.8 COLIMACIÓN

Como resultado de la interacción de los rayos X con el tejido, el efecto Compton produce radiación dispersa, que no sólo provoca la aparición de información carente de utilidad en la imagen radiográfica, sino que también eleva el velo de la película y, como consecuencia, reduce el contraste de la imagen. La intensidad de la radiación dispersa es función del kV, del tamaño de campo y del grosor del tejido irradiado. Aunque la selección de un kilovoltaje bajo reduce el porcentaje de radiación dispersa que alcanza la película, el uso de dichos valores trae como consecuencia el aumento de la dosis de radiación en el paciente, al producirse un aumento de la absorción de rayos X de baja energía. Por tanto, se buscan métodos más efectivos, como es el uso de colimadores.

El colimador es un dispositivo de plomo que se sitúa a la salida del tubo de rayos X y sirve para limitar el área irradiada. Pueden ser de diferentes formas, rectangulares, cónicos, como en el caso de equipos dentales, o trapezoidales como en el caso de equipos de mamografía. Un ajuste adecuado de la colimación supone menor dosis para el paciente y la producción de menor radiación dispersa, es decir, una mejor calidad de imagen, además de una reducción de la dosis que recibe el personal situado en las inmediaciones del tubo en cuestión. Casi todos los equipos disponen actualmente de colimación automática con ajuste al tamaño del chasis, o en el caso de los detectores digitales de panel plano al tamaño de campo seleccionado.

6.1.2.9 REJILLA ANTIDIFUSORA

Los dispositivos restrictores del haz (diafragmas, conos, cilindros) ofrecen un modo eficaz de reducir la radiación dispersa, pero su empleo por sí solo no resulta suficientemente efectivo. La rejilla anti difusora es un dispositivo que se sitúa entre el paciente y el receptor de imagen y consiste en una serie de láminas de plomo (radio-opaco) separadas por espacios que dejan pasar la radiación (radiotransparente). La orientación de estos espacios es tal que por ellos sólo pasa la radiación proveniente del foco de rayos X, es decir, la propagada en línea recta desde la fuente al receptor de imagen, mientras que los rayos X transmitidos en dirección oblicua, en un cierto ángulo con la rejilla, son absorbidos por la misma.

Las rejillas disponibles comercialmente pueden tener sus láminas paralelas o focalizadas. Las rejillas paralelas atenúan más los rayos X primarios en el borde de la radiografía que en el centro.

Por tanto, la densidad óptica es mayor en el centro y menor en los bordes. Las rejillas focalizadas proporcionan una densidad óptica más uniforme siempre que estén colocadas a la distancia correcta del foco (distancia de focalización).

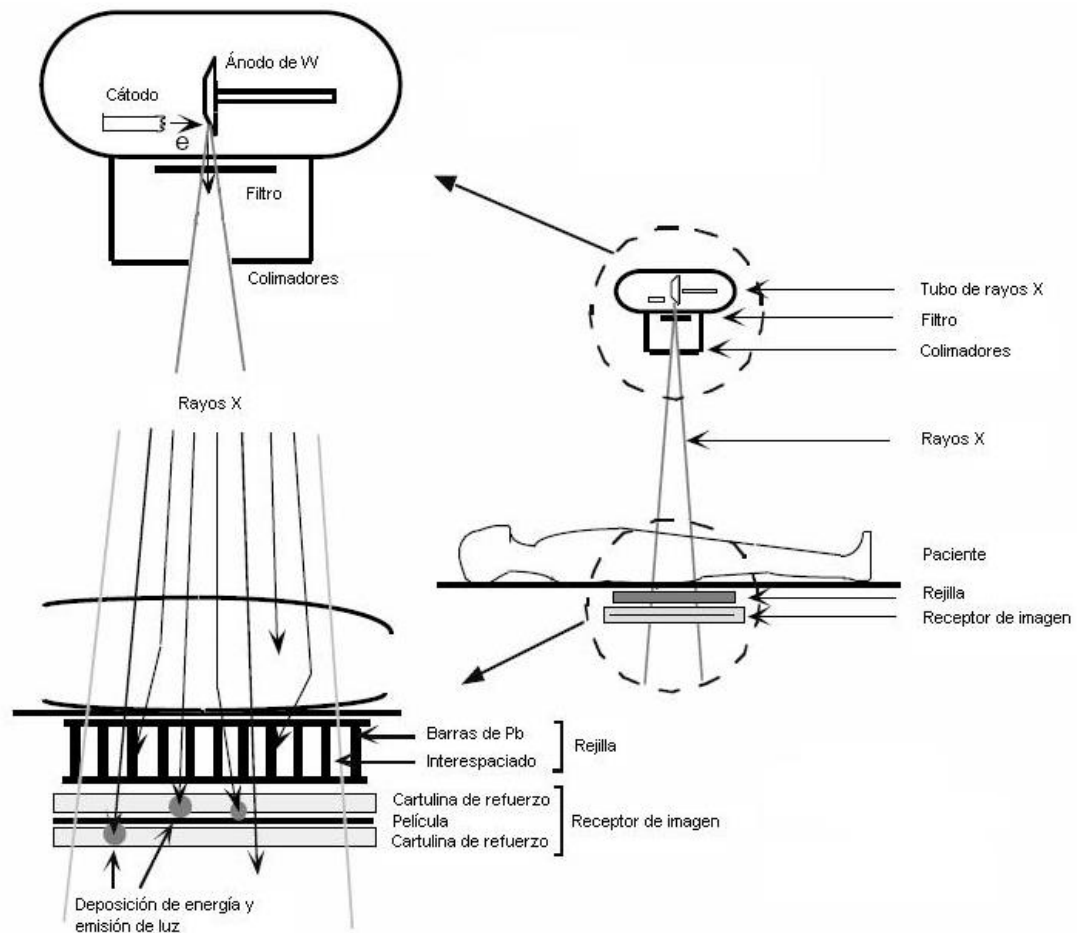


Imagen 10 - Rayos X en diagnóstico médico

6.1.2.10 RECEPTORES DE IMAGEN

La radiación transmitida después de atravesar un determinado espesor de tejido es lo que se conoce con el nombre de radiación primaria. Esta radiación no puede ser observada directamente, pero puede convertirse en visible mediante el uso de algún tipo de sistema de imagen, como son los sistemas película radiográfica y cartulina de refuerzo, intensificador de imagen y monitor de televisión o los sistemas digitales.

Las películas radiográficas consisten en una emulsión sensible a la radiación compuesta por una mezcla homogénea de gelatina y cristales de haluro de plata, normalmente recubierta por ambos lados de una lámina de plástico transparente llamada base, la cual va unida a la emulsión mediante una fina capa de adhesivo. La radiación primaria que emerge del paciente y llega a la película radiográfica deposita energía en la emulsión, principalmente por interacción fotoeléctrica, con los átomos de los cristales de haluro de plata. Esta energía se deposita con un

patrón representativo del objeto o la parte anatómica que se está fotografiando. Si se observa la película inmediatamente después de su exposición, no se ve nada, aunque existe, sin embargo, una imagen llamada latente. Mediante una serie de procesos químicos adecuados la imagen latente se convierte en una imagen manifiesta.

6.1.2.11 SISTEMAS DIGITALES

Los sistemas digitales de proyección utilizados hoy en día son los sistemas CR (Computed Radiography) y los digitales directos o DR (Digital Radiography).

En los sistemas de radiografía computarizada o CR se realiza la adquisición de una imagen mediante una lámina de fósforo fotoestimulable que se utiliza dentro de chasis convencionales. Dichos chasis se utilizan en los sistemas de radiografía convencional en lugar de los sistemas cartulina-película, y la obtención de la imagen requiere igualmente un procesamiento de los fósforos. Este procesamiento convierte la imagen latente formada en el fósforo en imagen digital mediante lectura con un láser. Una vez digitalizada, la imagen puede ser procesada en un ordenador y almacenada de manera electrónica.

Los sistemas de radiografía digital directa se denominan así porque en ellos la adquisición de la imagen es directamente digital. Esto se consigue con los denominados paneles planos (flat panel), detectores que convierten los fotones de RX en una imagen digital sin necesidad de un procesamiento previo.

Estos sistemas tienen las ventajas de que son muy robustos (son compactos y sin partes móviles), el proceso de exposición y lectura se hace en un único paso (con películas y con CR se realiza en dos pasos) por lo que se puede ver la imagen inmediatamente (no hay demora de unos minutos hasta saber si la imagen es aceptable) y poseen una gran eficiencia en el uso de la radiación para formar la imagen.

6.1.3 COLIMADORES

El colimador es un dispositivo que se sitúa a la salida del tubo de rayos X y sirve para limitar el área irradiada. Esta función nos permite colimar la región que queremos irradiar, obteniendo una imagen mucho más nítida y más localizada.



Imagen 11 - Colimador de rayos X

Las principales funciones que debe cumplir este dispositivo, son:

- Delimitar la zona a irradiar con rayos x para obtener una mejor imagen radiológica.
- Proteger al paciente de una excesiva (e innecesaria) dosis de radiación.
- Proteger al operario del equipo de rayos x, de la exposición a los rayos x.

6.1.3.1 TIPOS DE COLIMADORES

Dependiendo de su uso y tecnología, existen de diversas formas constructivas, de área fija o variable, de simple o doble colimación, de diferentes formas geométricas, etc. Pero todos funcionan bajo el mismo principio: los rayos x a bloquear son interceptados en su trayectoria, por un material de alto número atómico (generalmente plomo), y la zona a irradiar tiene un tamaño y forma que depende de la distancia del punto focal, y la distancia al objetivo radiográfico.

Actualmente los principales tipos de colimadores son los que se ven a continuación:

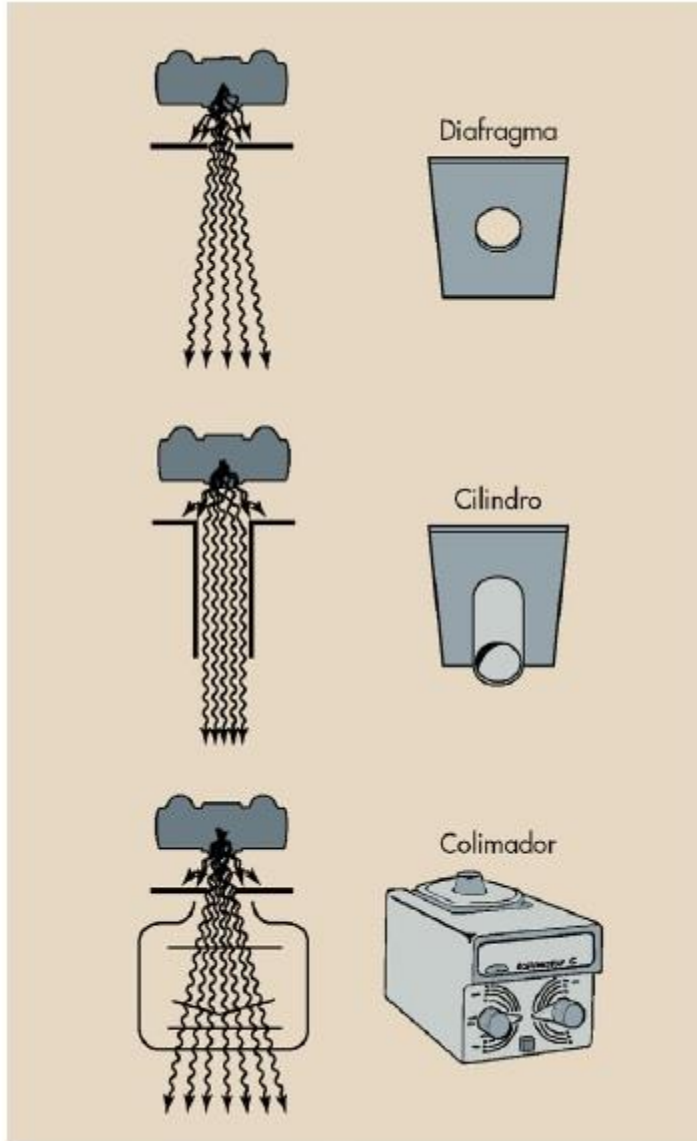


Imagen 12 - Camino de los rayos X

- El colimador de diafragma consiste en una placa lisa, con una abertura de tamaño y forma determinada. En el caso de querer modificar de forma o área, se debe cambiar el diafragma completo.
- El colimador de cilindro es similar al anterior, pero posee una prolongación de su abertura, lo que produce la obstrucción de los rayos que no se desplazan en forma perpendicular a la zona a irradiar.
- El colimador rectangular o de abertura variable consiste en un equipo capaz de desplazar juegos de placas limitadoras, en función de la zona a irradiar deseada. Esto se consigue moviendo perillas que controlan los dos ejes espaciales. De esta manera, se obtiene un equipo que permite el uso de diversos tamaños de películas radiográficas con solo ajustar un par de perillas.

6.1.3.2 PARTES DEL COLIMADOR DE ABERTURA VARIABLE

El esquema simplificado de un colimador se muestra en la figura 13. Las partes más importantes son el conjunto de placas que limitan los rayos x, y el sistema foco-espejo, que sirve para reproducir con luz visible, la zona a irradiar, de manera que el operario pueda realizar una adecuación de la misma.

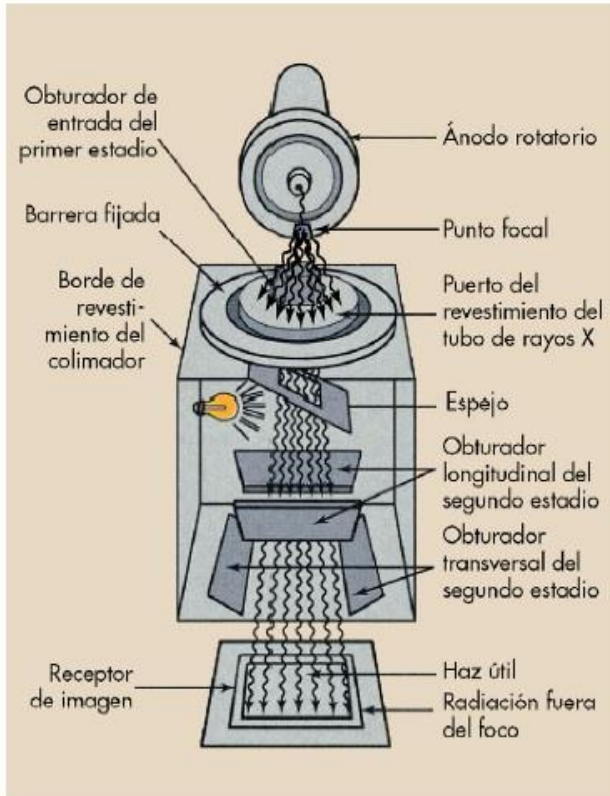


Imagen 13 – Esquema simplificado de colimador

Estos dos sistemas responden a principios físicos y su correcto funcionamiento depende de un adecuado cálculo de diseño y ubicación de los mismos.

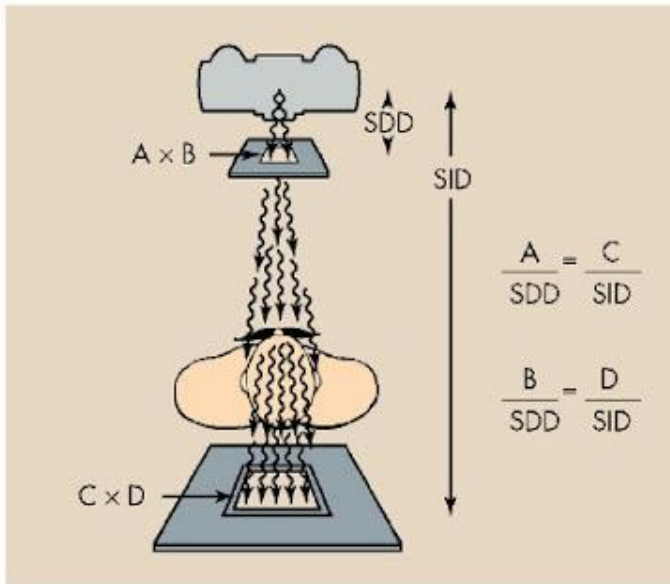
Otro sistema, no mostrado en la imagen, consiste en el sistema mecánico que produce el desplazamiento de las placas. Este puede variar de acuerdo al fabricante y tecnología (manual, eléctrico, automático).

6.1.3.3 ABERTURA DE LAS PLACAS LIMITADORAS

El sistema de placas que limitan la zona a irradiar consiste en dos juegos de placas de un material absorbente, cada uno dispuesto en un eje espacial, y perpendicular al otro, en un sistema de dos ejes (dos dimensiones).

Cada par de placas se desplaza desde su punto de cierre (placas juntas), en igual medida, hasta el máximo permitido. De esta manera al mover los sistemas de cada eje por separado, se obtienen áreas de abertura rectangulares.

Para explicar el cálculo de abertura de las placas, se debe observar la siguiente imagen.



La medida de la abertura de las placas colimadoras AxB depende de:

- La distancia desde el punto focal hasta el plano de las placas (SDD).
- La distancia desde el punto focal hasta el plano de la película radiográfica (SID).
- Las medidas de la zona a irradiar sobre la película (CxD).

Imagen 14 - Distancias a camilla

La distancia SDD es un dato característico de cada tubo de rayos x y viene dado por el fabricante.

La distancia SID es más bien una norma práctica adoptada por la mayoría de los fabricantes y se refiere a 1 metro de distancia desde el punto focal.

La medida CxD responde al tamaño de película radiográfica a usar. Dado que históricamente la mayor placa radiográfica que existe, mide 44cm x 44cm, se utiliza esa medida como máxima abertura a irradiar.

Una relación geométrica dice que si el centro de los planos de colimación AxB y el de la placa CxD, coinciden sobre un eje vertical, entonces se cumple que:

$$\frac{A}{SDD} = \frac{C}{SID}$$

Y lo mismo para el otro par de placas:

$$\frac{B}{SDD} = \frac{D}{SID}$$

De esta manera, con los datos de SID, SDD y CxD, se puede calcular la abertura AxB necesaria.

Una característica importante de estos colimadores de abertura variable es que suelen tener doble juego de placas de colimación. Es decir, el haz de rayos x se colima dos veces, en planos separados cierta distancia. El propósito de esto es colimar rayos x que no viajan con el mismo ángulo de abertura que el conjunto útil. Esto sucede debido a que no todos los electrones inciden en el punto focal del ánodo, generando rayos “dispersos” que tienen otro ángulo de incidencia. Dicha dispersión contribuye a obtener una imagen menos nítida o “doble silueta”, por lo que es deseable eliminarla. Este fenómeno se entiende mejor con la siguiente figura.

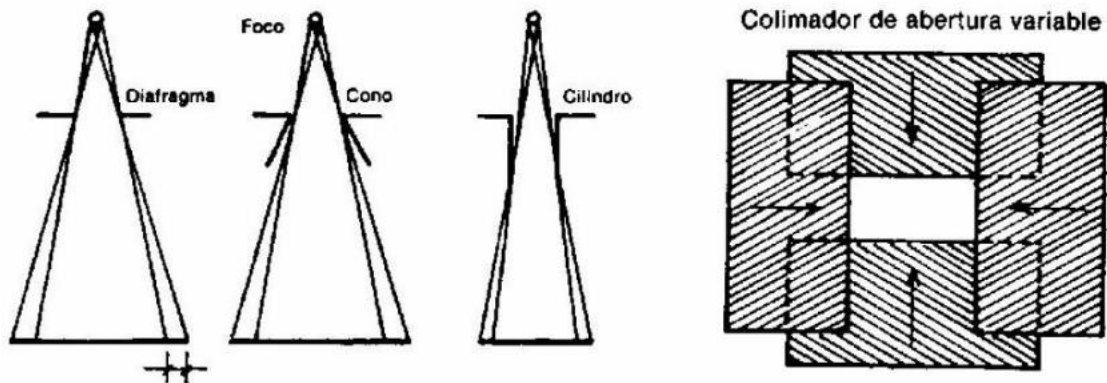


Imagen 15 - Proyección de abertura

Se puede observar que hay dos haces incidentes, que parten desde puntos distintos. Para eliminar el exterior (indeseado), el segundo juego de placas se coloca desplazado, en dirección más cercana al objetivo a irradiar, una cierta distancia. En función de esa distancia, este segundo juego de placas debe tener una abertura que guarda relación con el primer juego de placas, de forma que ambos juegos de colimación estén en fase y permitan el paso del haz de rayos útiles.

6.1.3.4 SISTEMA DE ILUMINACIÓN TESTIGO

Una función muy importante y necesaria del colimador es proveer una luz visible que sea una réplica fiel de la zona a irradiar. Esto se consigue colocando adecuadamente una fuente de luz en el colimador, la cual se refleja en un espejo ubicado en la trayectoria de los rayos x, de forma que la luz incide sobre las placas limitadoras, de la misma manera que lo hacen los rayos x.

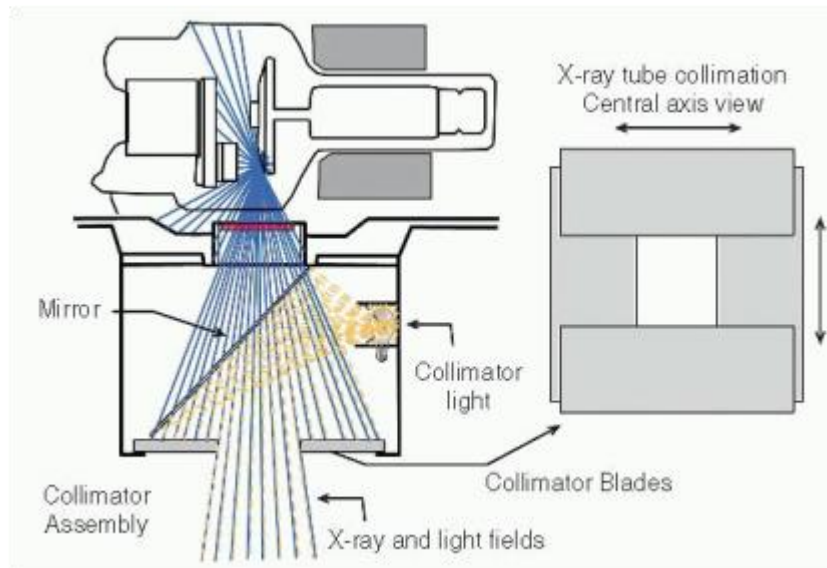


Imagen 16 - Sistema de iluminación

El hecho de interponer un espejo (normalmente de aluminio), en la trayectoria de los rayos, produce atenuación de estos, pero solo en los que tienen baja energía y que no contribuyen a obtener una imagen clara. De hecho, dependiendo el equipo puede suceder lo contrario. Es deseable eliminar los rayos x con energía baja, ya que estos solo aportan radiación al paciente y no son aprovechados por la película radiológica.

Esta filtración inherente de los colimadores, producida por el espejo y vidrio, se mide en milímetros de aluminio. Normalmente está entre 1 y 2 mm de Al.

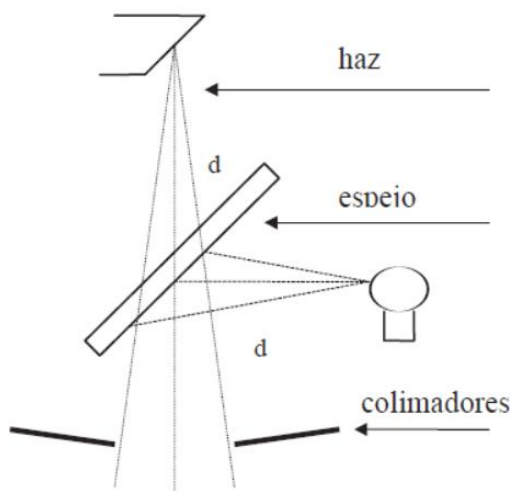


Imagen 17 - Creación del campo luminoso

Si se coloca el espejo de forma que el centro de su plano esté colinealmente con el centro de los rayos x, la normal del plano se encuentre formando un ángulo de 45° tanto de la fuente de rayos como de la fuente de luz y que la distancia hasta las dos sea igual, entonces se puede afirmar que la luz visible se refleja en el espejo con la misma abertura que tiene el haz de rayos x. De esa manera, la luz llegará a las placas colimadoras con la misma incidencia y ángulo de abertura que los rayos x, derivando en una zona iluminada sobre la placa radiológica, que refleja exactamente la zona a irradiar.

6.2 DESARROLLO

6.2.1 POSTULADOS PREVIOS

Como en todo diseño, antes de comenzar con el mismo, es necesario establecer los parámetros a cumplir el equipo al finalizar su desarrollo. También es imperativo reunir los datos técnicos e información necesaria para aplicar los conceptos matemáticos, explicados antes en la introducción teórica.

Dado que el equipo que se quiere diseñar, a su vez, formará parte de otros equipos previamente existentes (tubos de rayos x) y provenientes de diversos fabricantes, es necesario estudiar las características constructivas que tienen estos equipos y que pueden afectar nuestro diseño. Todo esto con el objetivo de obtener un equipo que sea lo más universal posible, dentro de su aplicación, y que pueda ser utilizado en la mayor cantidad posible de equipos de rayos x.

Habiendo estudiado la teoría necesaria para el diseño (previamente expuesta en este informe), de las partes importantes del colimador: placas limitadoras y de la fuente de luz visible; podemos establecer que hay cuatro datos que son de suma importancia, estos son:

- La distancia desde el punto focal (ánodo emisor de rayos x), hasta el plano de instalación del colimador, llamada SDD.
- La distancia desde el punto focal (ánodo emisor de rayos x), hasta el plano de la placa radiográfica, llamada SID.
- El tamaño máximo de placa radiológica que se puede utilizar.
- La potencia de los equipos de rayos x.

Obteniendo esos datos, será posible utilizar las relaciones matemáticas para el cálculo de la abertura de placas y la ubicación del espejo y fuente de luz.

El paso siguiente fue la obtención de dichos datos a través de un estudio de campo y de mercado, de los equipos existentes, tanto tubos de rayos x como colimadores.

Los resultados obtenidos:

- SDD: este dato es el único que puede variar entre los equipos. Normalmente se encuentra de 60 a 80 mm, pero en su gran mayoría, se corresponden con 60mm, con lo cual se adoptará dicha medida.
- SID: este es un dato prácticamente universal y que guarda relación con el tamaño máximo de la placa radiológica. Especifica que la distancia a la cual se produce la máxima abertura es a 1000mm desde el punto focal.
- Máximo tamaño de placa: esta característica tampoco varía entre los equipos, y corresponde a una medida de 440mm x 440mm (a la distancia SID).
- Potencia máxima de 150Kv para los equipos de rayos X utilizados en medicina.

Una vez obtenidas las características que el equipo debe cumplir necesariamente, se plantean el resto de los aspectos u objetivos que son meramente elegibles por los diseñadores:

- Tamaño final de la carcasa: no se establecerá en este punto del diseño, ya que depende en gran medida del sistema mecánico que realiza el desplazamiento de las placas, pero se establecerá que no se debe superar los 280mm de ancho, 300mm de profundidad y 200mm de alto.
- El equipo realizará el movimiento de las placas limitadoras en forma eléctrica, es decir, que la fuerza provenga de motores paso a paso y no desde el operario.
- El colimador contará con un sensor de distancia con el cual obtendrá la ubicación del objetivo (placa radiográfica). Esa información, junto con el tamaño de placa seleccionada por el operario, será procesada por un microcontrolador el cual realizará el desplazamiento de las placas a través de los motores.
- Interfaz para el operario: se proveerá de dos perillas rotativas electrónicas (encoders rotativos) con las cuales el operario podrá navegar en el menú del microcontrolador o ajustar el tamaño de la zona a irradiar (eje X e Y). Se proveerá un botón para el encendido de la luz en forma temporal (normalmente se utilizan 30 segundos en la mayoría de los equipos existentes).

- Para la presentación de los datos se utilizará un display LCD de 16x2 caracteres y dos displays led “siete segmentos”, de dos dígitos cada uno, para la presentación de la medida de abertura en cada eje espacial (X e Y).

6.2.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE PLACAS

Antes de comenzar con los cálculos, y para determinar la abertura, es necesario decidir qué distancia existirá desde el plano de instalación del colimador hasta las placas. Se tomará que corresponde a 85mm para dicha medida. Esto se corresponde con que será necesario colocar un espejo y fuente de luz a una distancia igual a la SDD=60mm, por lo que 85mm ofrece un espacio relativamente cómodo para trabajar y que no excede las medidas impuestas.

Retomando la figura 14 y las ecuaciones:

$$\frac{A}{SDD} = \frac{C}{SID}$$

$$\frac{B}{SDD} = \frac{D}{SID}$$

El objetivo es determinar A y B. Para ello se reemplazan los datos en las ecuaciones y se despeja A y B:

$$\frac{A}{60 + 85} = \frac{440}{1000}$$

$$\frac{65}{x} = \frac{440}{1000}$$

$$147\text{mm} - 60\text{mm} = 87\text{mm}$$

$$\rightarrow A = 63,8 \text{ mm}$$

En el caso de B se obtiene el mismo resultado ya que la cuenta es igual por ser C = D = 440mm.

Esto significa que para obtener una abertura máxima de 440x440mm a un metro de distancia del punto focal, las placas limitadoras deben tener una abertura de 63,8x63,8mm.

Otra forma de expresar esto es que, considerando los ejes espaciales X e Y, cada placa debe desplazarse $63,8/2 = 31,9\text{mm}$ desde el punto tomado como origen. De esa manera, moviendo en igual medida las dos placas que forman un eje (X o Y), se consigue la abertura máxima cuando cada placa se ha movido 31,9mm. Este es el principio fundamental de este sistema y que es necesario aplicar en cada eje.

Ahora que se conoce el área que tendrá el haz de rayos x en el plano de las placas, se puede decidir el tamaño que tendrán las placas limitadoras.

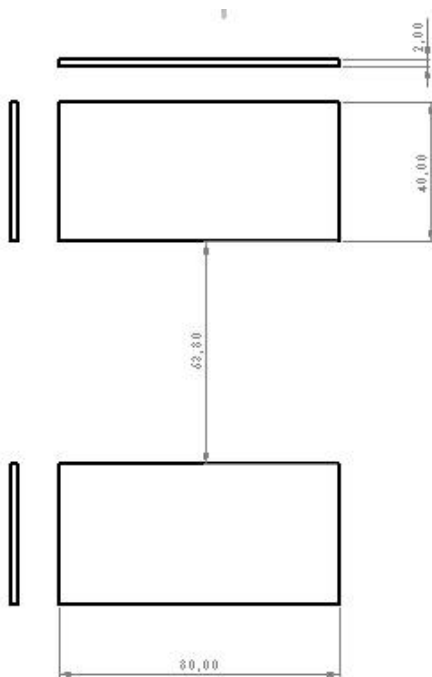


Imagen 18 - Distancias de importancia

Considerando que en el caso extremo en que las placas estén completamente cerradas y no se deba permitir el paso de rayos, el área a bloquear es de 63,8x63,8mm. Cada placa debe bloquear una zona de 63,8x31,9mm.

Con esto deducimos que, si se colocan placas de 40x80mm, sobra superficie para colimar los rayos. El uso de una mayor superficie tiene sentido considerando que es mejor tener un margen de resguardo, el cual no influye en el funcionamiento del dispositivo, pero si asegura un adecuado bloqueo de la radiación. También es necesario ya que, como se explicará a continuación, el par de placas del otro eje, se encontrará desplazado 3mm hacia "abajo" lo cual incrementará la el área irradiada en ese plano espacial.

Se puede tomar que lo expresado hasta aquí corresponde al eje Y o vertical del plano de colimación. En cuanto al eje X o horizontal, como se mencionó, se encuentra desplazado 3mm alejándose del punto focal, de modo que la abertura máxima en este plano deberá ser:

$$\frac{A}{60 + 88} = \frac{440}{1000}$$

$$\rightarrow A = 65,1 \text{ mm}$$

De esta manera, con el tamaño de placas principales seleccionado se cubre perfectamente el área a irradiar.

Como se mencionó en la teoría y retomando la figura 14, es deseable colocar un segundo sistema de placas limitadoras, desplazadas una cierta distancia desde las placas principales, para absorber rayos x que no siguen la trayectoria del haz principal.

La distancia a desplazar debe ser la mayor posible, pues eso ofrece mayor posibilidad de absorber rayos indeseados, pero existe una limitación espacial lógica por el tamaño del colimador. Para estar dentro de las medidas adoptadas al comienzo del diseño, se selecciona 50mm de desplazamiento para el plano de abertura de dichas placas, desde las principales.

Si bien la distancia a la que se coloca este segundo sistema limitador, puede ser elegida con relativa libertad, la relación de abertura de las segundas placas, está ligada matemáticamente a las primeras y a la distancia desplazada, por las mismas relaciones usadas hasta el momento.

Así, si contamos el desplazamiento de 50mm desde el plano de colimación de las primeras placas, la abertura del haz de rayos x tendrá un tamaño:

$$\frac{A'}{60 + 85 + 50} = \frac{440}{1000}$$

$$\rightarrow A' = 85,8 \text{ mm}$$

Es decir que, para el máximo tamaño de placa a tomar, la abertura en el plano del segundo juego de placas será de 85,8x85,8mm.

Dado que tanto las placas A y A', como las B y B', se mueven solidariamente, es necesario que las placas inferiores sean de menor profundidad que las superiores. Esto se ve al notar que, para la máxima abertura posible, el primer juego de placas tiene una separación de 63,8mm y el segundo de 85,8mm. De esta manera, las placas secundarias A' deben tener un tamaño:

$$\Delta A' = (85,8 - 63,8) / 2 = 11 \text{ mm}$$

Esto significa que cada placa A' debe ser 11mm menos profunda que las A. Así el tamaño de cada placa secundaria deberá ser de 80x29x2mm.

Para las placas B' el cálculo y tamaño es el mismo, solo que, al igual que en las placas principales, estará desplazado 3mm hacia abajo del plano de A'.

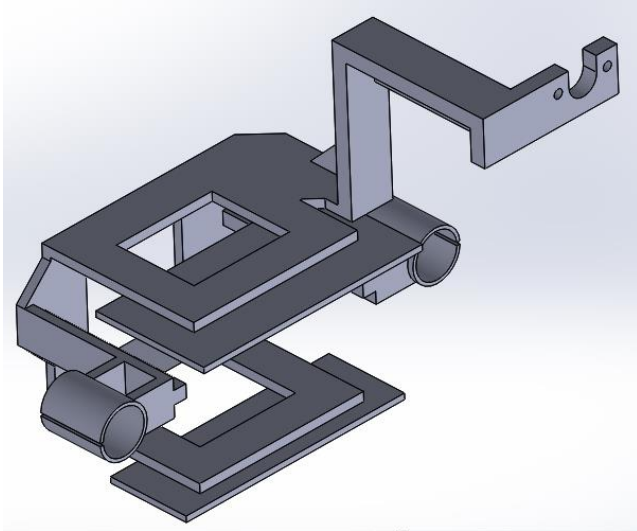


Imagen 20 - Estructura de placas

En las imágenes se ven las estructuras de placas superiores e inferiores, con su debido desplazamiento (50mm) y se aprecia que las placas inferiores son de menor profundidad, como se planteó en los cálculos.

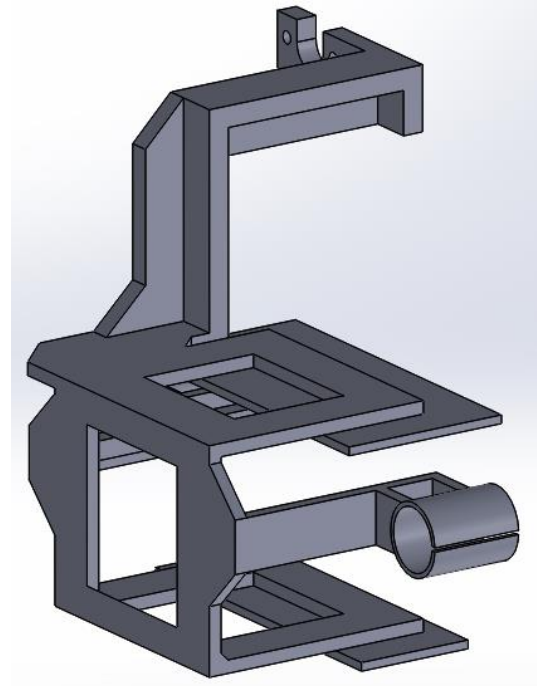


Imagen 19 - Estructura de placas

6.2.3 MARCO ESTRUCTURAL Y TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTOS

6.2.3.1 GUÍAS LINEALES PARA PLACAS

Como se ha mencionado antes, la colimación se realiza gracias a los pares de placas de plomo que se desplazan en dos ejes espaciales, a los cuales se denominarán X y Y para el resto de este informe. De esta forma, en cada eje habrá dos placas que se moverán al mismo tiempo, en la misma dirección, pero en sentido contrario, geoméricamente hablando.

Para realizar el movimiento descrito, ambas placas se deben desplazar sobre una guía lineal, que tenga la dirección del eje X. Para el eje Y el sistema debe ser similar, pero rotado 90°, y con el debido desplazamiento en altura (como ya se mencionó 3mm), para que las placas no se superpongan con las del eje X.

Dado que uno de los objetivos de este desarrollo es utilizar piezas que estén ampliamente difundidas en los mercados de la región, se propone utilizar una de las guías lineales más utilizadas para la fabricación de impresoras 3D, robótica y automatismos: la varilla lisa de 8mm rectificada y templada.



Imagen 21 - Varillas de acero

Se trata de una varilla de acero, sometida a un tratamiento de templado para endurecerla y evitar flexiones, y a un rectificado mecánico para que se asemeje lo mejor posible a una recta sin ondulaciones.

Existen varillas de mayor y menor espesor, las cuales podría servir también para este fin, pero el hecho de seleccionar la de 8mm tiene que ver con su buena relación diámetro-resistencia (suficiente para este propósito), y por su gran difusión y reducido costo (tanto de la barra como de los rodamientos que se utilizan en conjunto).



Imagen 22 - Rodamientos lineales

Sobre la superficie de la varilla se desplazan los rodamientos que se ven en la imagen. Como se ve en la foto, estos poseen bolillas rotativas en su interior para permitir un desplazamiento suave y reducir la fricción.

El sistema de placas debe ir sujetado en la parte exterior de los rodamientos. En la figura 20 se aprecia la estructura de las placas que se desplaza sobre las guías. Se puede ver que en cada extremo lateral posee un cilindro hueco donde calzará este rodamiento, y sobre esto se coloca una abrazadera de presión para

hacer solidario al sistema.

Un punto a favor para la selección de las guías, es que el largo final de cada una de ellas no superará los 200mm, distancia que es relativamente corta. Ese detalle sumado al poco peso de las estructuras y placas (menos de 300g cada estructura), culminará en una flexión de la guía imperceptible o hasta inexistente.

6.2.3.2 MOTORES

Es necesario mover 4 pares de placas (cada par es solidario en una estructura), en dos ejes espaciales. Como ya se explicó, un juego de placas sobre un eje espacial se debe mover la misma proporción que otro juego de placas sobre el mismo eje,

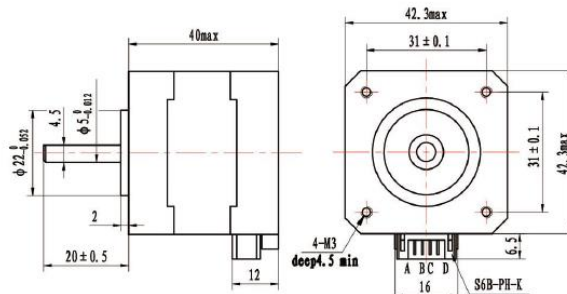
pero en sentido contrario. Lo mismo sucede para el otro eje espacial. Para realizar esto hay dos posibilidades:

- Colocar un motor para cada juego de placas, girando en sentido contrario para placas de un mismo eje. Esto requeriría 4 motores, los cuales deberían ser iguales para producir la misma cantidad de movimiento en cada juego de placas.
- Colocar un motor por cada eje espacial, e invertir el sentido de giro (mecánicamente) antes de transmitirlo a uno de los juegos de placas. Así serían necesarios dos motores.

La primera solución tiene la ventaja de la sencillez mecánica, bastaría con adherir cada motor a una varilla roscada y sobre estas mover las placas. Pero tiene los inconvenientes de elevar costo, producir acumulación de error en el desplazamiento (ya que los motores no se moverán exactamente la misma cantidad, y en el tiempo esa diferencia podría ser acumulada), y el más importante, la poca disponibilidad de espacio para colocar los cuatro motores.

Es principalmente por esta última razón que se utilizará la segunda opción. El mayor inconveniente que podría tener este método es que los motores deben tener la fuerza para desplazar dos juegos de placas y no solo uno, pero en la actualidad esto no es un problema, pues se consiguen fácilmente motores PaP con torque más que suficiente para eso, a un precio accesible y tamaño relativamente pequeño.

De esta manera, los motores seleccionados son dos PaP estándar nema 17 (es un estándar internacional que define características de tamaño de los motores), de 200 pasos o $1,8^\circ$ por paso, bipolares y que son principalmente usados en impresoras 3D. los mismos se ven a continuación.



Dado que estos motores tienen una de las mayores resoluciones posibles (200 pasos por vuelta), es posible obtener una resolución de movimiento muy pequeña sobre las placas: como se explicará más adelante, las varillas roscadas tienen un avance de 8mm por vuelta, por lo que podemos dividir $8\text{mm} / 200 \text{ pasos} = 0.04\text{mm}$ de movimiento de las placas por cada paso que gira el motor. Es decir, que se podría lograr desplazamiento de las placas tan pequeños como 0.04mm. Esta resolución es más que suficiente para el proyecto.

6.2.3.3 TRANSMISIÓN DE MOVIMIENTOS

Debido a que el movimiento de las placas colimadoras se produce en dos ejes espaciales, y dentro de cada eje ambas placas se mueven en igual proporción, pero en sentido contrario, sería deseable utilizar solo dos motores paso a paso, uno para cada eje. Hay varias razones para ello, como costo de los motores y circuitería de control, pero la más importante es la disponibilidad espacial reducida que existe dentro del colimador, y dado que los motores paso a paso son muy voluminosos, es imperativo utilizar la menor cantidad posible.

Volviendo a pensar en las posibilidades disponibles en nuestro mercado, se recurre nuevamente a un sistema de transmisión ampliamente utilizado en la impresión 3D, se trata de varillas roscadas tipo trapecoidal o "Thsl" (el equivalente en sistema métrico a las varillas "Acme" en pulgadas).



Imagen 25 - Varilla roscada

Esta varilla es similar a un tornillo común, pero el (o los) hilo tiene una forma de trapecio cuya cara superior es plana, a diferencia de una varilla roscada normal, donde el hilo termina en un borde afilado. Esto hace que el rozamiento sea mucho menor. Otra diferencia es el paso del hilo, en una varilla común existen muchas vueltas por cada 10mm, mientras que en las Thsl son relativamente pocas.

Estas diferencias hacen que sus propósitos sean totalmente distintos. Las varillas roscadas comunes



Imagen 26 - Tuerca de bronce

tienen por objetivo, junto con sus tuercas, apretar. En cambio, las varillas Thsl tienen por fin desplazar una tuerca con el menor rozamiento posible (transmitir movimiento).

Junto con la varilla, se utiliza una tuerca de bronce o latón como la de la foto, la cual se desplaza sobre la varilla al girar esta.

Cada estructura de placas tendrá una atornillada una tuerca, que se desplazará sobre la varilla. El lugar para la tuerca se puede ver en el extremo del brazo superior en la figura 26.

Hablando específicamente, para este proyecto se utilizará una varilla Thsl de 8mm de diámetro, de 4 hilos y paso de 8mm (por cada vuelta de la varilla la tuerca avanza 8mm).

6.2.3.4 MARCO SOPORTE

La estructura que hará de soporte de todas las piezas móviles es la que se ve en las siguientes imágenes.

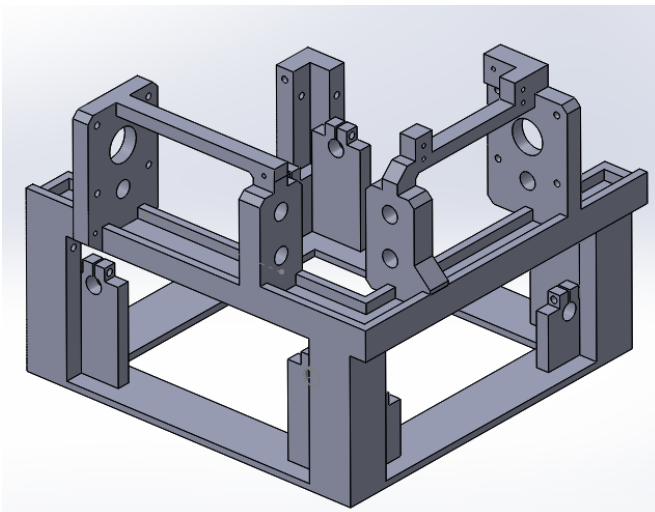


Imagen 27 - Marco de soporte

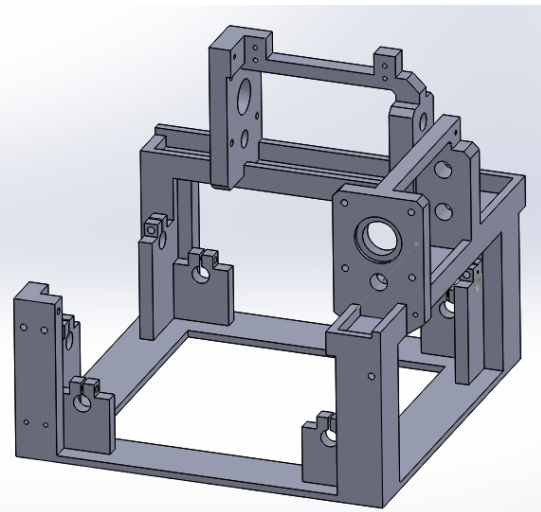


Imagen 28 - Marco de soporte

El soporte fue diseñado dividiendo imaginariamente el mismo en dos niveles horizontales, en el inferior se encuentran los anclajes para las guías lineales, y será donde se desplazarán las placas limitadoras. En el superior se encontrarán los

motores, varillas roscadas, engranajes y es en este nivel donde se producirá la transmisión de movimiento a las placas.

Vale aclarar que el diseño de este soporte está pensado para impresión 3D como método de fabricación, y que, para esto posiblemente sea necesario dividirlo en partes más pequeñas y luego unirlos. También sería posible su producción mediante inyección de plástico, fabricando los debidos moldes y realizando algunas modificaciones al mismo para adecuarlo a dicho método.

6.2.3.5 SISTEMA DE ILUMINACIÓN

Centro espejo 110mm desde fuente rayos

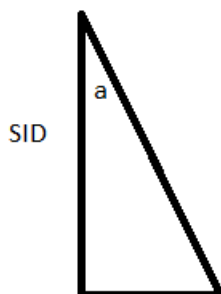
Distancia centro espejo al centro de abrazadera luz = 119mm

Como se explicó anteriormente en el apartado teórico, el objetivo es colocar un espejo que refleje luz visible, a una distancia igual desde la fuente de luz, como desde el punto focal. Otro punto importante es que el espejo debe tener una inclinación de 45° respecto al plano normal que forma la fuente de luz y el de rayos x, de esta manera se consigue que el haz de luz reflejado, coincida con el de rayos x en dirección y ángulo de incidencia.

No hay una regla teórica sobre dónde colocar dicho espejo dentro del equipo, pero si es necesario, una vez elegido un punto espacial, calcular el resto de los parámetros del sistema de iluminación en función de eso. Para el diseño de este sistema de espejo es esencial la ayuda del software de CAD 3D, ya que provee el dimensionamiento espacial necesario para decidir dónde colocar el espejo, realizar los cálculos necesarios y corregir su ubicación en caso de ser necesario.

Utilizando la herramienta de CAD 3D, se decidió que un lugar adecuado para colocar el espejo, es con su centro a una distancia de 110mm desde la fuente de rayos x (a 50mm desde la parte superior del colimador + 60mm distancia focal del cátodo). Esta ubicación no es arbitraria, sino que conlleva a que la fuente de luz visible se ubique a una distancia similar, pero en el plano horizontal. De esta manera, la colocación del espejo en dicho punto, provee una relativa comodidad de diseño y acceso a las piezas.

Un dato que es necesario conocer y calcular, es el ángulo de abertura con el que se propagan los rayos x. Para esto se utilizan la distancia SID (1000mm) y el tamaño de placa máximo (440mm x 440mm). A continuación, se plantea un triángulo rectángulo y se calcula por trigonometría:



$$a = \arctg \frac{220}{1000} = 12,4^\circ$$

Este ángulo “a” corresponde a la mitad del ángulo total de los rayos X. Es decir, el ángulo con el que viajan los rayos X es de 24.8° .

Imagen 29 - Cálculo del ángulo de abertura

Lo siguiente es determinar el tamaño del espejo. Para ello se debe determinar el área de incidencia de los rayos x, es decir, el largo de las aristas de esa superficie. Dado que el espejo tendrá una inclinación de 45° respecto a ambas fuentes, los rayos (x y de luz visible), que inciden en la parte superior del espejo están a menor distancia que los que inciden en la parte inferior, por lo que formarán una arista de menor longitud. En contraste, los que inciden en la parte inferior están a mayor distancia y su mayor recorrido hace que formen una arista de mayor longitud. Otra forma de explicarlo es que, desde el punto de vista normal de ambas fuentes de rayos y luz, “verán” reflejado en el espejo un trapecio isósceles.



*Imagen 30 -
Trapecio
isósceles*

Trapecio isósceles. La parte superior está a menor distancia desde las fuentes, por lo que la incidencia de los rayos forma una arista menor, y viceversa para la parte inferior.

A fines de cálculos, es de interés la arista inferior, pues si las dimensiones del espejo abarcan a esta, también lo hacen con la superior, dado que el mismo será rectangular.

Como primera medida, se calcula el tamaño del lado un cuadrado que formaría la incidencia de los rayos X, en un plano perpendicular a los mismos, y ubicado en el centro del espejo. La siguiente figura representa una vista lateral del conjunto, específicamente la mitad de realidad de propagación, donde el espejo está representado por la línea roja. Se aprecia que la mitad inferior del espejo (igual sucede para la superior), forma un triángulo rectángulo con el plano horizontal ubicado en el borde del espejo, y la trayectoria normal a la propagación de los rayos x. Con estos datos, se puede conocer la distancia H, que por tener dos ángulos de 45° , es la misma del lado vertical del triángulo. Conocida esta medida, por teorema de Pitágoras, se puede calcular la hipotenusa del triángulo, la cual representa la mitad del largo que debe tener el espejo para asegurar un reflejo de luz suficiente para representar los rayos x en uno de los ejes espaciales.

Para lograr lo mismo en el otro eje espacial, el ancho del espejo debe ser al menos del ancho del trapecio mostrado antes. Dicha medida es exactamente el doble de la distancia H apreciada en la siguiente figura.

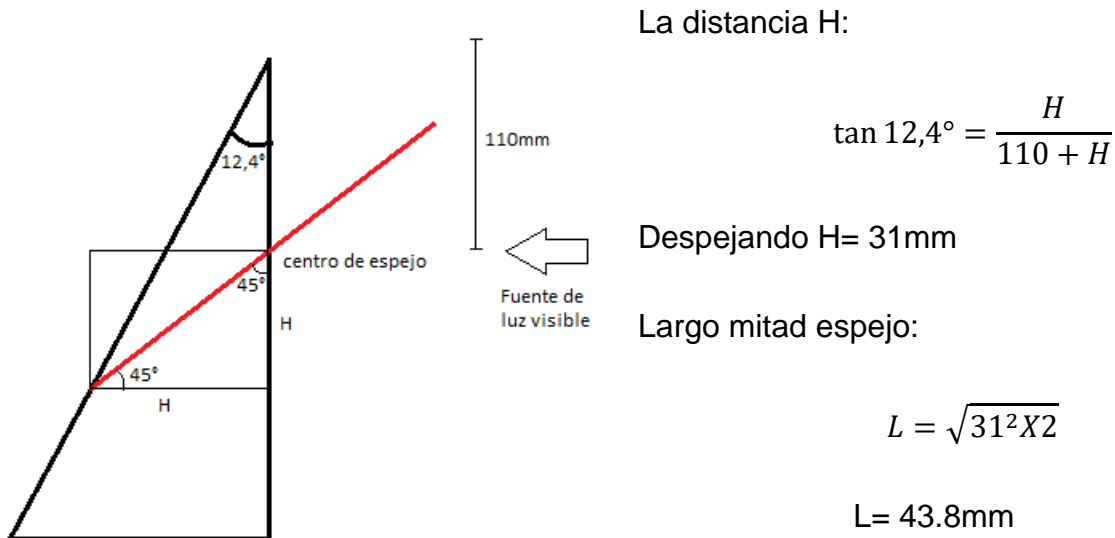


Imagen 31 - Cálculos del sistema de iluminación

Calculado esto, se concluye que el espejo debe tener un largo de 87.7mm y un ancho de 62mm.

Para la fuente de luz se colocará una lámpara led tipo “dicroica” de 3W. La selección de la misma se da debido a su tamaño reducido, buena potencia, y gran difusión en el mercado, lo cual asegura un buen aprovisionamiento y bajo costo.

Se muestran algunas imágenes del espejo colocado con su soporte en el colimador, obtenidas del software de CAD 3D y las correspondientes imágenes del equipo armado.

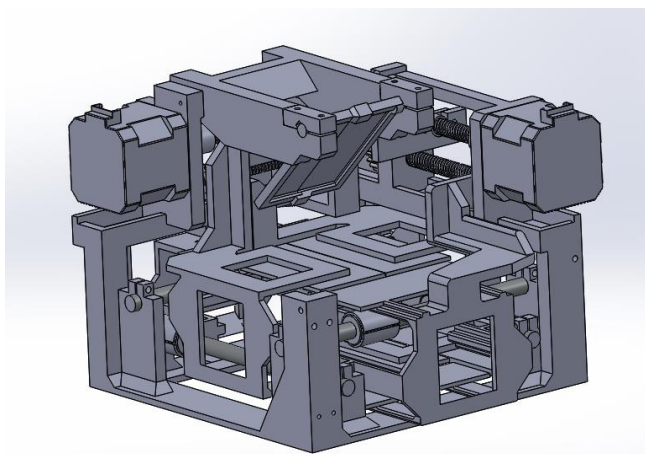


Imagen 32 - Vista en perspectiva 3D

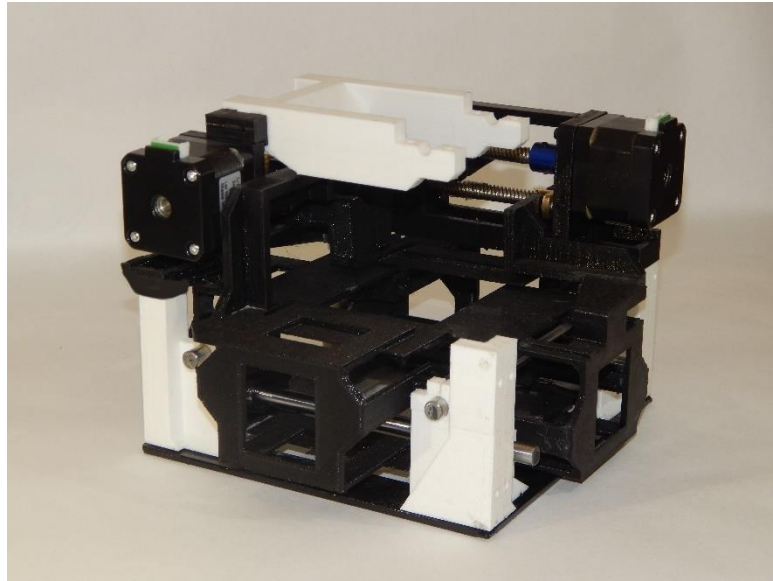


Imagen 33 - Vista en perspectiva real

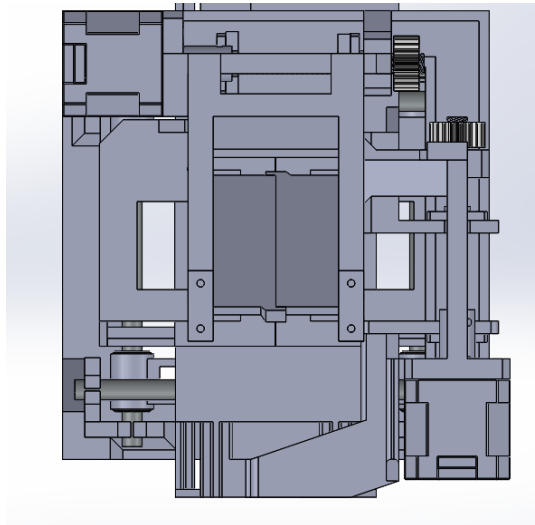


Imagen 34 - Vista superior 3D

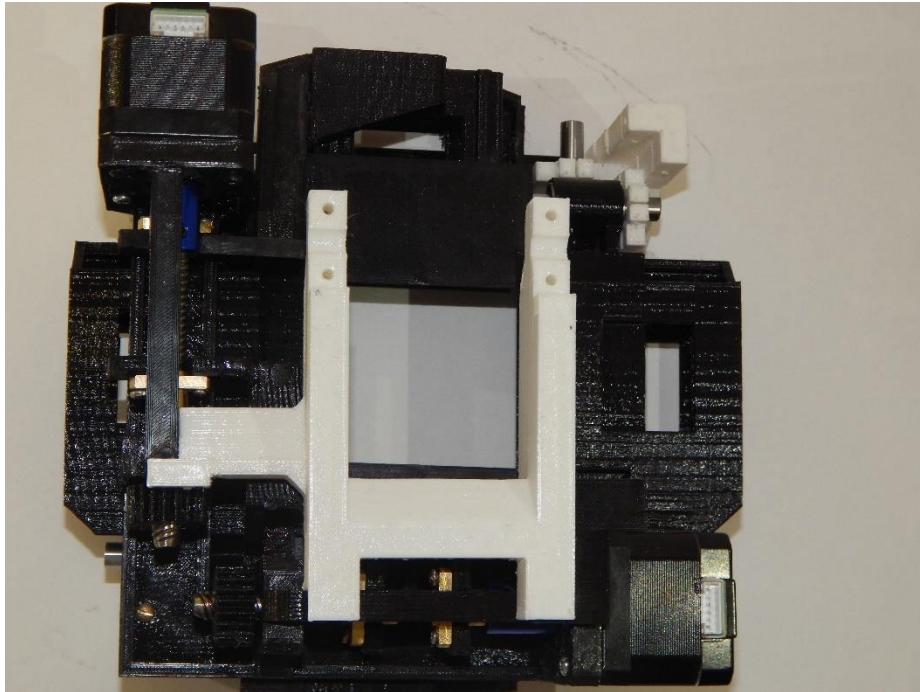


Imagen 35 - Vista superior real

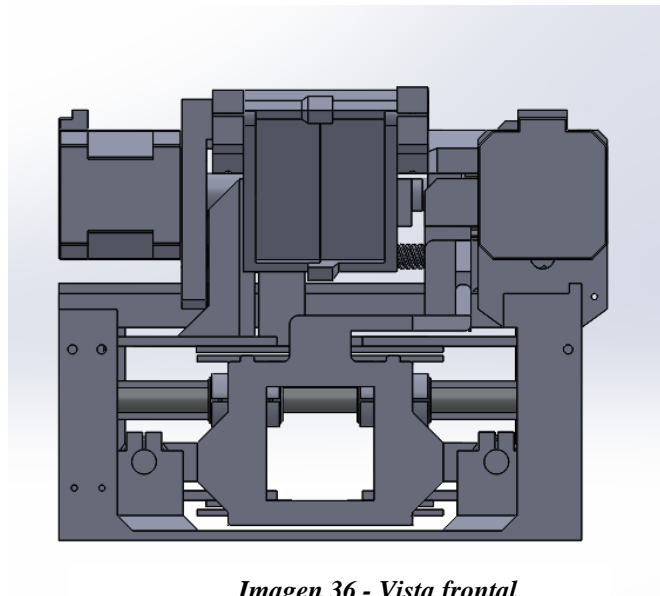


Imagen 36 - Vista frontal

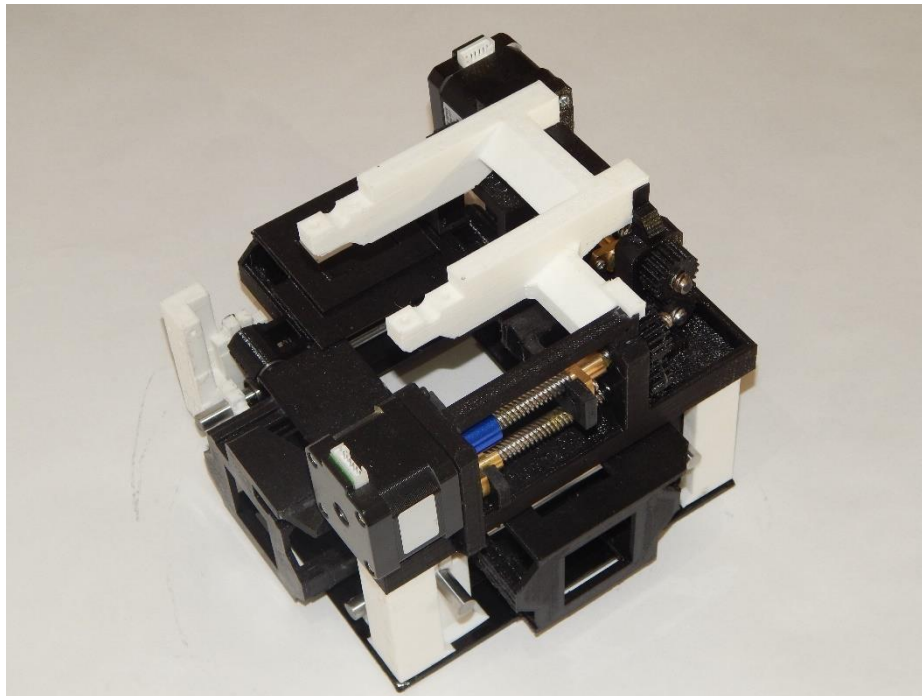


Imagen 37 - Vista en perspectiva real

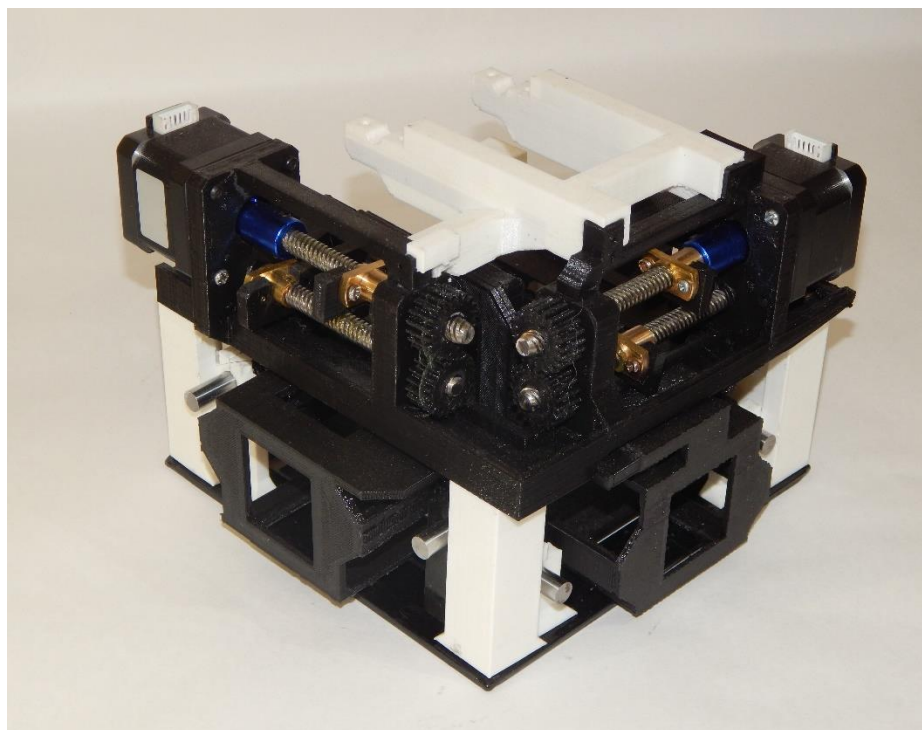


Imagen 38 - Vista en perspectiva real

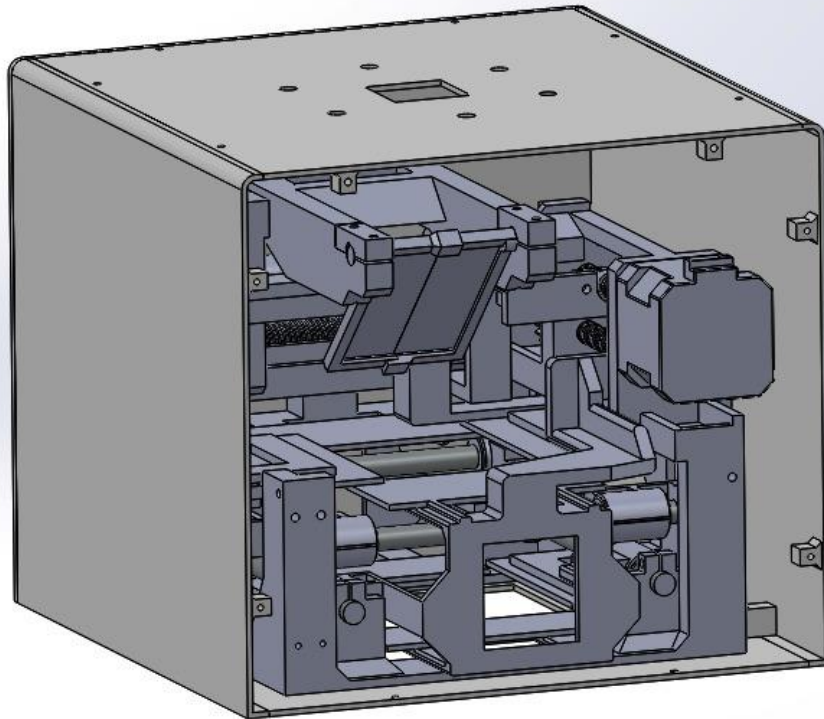


Imagen 39 - Vista inferior 3D

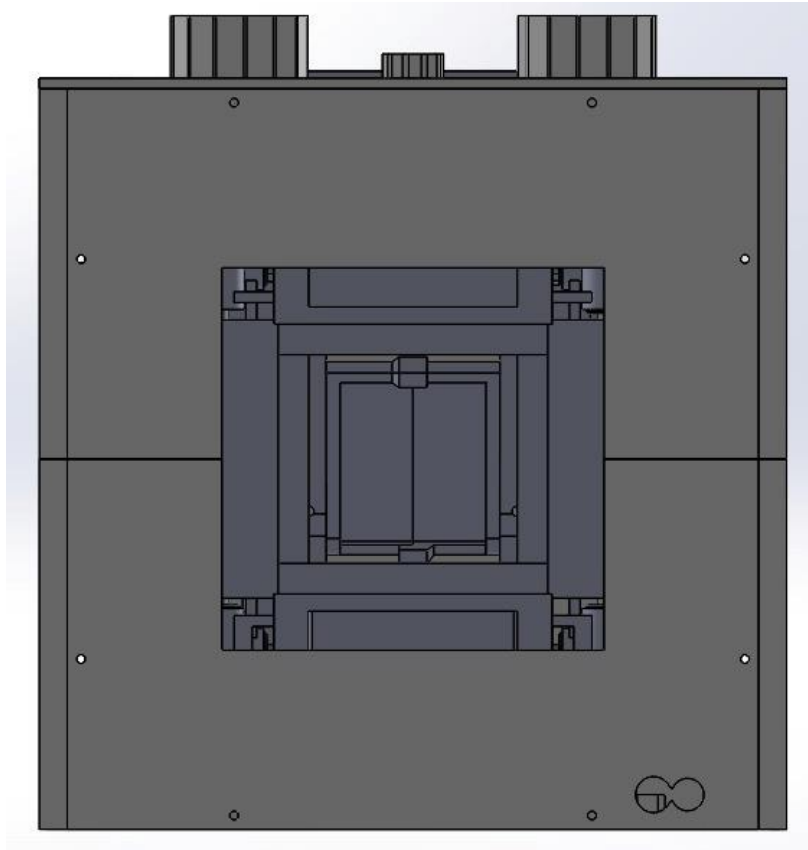


Imagen 40 - Vista inferior 3D

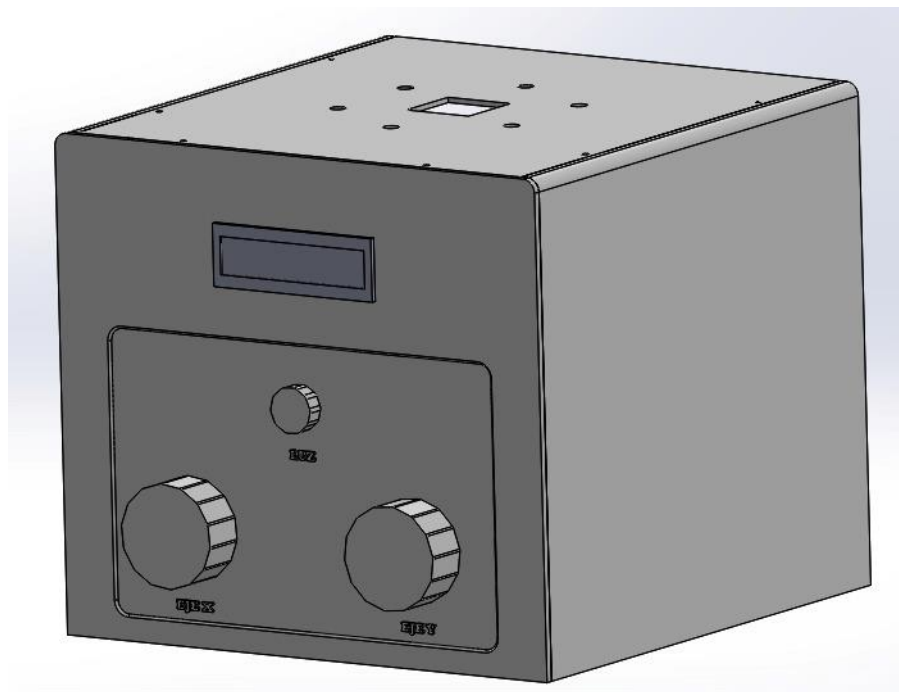


Imagen 41 - Vista frontal 3D

6.3 ELECTRÓNICA

6.3.1 MICROPROCESADOR

Se denomina microprocesador al circuito electrónico que procesa la energía necesaria para que el dispositivo electrónico en que se encuentra funcione, ejecutando los comandos y los programas adecuadamente. La Unidad Central de Procesos (CPU) de una computadora es un ejemplo de un microprocesador.

Este componente electrónico forma parte de la tarjeta madre de una computadora y se caracteriza por ser un circuito integrado con miles y, a veces, hasta con millones de transistores.

Se denomina micro por su significado inglés que indica “pequeño”, en relación a la importancia de su función en un dispositivo, comparado a veces con el cerebro y con el corazón de los seres humanos.

Este componente electrónico es el encargado de procesar y ejecutar las instrucciones codificadas en números binarios.

El microprocesador es comúnmente conocido como la Unidad Central de Procesos (CPU) de los diferentes dispositivos electrónicos, pero también contienen procesadores otros dispositivos como los discos duros.

Es tan importante la función del microprocesador que actualmente es considerado el componente electrónico más influyente en la vida del ser humano.

A nivel económico, es el producto más comercializado a nivel mundial y, a nivel social, es el objeto más utilizado, presente en una gran variedad de artefactos y componentes electrónicos, así como, computadores, teléfonos celulares, teléfonos inteligentes y tabletas.

El microprocesador ATMEGA 2560 es el elegido para realizar este proyecto. El mismo es un dispositivo de 8 bits con hasta 64 KB de memoria flash programable. Algunas de las características más destacadas de este dispositivo son:

- Microcontrolador Atmel® AVR® de 8 bits de alto rendimiento y baja potencia
- Arquitectura RISC avanzada

- 135 poderosas instrucciones - La mayoría de las ejecuciones de ciclo de reloj único
- 32 x 8 Registros de trabajo de uso general
- Operación completamente estática
- Hasta 16 MIPS de rendimiento a 16 MHz
- Multiplicador On-Chip de 2 tiempos
- Segmentos de memoria no volátil de alta resistencia
- 64K / 128K / 256KBytes de flash autoprogramable dentro del sistema
- 4Kbytes EEPROM
- SRAM interna de 8Kbytes
- Ciclos de escritura / borrado: 10,000 Flash / 100,000 EEPROM
- Retención de datos: 20 años a 85 ° C / 100 años a 25 ° C
- Sección de código de arranque opcional con bits de bloqueo independientes
- Programación dentro del sistema mediante el programa de arranque en chip
- Verdadera operación de lectura mientras se escribe
- Bloqueo de programación para seguridad de software
- Resistencia: hasta 64Kbytes Espacio de memoria externo opcional
- Soporte de biblioteca Atmel® QTouch®
- Botones táctiles, deslizadores y ruedas capacitivos
- Adquisición de QTouch y QMatrix

- Hasta 64 canales de detección
- Interfaz JTAG (IEEE® std. 1149.1 compatible)
- Capacidades de barrido de límites según el estándar JTAG
- Extenso soporte de depuración en chip
- Programación de Flash, EEPROM, Fusibles y Lock Bits a través de la interfaz JTAG
- Características periféricas
- Dos temporizadores / contadores de 8 bits con preescalador independiente y modo de comparación
- Cuatro temporizadores / contador de 16 bits con preescalador independiente, modo de comparación y captura
- Contador en tiempo real con oscilador separado
- Cuatro canales PWM de 8 bits
- Seis / Doce canales PWM con resolución programable de 2 a 16 bits
- (ATmega1281 / 2561, ATmega640 / 1280/2560)
- Modulador de comparación de salida
- ADC de 8/16 canales y 10 bits (ATmega1281 / 2561, ATmega640 / 1280/2560)
- Dos / cuatro de serie programable USART (ATmega1281 / 2561, ATmega640 / 1280/2560)
- Interfaz serial SPI Master / Slave
- Interfaz serial de 2 hilos orientada a bytes
- Temporizador de vigilancia programable con oscilador separado en el chip
- Comparador analógico en el chip

- Pin de Interrumpir y despertar

A continuación, se muestra el pinout del microprocesador elegido junto con un diagrama en bloques del mismo:

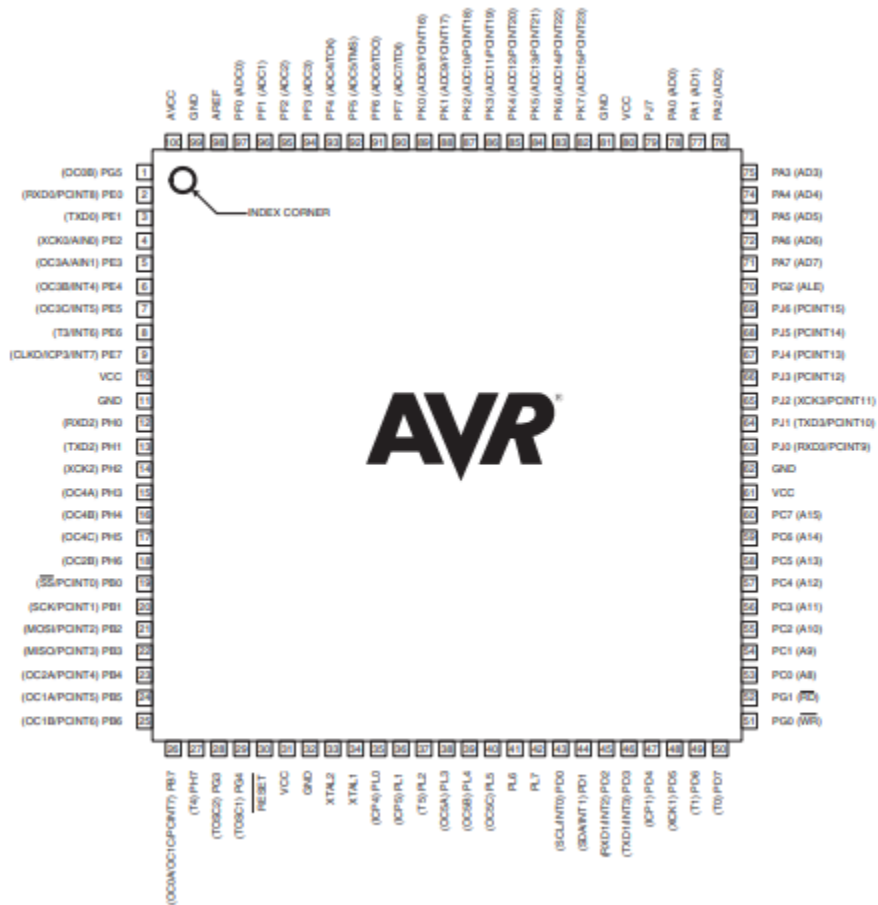


Imagen 42 - Pinout microprocesador

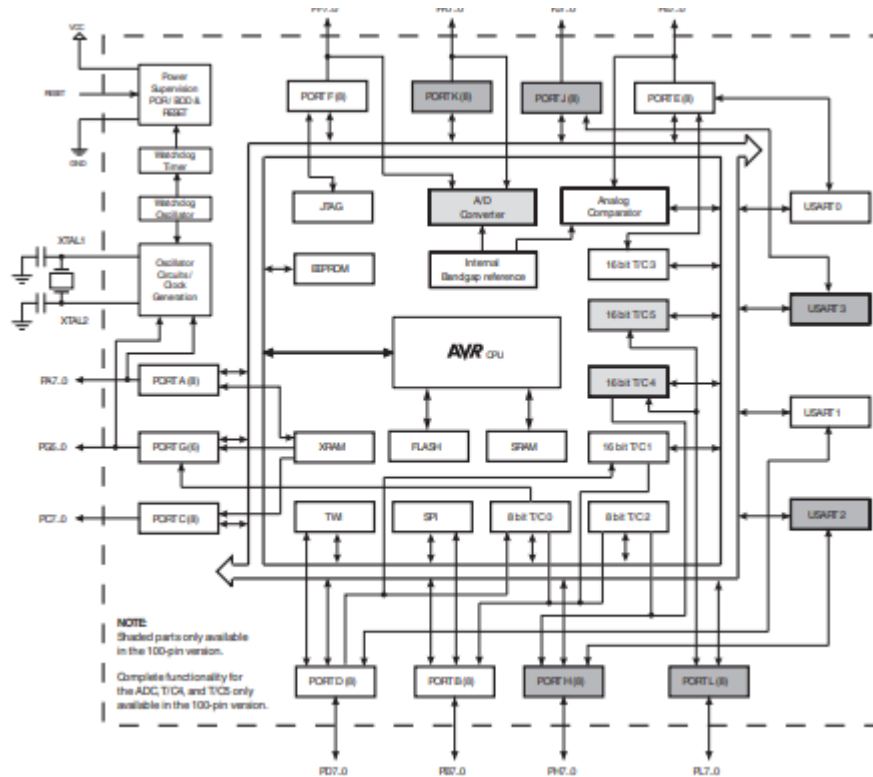


Imagen 43 - Diagrama funcional del microprocesador

6.3.2 PANTALLA

Display LCD 16x2 con Fondo Azul es una pequeña pantalla de tipo LCD denominado en inglés “Liquid Crystal Display” y en español “Pantalla de cristal líquido”. Este display tiene un tamaño de 16x2 que hace referencia a que la pantalla cuenta con 2 filas y cada fila tiene la capacidad de mostrar 16 caracteres o símbolos, por lo general alfanuméricos, los cuales se pueden definir desde programación utilizando un microcontrolador o tarjeta de desarrollo.

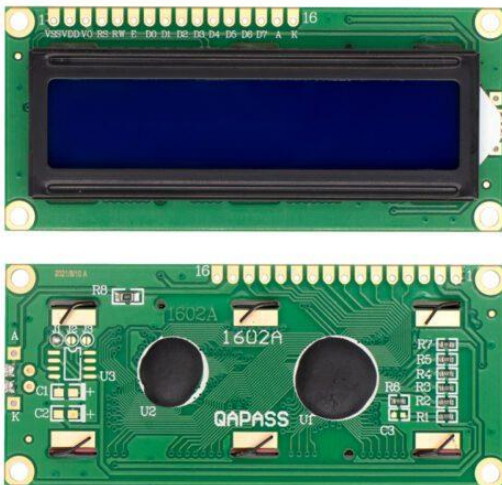


Imagen 44 - LCD de 16x2

Este display tiene fondo de color azul y texto blanco, tiene 16 pines para realizar su configuración básica de funcionamiento, así como interconectar a tarjetas de desarrollo.

6.3.3 MEDIDOR DE DISTANCIA LASER

¿Cómo funcionan los medidores de distancia láser?

Un medidor de distancia láser funciona utilizando la medición del tiempo que tarda un pulso de luz láser en reflejarse en un blanco y volver al remitente. Esto se conoce como el principio de "tiempo de vuelo" y el método se conoce como medición de "tiempo de vuelo" o "pulso".

Principio de funcionamiento

Un medidor de distancia láser emite un pulso de láser a un objetivo. El pulso entonces se refleja en el objetivo y vuelve al dispositivo emisor (en este caso, un medidor de distancia láser). Este principio de "tiempo de vuelo" se basa en el hecho de que la luz láser viaja a una velocidad bastante constante a través de la atmósfera de la Tierra. En el interior del medidor, un simple circuito convierte esta distancia de tiempo de vuelo en tensiones que puede ser interpretadas y convertidas a distancias por medio de los cálculos necesarios.

Cálculo de la distancia

La distancia entre el medidor y el objetivo está dada por $D=ct/2$, donde "c" es igual a la velocidad de la luz y "t" es igual a la cantidad de tiempo para el viaje de ida y vuelta entre el medidor y el destino

¿Por qué láser?

Los láseres son rayos enfocados e intensos de luz, generalmente de una sola frecuencia. Son muy útiles para medir distancias porque viajan en forma justa a relaciones constantes a través de la atmósfera y viajan distancias mucho más largas antes de la divergencia (el debilitamiento y propagación de un rayo de luz) reduciendo la eficacia del medidor. La luz del láser es también menos probable que se disperse como la luz blanca, lo que significa que puede viajar una distancia mucho mayor, sin perder intensidad. En comparación con la luz blanca ordinaria, un pulso de láser conserva gran parte de su intensidad original cuando se refleja en el objetivo, que es muy importante en el cálculo de la distancia a un objeto.

Consideraciones

La exactitud de un medidor de distancia láser depende del pulso original que vuelve al dispositivo de envío. A pesar de que los rayos láser son muy estrechos y tienen

altas energías, están sujetos a las mismas distorsiones atmosféricas que afectan a la luz normal blanca. Estas distorsiones pueden hacer que sea difícil obtener una lectura precisa de la distancia de un objeto cercano a zonas verdes o sobre largas distancias de más de 1 kilómetro. Además, diferentes materiales reflejan la luz en mayor o menor medida. Un material que tiende a absorber o dispersar la luz (difusión) reduce la probabilidad de que el pulso láser original se refleje de nuevo para el cálculo. En los casos en que el objetivo tiene la reflexión difusa, se debe utilizar un medidor de distancia láser utilizando un "método de desplazamiento de fase".

Recepción de óptica

Para garantizar la fiabilidad, los medidores láser de distancia emplean algún método para minimizar la luz de fondo. Demasiada luz de fondo puede interferir con la medición cuando el sensor se equivoque en alguna de parte de la luz de fondo por el impulso de láser reflejado, lo que resulta en una lectura de distancia falsa. Por ejemplo, un medidor de distancia láser diseñado para su uso en las condiciones del Antártico, donde se espera una luz de fondo intensa, emplea una combinación de filtros de ancho de banda estrecho, frecuencias de haz partido, y un iris muy pequeño para bloquear tanta interferencia de la luz de fondo como sea posible.

Aplicaciones

Los medidores láser de distancia y los buscadores de rango tienen una amplia variedad de usos, desde la elaboración de mapas hasta los deportes. Se pueden utilizar para crear mapas del suelo marino o mapas topográficos despejados de vegetación. Se utilizan en las fuerzas armadas para proporcionar distancia exacta a los objetivos para los francotiradores y artillería, para el reconocimiento y la ingeniería. Los ingenieros y diseñadores utilizan medidores láser de distancia para construir modelos 3D de objetos. Los arqueros, cazadores y amantes del golf emplean buscadores de rango para calcular la distancia al objetivo

Elección para el proyecto

Teniendo en cuenta que las distancias que se deben medir son cortas y se necesita precisión en la medición para el posterior cálculo de la abertura de las placas, se ha elegido el dispositivo TFmini S.

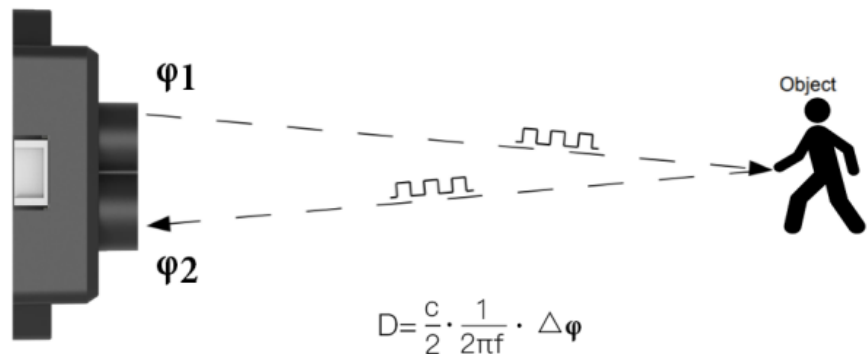


Imagen 45 - Principio de tiempo de vuelo

TFmini S es un pequeño dispositivo basado en el principio de ToF (time of flight o tiempo de vuelo). Sus usos son diversos, es muy utilizado en para escaneo 3D y realidad aumentada AR, debido a su gran precisión en cortas distancias.

Su sensor de distancia de alta precisión basado en el principio ToF, posee un diseño óptico y electrónico único, para lograr una detección de distancia estable, precisa, de alta sensibilidad y alta velocidad. Recomendado para ser utilizado en drones y otro tipo de dispositivos robóticos. Puede medir desde 30cm hasta 12m.

El Tfmini S posee cualidades ópticas y eléctricas que, en conjunto con los algoritmos disponibles para su control, dan una estabilidad y precisión en la medición muy buenas. El medidor de distancia laser es adaptable a diferentes entornos y condiciones, tales como luz ambiente elevada, temperaturas elevadas o muy bajas y el posible de utilizar en superficies con distintas reflectancias. Esto, sumado con su bajo costo, tamaño pequeño y gran alcance hace que sea un producto ideal para ser utilizado en este proyecto.

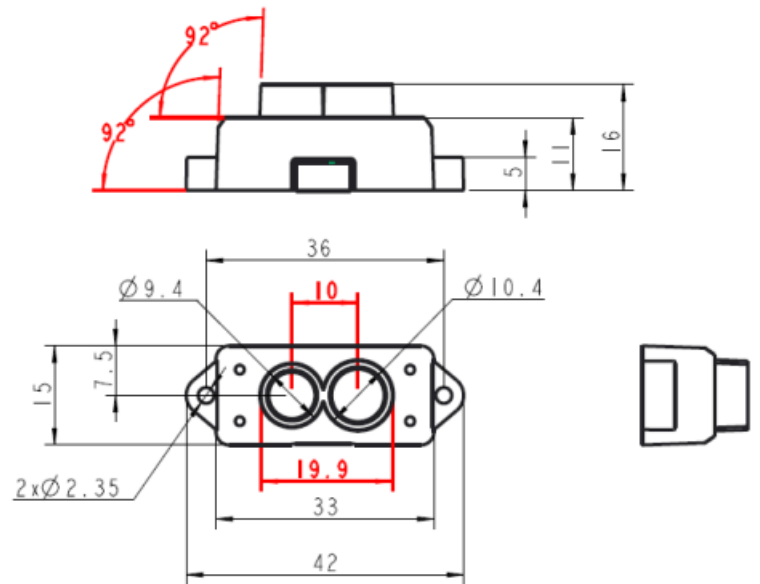


Imagen 46 - Dimensiones del TFmini S

Características principales

Description	Parameter value
Operating range	0.1m~12m ^①
Accuracy	±6cm@ (0.1-6m) ^②
	±1%@ (6m-12m)
Measurement unit	cm
Range resolution	1 cm
FOV	2° ^③
Frame rate	1~1000Hz (adjustable) ^④

Tabla 4 - Parámetros característicos principales del TFmini S

Características eléctricas

Description	Parameter value
Supply voltage	5V±0.1V
Average current	≤140mA
Peak current	200mA
Average power	700mW
Communication level	LVTTL (3.3V)

Tabla 5 - Parámetros eléctricos principales del TFmini S

Conexiones

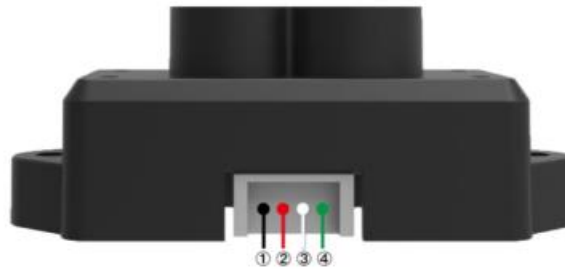


Imagen 47 - Conexiones del TFmini S

No.	Color	Function	Comment
①	Black	GND	Ground
②	Red	+5V	Power supply
③	White	RXD/SDA	Receiving/Data
④	Green	TXD/SCL	Transmitting/Clock

Tabla 6 - Función y descripción de cada pin

Protocolo de comunicación por puerto serie

Communication interface	UART
Default baud rate	115200
Data bit	8
Stop bit	1
Parity check	None

Tabla 7 - Protocolo de comunicación del TFmini S

Formato de los datos de salida

Byte0 -1	Byte2	Byte3	Byte4	Byte5	Byte6	Byte7	Byte8
0x59 59	Dist_L	Dist_H	Strength_L	Strength_H	Temp_L	Temp_H	Checksum
Data code explanation							
Byte0	0x59, frame header, same for each frame						
Byte1	0x59, frame header, same for each frame						
Byte2	Dist_L distance value low 8 bits						
Byte3	Dist_H distance value high 8 bits						
Byte4	Strength_L low 8 bits						
Byte5	Strength_H high 8 bits						
Byte6	Temp_L low 8 bits						
Byte7	Temp_H high 8 bits						
Byte8	Checksum is the lower 8 bits of the cumulative sum of the numbers of the first 8 bytes.						

Tabla 8 - Formato de datos y explicación del código

La salida de datos del TFmini S se compone de 9 bytes que incluyen el valor de la distancia, la potencia de la señal recibida, temperatura del dispositivo y un byte de checksum para chequear el correcto envío de los datos. El formato de los datos es hexadecimal.

Distancia: Representa la distancia (por default en cm) que mide el dispositivo, este valor es interpretado como un decimal entre 0-2000. Cuando la intensidad de la señal recibida es menor a 100, la detección pierde precisión.

Potencia de la señal: Representa la potencia de la señal, este valor varía entre 0 y 65535. Este valor decae a medida que se incrementa la distancia de medición y, por supuesto, a medida que la reflectividad de la superficie a medir es menor.

Temperatura: Este dato varía entre 8 y 256 °C.

Configuración de parámetros generales y descripción

Parameters	Command	Response	Remark	Default setting
Obtain firmware version	5A 04 01 5F	5A 07 01 V1 V2 V3 SU	Version V3.2.1	
System reset	5A 04 02 60 ^④	5A 05 02 00 60	Succeeded	/
		5A 05 02 01 61	Failed	/
Frame rate	5A 06 03 LL HH SU	5A 06 03 LL HH SU	1-1000Hz ^①	100Hz
Trigger detection	5A 04 04 62	Data frame	After setting the frame rate to 0, detection can be triggered with this command	
Output format	5A 05 05 01 65	5A 05 05 01 65	Standard 9 bytes(cm)	√
	5A 05 05 02 66	5A 05 05 02 66	Pixhawk	/
	5A 05 05 06 6A	5A 05 05 06 6A	Standard 9 bytes (mm)	/
Baud rate	5A 08 06 H1 H2 H3 H4 SU	5A 08 06 H1 H2 H3 H4 SU	Set baud rate ^② E.g. 256000(DEC)=3E 800(HEX), H1=00,H2=E8,H3=03,H4=00	115200
Enable/Disable output	5A 05 07 00 66	5A 05 07 00 66	Disable data output	/
	5A 05 07 01 67	5A 05 07 01 67	Enable data output	√
Communication interface setup	5A 05 0A MODE SU	/	0 (UART) 1 (I ² C)	UART
Modify slave address of I ² C	5A 05 0B ADDR SU	5A 05 0B ADDR SU	Modify I2c_slave_addr	0x10
Obtain Data Frame	5A 05 00 01 60	Data Frame(9bytes-cm)	Only works in I2C mode	/
	5A 05 00 06 65	Date Frame(9bytes-mm)		

Tabla 9 - Configuración de parámetros generales

I/O mode enable	5A 09 3B MODE DL DH ZoneL ZoneH SU	/	Open or close I/O output mode MODE: 0--standard data mode 1--I/O,near high and far low 2--I/O,near low and far high Zone:hysteresis zone	0(standard data mode)
Low power consumption mode	5A 06 35 0X 00 SU	5A 06 35 0X 00 SU	Range of X(HEX) is 0~A, frame rate can't over 10Hz under low power consumption mode; X>0, low power mode on; X=0, low power mode off ^③	/
Strength Threshold and Distance under threshold	5A 07 22 XX LL HH 00 ^③	5A 07 22 XX LL HH SU	E.g. When strength is below 100, make distance output 1200cm. XX=100/10=10(D EC)=0A(HEX) 1200(DEC)=4B0(HEX) LL=B0, HH=04	Strength Threshold=100 Distance under threshold = 65535(-1)
Restore factory settings	5A 04 10 6E	5A 05 10 00 6F	Succeeded	
		5A 05 10 01 70	Failed	
Save settings	5A 04 11 6F ^③	5A 05 11 00 70	Succeeded	
		5A 05 11 01 71	Failed	

Tabla 10 - Configuración de parámetros generales

6.3.4 ENCODERS ROTATIVOS CON PULSADOR

Un encoder, también denominado generador de pulsos, es un elemento electromecánico, es decir relaciona la energía eléctrica con la mecánica, que transforma el movimiento, es decir energía mecánica, en una señal eléctrica, que pueden ser pulsos, ondas, entre otras. Esta señal eléctrica puede ser leída por algún tipo de dispositivo con el fin de controlar este movimiento.

Los encoders basan su funcionamiento en la detección de marcas internas o incrementos que son equidistantes unos de otros. Por lo tanto, cuando se produce un movimiento en el encoder, éste cuenta el número de incrementos que han sido detectados en un cierto intervalo de tiempo y de este modo nos entregan información sobre la velocidad, dirección y cambio de posición con respecto a un punto de referencia.

El funcionamiento de un encoder se basa en la generación de señales eléctricas a través de distintas formas. Estas pueden ser magnéticas, ópticas o de resistencias. Por ejemplo, el encoder óptico consta de un eje rotatorio, unido a un disco que posee partes transparentes y opacas, y un emisor de luz infrarroja. El emisor de luz infrarroja emite una luz que es interceptada por el disco con partes transparentes y opacas, que a su vez gira con el movimiento del eje rotatorio.

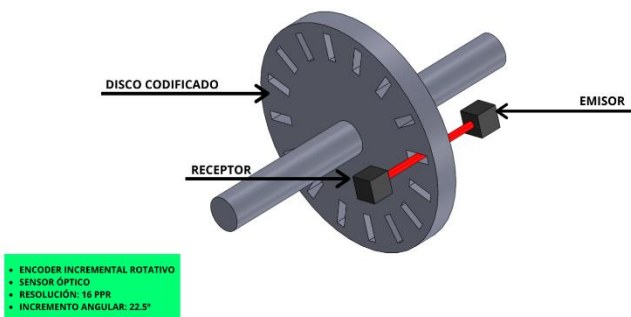


Imagen 48 - Encoder

Esto hace que la luz pase o sea bloqueada por las partes opacas del disco y forme una secuencia la cual es transformada en señal digital a través de un sensor óptico o fotoreceptor. Esto hace posible el control del movimiento, posición y en algunas aplicaciones velocidad.

Un encoder puede ser de simple o doble canal. El primero es capaz de medir velocidad y desplazamiento (angular o lineal) pero no permite medir la dirección del movimiento. El origen de esta afirmación es que la secuencia de respuesta de un encoder de un solo canal, sería idéntica en ambas direcciones (...0,1,0,1...). Estos encoders de simple canal son más económicos y resultan ideales para aplicaciones como motores de ventilación o de bombeo donde la dirección de giro del motor siempre es la misma y tan solo se necesita medir la velocidad. Si es necesario conocer la dirección de giro, el encoder debe disponer de dos canales y sus dos respectivos sensores. Estos dos canales concéntricos,

por consenso nombrados A y B, deben tener un desfase entre ellos, lo que permite a la controladora conocer la dirección del movimiento.

QUADRATURE

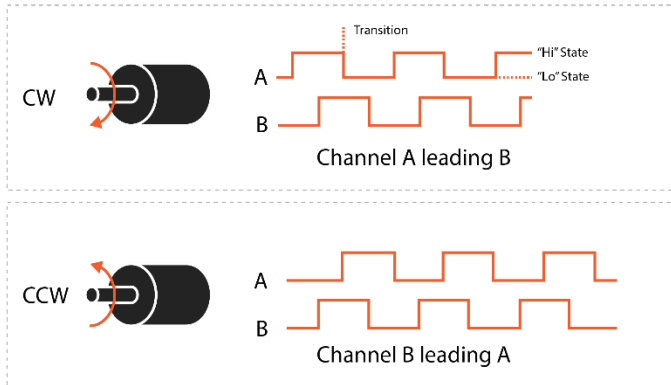


Imagen 49 - Señales de encoder

Hay dos canales con un cierto desfase que permite a la controladora conocer el sentido de giro del encoder:

- Sentido horario (CW): A siempre irá con retaso respecto a B. La secuencia sería: ...0-0 0-1, 11, 1-0...
- Sentido anti horario (CCW): B siempre irá con retaso respecto a A. La secuencia sería ...0-0, 1-0, 1-1, 0-1...

Existen dos tipos de encoder según la forma de establecer la posición. Estos son:

- Encoder de detección incremental: estos dispositivos detectan el movimiento y miden la distancia en función de la diferencia entre dos valores establecidos primeramente.
- Encoder de detección absoluta: Se toma como cero la posición inicial del objeto y se mide de forma absoluta a partir de esta posición.

Para este proyecto se utilizarán dos encoders tipo incremental de doble canal, como el que se muestra en la siguiente imagen:

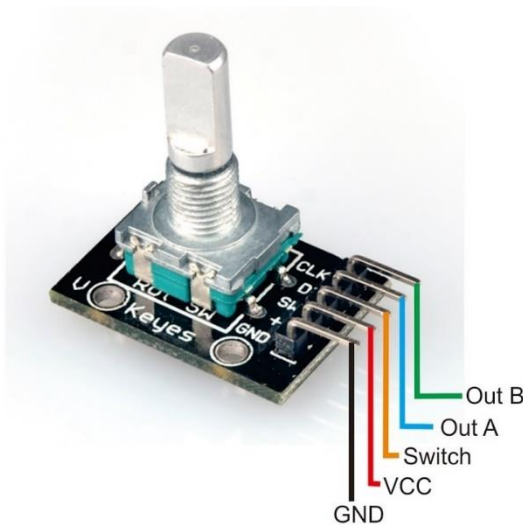


Imagen 50 - Encoder rotativo con pulsador

Como se ve en la foto, posee 5 pines de conexión los cuales corresponden:

GND: conexión a tierra

VCC: alimentación tensión continua

Out A: salida de señal canal A

Out B: salida de señal canal B

Switch: salida de pulsador (adicionalmente, el dispositivo permite que el eje sea presionado y funcione como switch).

Otro dato importante es que la resolución del mismo es de 20 pasos por vuelta, es decir, que se emitirá una señal de movimiento, cada vez que el eje gire 18°.

6.3.5 DRIVERS DE MOTORES

Un controlador (Driver) de motor es un pequeño amplificador de corriente; la función de los Drivers de motor es tomar una señal de control de baja corriente y luego convertirla en una señal de corriente más alta que pueda conducir un motor.

Un Driver es un sistema. Se espera que un Driver de motor típico, tenga un diagrama de bloques semejante al de la Figura 51. La carga puede ser un sistema de transporte, un sistema de tracción, los rodillos de accionamiento de un molino, la herramienta de corte de una máquina o herramienta numéricamente controlada, el compresor de un acondicionador de aire, un sistema de propulsión de barcos, una válvula de control para una caldera, el brazo de un robot, y así sucesivamente.

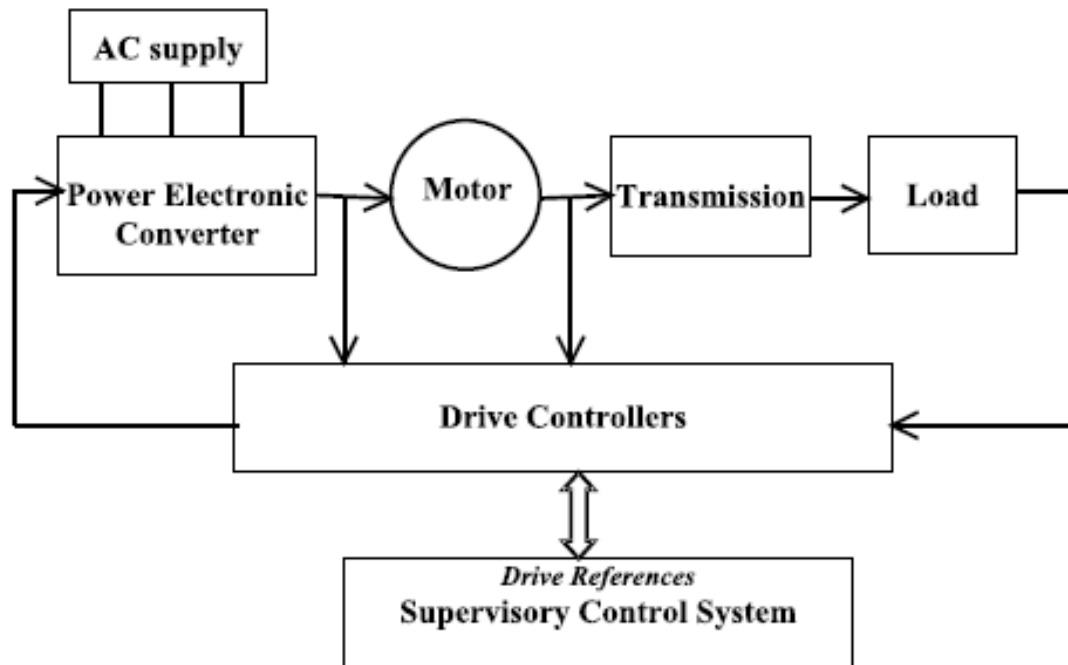


Imagen 51 - Diagrama en bloques básico de un motor

El bloque convertidor electrónico de potencia puede usar diodos, MOSFETS, GTO, IGBT o tiristores. Los controladores pueden constar de varios bucles de control para regular el voltaje, la corriente, el par, el flujo, la velocidad, la posición, la tensión u otras condiciones deseables de la carga. Cada uno de estos puede tener sus características limitantes intencionalmente colocados para proteger el motor, el convertidor o la carga.

Los motores de corriente continua (Motor DC) se utilizan ampliamente en sistemas de velocidad variable y sistemas de control de posición en los que se requiere una buena respuesta transitoria y un buen rendimiento en estado estable. Los ejemplos se encuentran en unidades robóticas, impresoras, máquinas-herramientas, laminadoras de procesos, industrias del papel y textiles, y muchos otros. El control de un motor de corriente continua es sencillo, principalmente debido a la incorporación del conmutador dentro del motor. El cepillo del conmutador permite que el par desarrollado por el motor sea proporcional a la corriente del inducido si la corriente de campo se mantiene constante. Por esto último, las teorías clásicas de control se aplican fácilmente al diseño del par.

El conmutador mecánico limita el voltaje máximo aplicable a aproximadamente 1500 vatios y la capacidad de potencia máxima a unos pocos cientos de kilovatios. Se utilizan combinaciones en serie o en paralelo de más de un motor cuando los motores DC se utilizan en aplicaciones que manejan cargas más grandes. La

corriente de armadura máxima y su tasa de cambio también están limitados por el conmutador.

Los pequeños motores DC de tipo servo normalmente tienen excitación por imanes permanentes para el campo, mientras que los motores de mayor tamaño tienden a tener un suministro de campo por separado para la excitación. Los motores DC excitados por separado representados en la Figura 52(a) tienen excitación de campo fijo (corriente de campo *if* constante), son muy fáciles de controlar a través de la corriente de armadura *ia* que se suministra desde un convertidor electrónico de potencia.

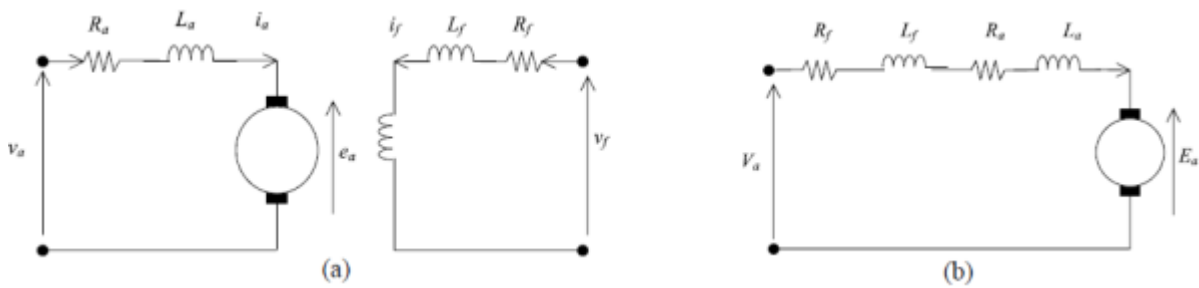


Imagen 52 - Tipos de excitación de un motor

Los convertidores a Tiristor de AC-C con control de ángulo de fase son populares para los motores más grandes, mientras que los conmutadores de voltaje On-Off, también llamados convertidores DC-DC de conmutación modulada de ancho de pulso (PWM – Pulse Width Modulation por sus siglas en inglés) son populares para las unidades de servomotor.

El motor de corriente continua excitado en serie tiene su circuito de campo en serie con el circuito de armadura, como se muestra en la figura 52(b). Dicha conexión proporciona un alto par a baja velocidad y bajo par a alta velocidad, una característica que puede combinar bien con las cargas de tipo de tracción.

Es buen momento para recordar el diagrama de bloques típico para un motor DC controlado por armadura (para un repaso ver Dinámica de una Sistema Electromecánico con Motor DC):

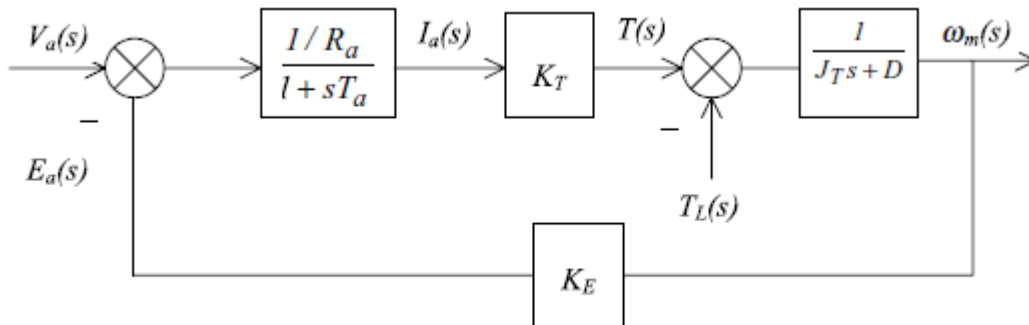


Imagen 53 - Diagrama en bloques de un motor de excitación independiente

Cuando un sistema Driver controla la corriente de armadura a través de un convertidor electrónico de potencia, lo que realmente controla es el nivel de la relación velocidad-torque del motor, la cual se muestra en la Figura 54(a):

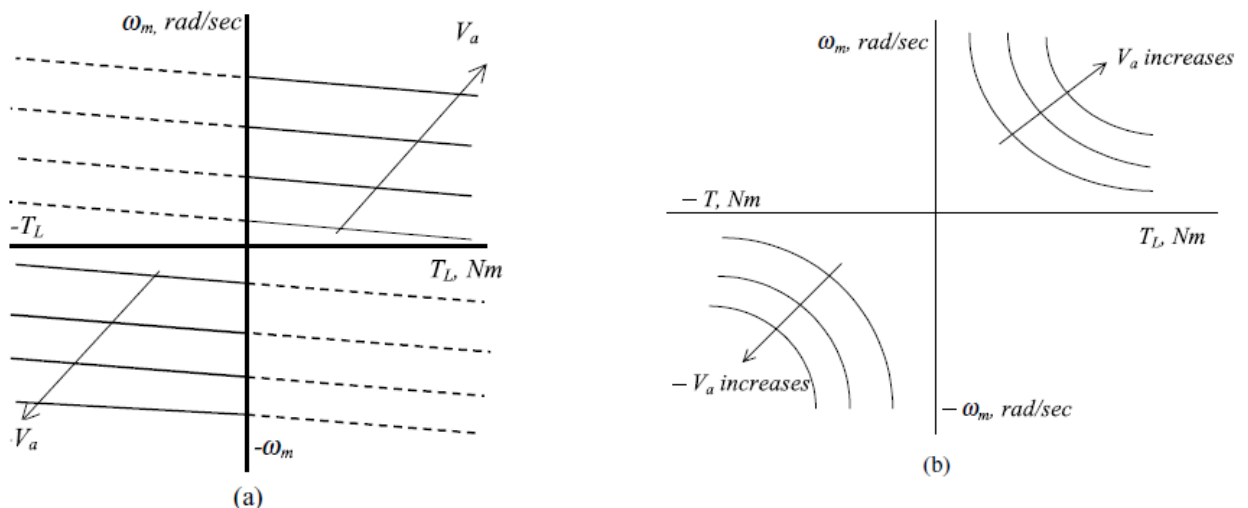


Imagen 54 - Características de salida

Dependiendo de los requisitos de la aplicación, el convertidor de potencia para un motor de corriente continua (que en el diagrama de bloques de la Figura 51 está identificado como Power Electronic Converter) puede elegirse entre una serie de topologías. Por ejemplo, un convertidor de tiristor semicontrolado o un convertidor de conmutación PWM de un solo componente puede ser adecuado para un drive que no requiere desaceleración controlada con frenado regenerativo. Por otro lado, un convertidor de tiristor o transistor de cuatro cuadrantes para el circuito de armadura y un convertidor de dos cuadrantes para el circuito de campo pueden ser necesarios para un variador de alto rendimiento con un amplio rango de velocidad. Una de las funciones básicas de la electrónica de potencia es la conmutación, el interruptor que apaga-enciende, conocido como Switcher. Podríamos entonces

hablar de la Función Switching. Las funciones de Switching se pueden caracterizar por completo con tres parámetros:

- La relación de trabajo D (Duty Ratio): fracción de tiempo durante el cual el interruptor está en su posición de encendido. Para fines de control, el ancho del pulso se puede ajustar para lograr un resultado deseado. Podemos denominar este proceso de ajuste como modulación por ancho de pulso (PWM – Pulse Width Modulation), tal vez el proceso más importante para implementar el control en los convertidores de potencia, por lo cual será nuestro siguiente tema.
- La frecuencia f_{switch} : suele ser constante, aunque no en todas las aplicaciones. Para fines de control, la frecuencia puede ajustarse. Esto es inusual en los convertidores de potencia porque las frecuencias de operación a menudo son dictadas por la aplicación. ($\omega = 2\pi f_{switch}$; $f_{switch} = 1/T$).
- El tiempo de retardo t_0 o la fase $\emptyset_0 = \omega t_0$: los rectificadores a menudo hacen uso del control de fase para proporcionar un rango de ajuste. Algunas aplicaciones especializadas de convertidores ac-ac usan modulación de fase

El DRV8825 es un Driver (controlador-Amplificador) para motores Stepper o PAP (Paso a Paso), capaz de controlar motores bipolares. El módulo posee pines de salida y una interfaz casi idéntica a las del driver para motores PAP A4988, por lo que se puede utilizar como reemplazo para muchas aplicaciones. El DRV8825 cuenta con límite de corriente ajustable, sobrecorriente y protección de sobrecalentamiento y seis resoluciones de avance por paso (desde 1 a 1/32 paso). Funciona desde 8,2 hasta 45 V y puede entregar hasta aproximadamente 1,5 A por fase sin un disipador de calor o flujo de aire forzado.

DRV8825 permite resoluciones más altas, permitiendo ubicaciones de paso intermedio, que se logran por la activación de ciertas bobinas. La resolución (tamaño de paso) se configura de acuerdo a las entradas selectoras (MODE0, MODE1 y MODE2) que permiten la selección de las seis resoluciones de paso de acuerdo a la siguiente tabla:

Mode0	Mode1	Mode2	Resolucion o tamaño de paso
Bajo (Low)	Bajo (Low)	Bajo (Low)	Paso Completo (1 Full Step)
Alto (High)	Bajo (Low)	Bajo (Low)	Medio paso (1/2 Half Step)
Bajo (Low)	Alto (High)	Bajo (Low)	Cuarto de paso (1/4 Step)
Alto (High)	Alto (High)	Bajo (Low)	Octavo de paso (1/8 Step)
Bajo (Low)	Bajo (Low)	Alto (High)	Dieciseisavos de paso (1/16 Step)
Alto (High)	Bajo (Low)	Alto (High)	Treintaydosavos de paso (1/32 Step)
Bajo (Low)	Alto (High)	Alto (High)	Treintaydosavos de paso (1/32 Step)
Alto (High)	Alto (High)	Alto (High)	Treintaydosavos de paso (1/32 Step)

Tabla 11 - Tabla de configuración de microstepping

Hay 2 modos de cableado para la conexión de un microcontrolador al módulo DRV8825:

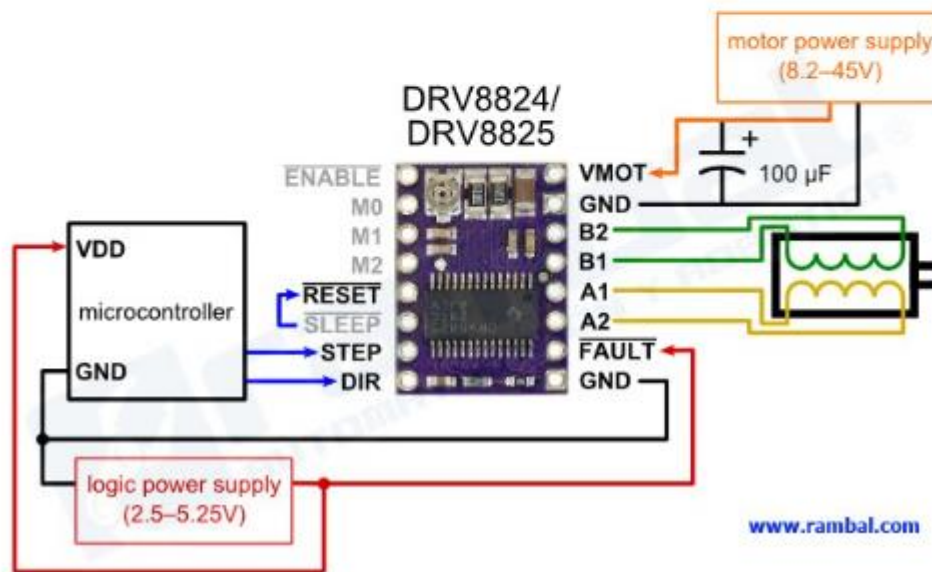
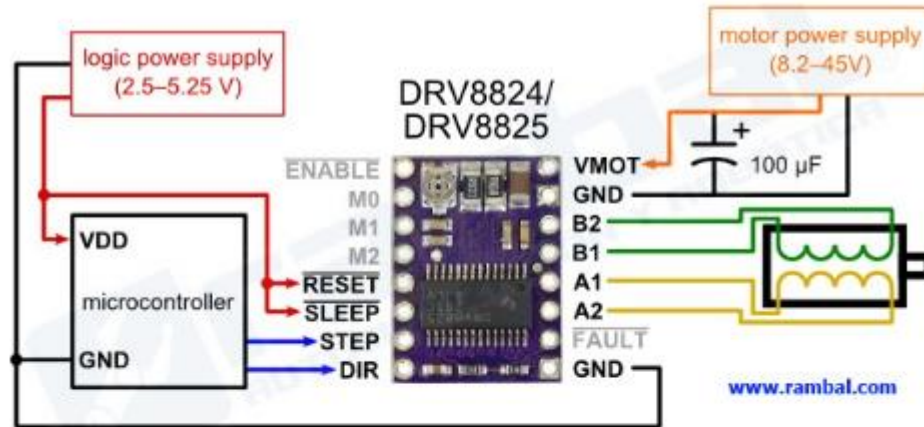


Imagen 55 - Diagrama de conexión de driver DRV 8825

Características:

- Control simple de dirección de paso mediante interfaz
- Seis resoluciones pasos diferentes: paso completo, medio paso, 1/4 de paso, 1/8 de paso 1/16 paso y de 1/32 paso
- Control de corriente máxima de salida ajustable con un potenciómetro, que le permite usar voltajes por encima de la tensión nominal del motor PAP
- Control automáticamente del modo de decaimiento de corriente (disminución rápida o lenta decadencia)

- Tensión de alimentación de 8 a 45 VDC
- Regulador integrado (sin alimentación de tensión lógica externa)
- Se puede interactuar directamente con sistemas de 3,3 y 5 VDC
- Corte automático por exceso de temperatura y bajo voltaje
- Protección en corto a tierra.

6.3.6 FINES DE CARRERA

Dentro de la automatización industrial, existen multitud de dispositivos electrónicos que facilitan los procesos de producción. En este caso, vamos a adentrarnos en los finales de carrera que, hoy en día, son imprescindibles en muchos de los mecanismos empleados en cualquier tipo de industria.

Un final de carrera o interruptor de posición, es un sensor que detecta la posición de un elemento móvil mediante accionamiento mecánico. Así pues, además de ser los sensores más instalados en el mundo, no dejan de ser sensores de contacto que necesitan estar en contacto con el objeto para detectar la llegada de un elemento móvil a una determinada posición.

La salida de los finales de carrera es binaria y la única información que nos da, es si el objeto está en una posición determinada o no. Hablando en términos tecnológicos, los finales de carrera son sensores electromecánicos y, por lo tanto, disponen de partes mecánicas enlazadas a partes eléctricas.

Partes de un fin de carrera

Los finales de carrera tienen cuatro partes muy bien diferenciadas de las que vamos a comentar la misión de cada una:

Cabezal: Es la parte que transforma el movimiento del accionador en movimiento de contacto. Cuando el accionador se mueve correctamente, el mecanismo da contacto eléctrico al final de carrera.

Cuerpo del interruptor: el cuerpo del interruptor aloja el bloque de contactos.

Bloque de contactos: Aquí es donde se encuentran los contactos eléctricos del final de carrera.

Base: La base contiene el modo de conexión de los bloques terminales.



Imagen 56 - Fin de carrera

Características

Contacto de ruptura lenta: Se caracteriza por tener los puntos de activación y de desactivación iguales.

Contacto de ruptura brusca: En este caso, los puntos de activación y de desactivación son distintos.

Estas, nos indican las direcciones de contacto con el sensor del objeto a detectar y nos indican las características mecánicas del contacto como son la velocidad, dirección, fuerza y par del momento del contacto.

Así pues, en el momento de elegir un final de carrera tenemos fijarnos básicamente en seis factores: Número de contactos, tipo de accionamiento, tipo de conector, cuerpo, número de maniobras y, por último, pero no menos importante, que se ajuste a los recorridos y las características de la aplicación.

6.3.7 DIAGRAMA GENERAL ELECTRÓNICA

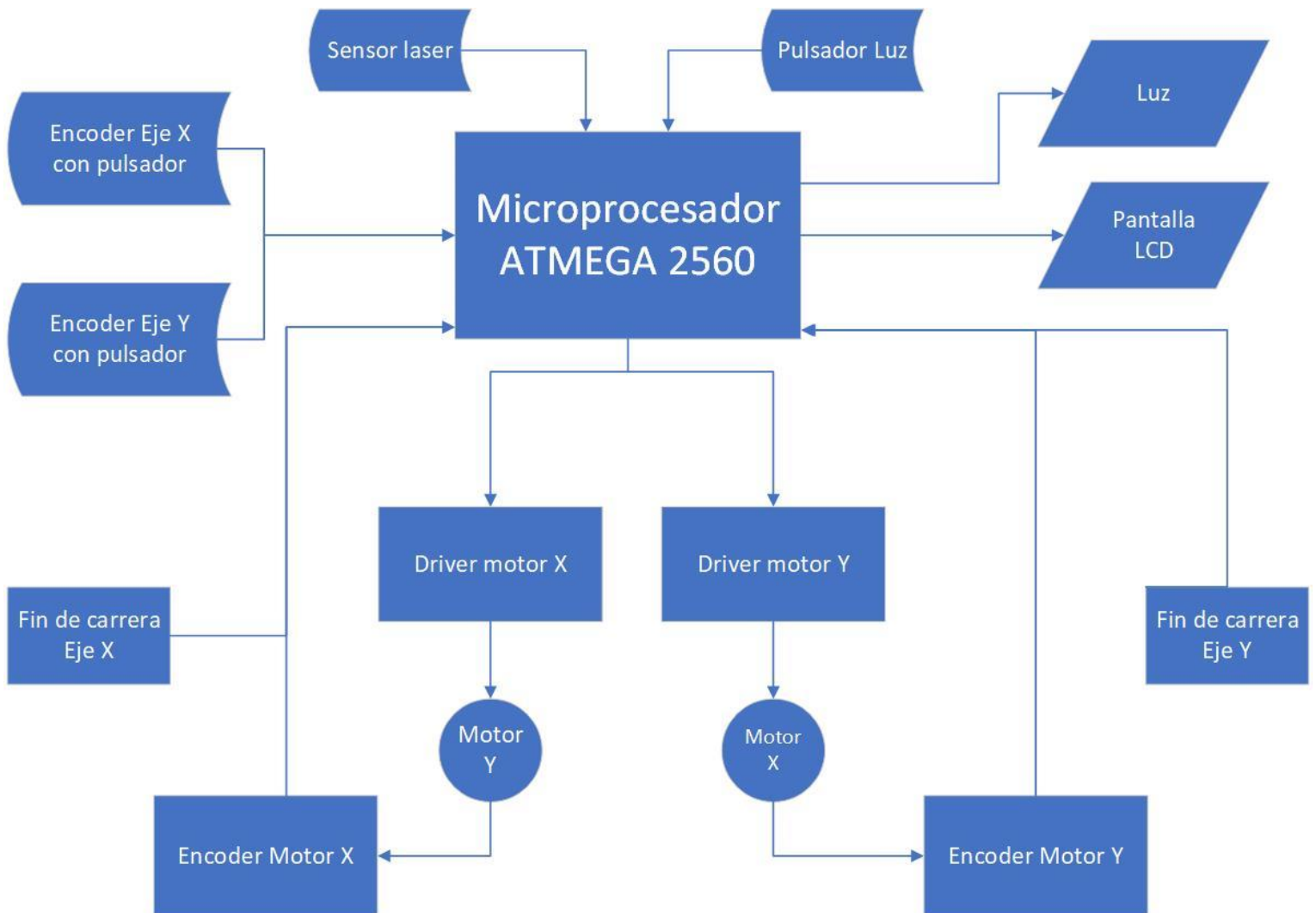


Imagen 57 - Diagrama circuito electrónico

6.4 SOFTWARE

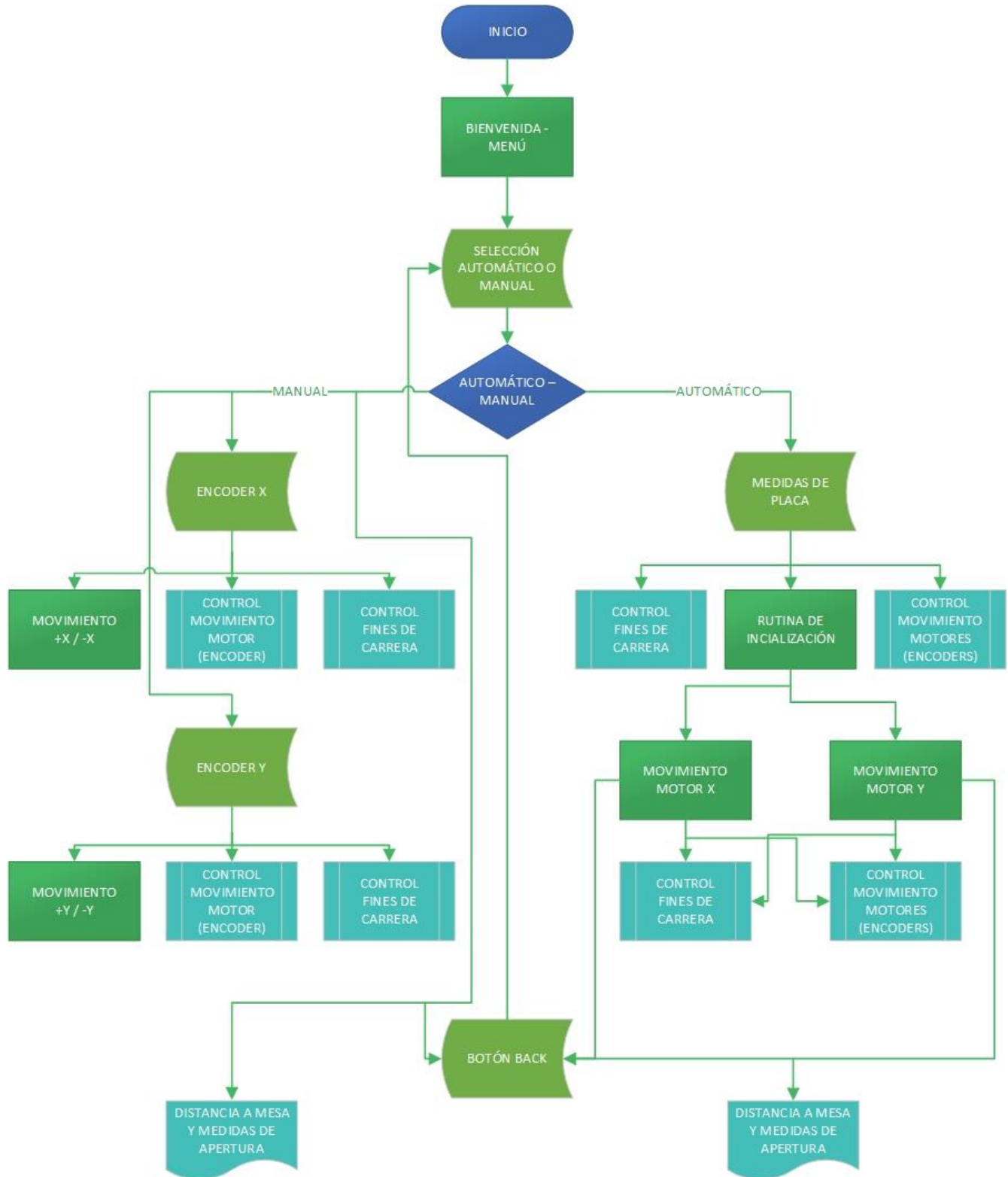


Imagen 58 - Diagrama de flujo del software

Se muestra un diagrama de flujo del programa realizado para el control y operación del colimador. Se procederá a explicar el mismo:

Al iniciar el colimador, se muestra un mensaje de bienvenida en la pantalla y luego se muestra un menú. El mismo permite elegir entre operación manual del equipo, o la operación automática, seleccionando una medida de placa preconfigurada.

Si se elige el modo de operación manual:

- El programa permitirá el movimiento libre de los motores (X e Y), controlando permanentemente el estado de los fines de carrera y chequeando a lazo cerrado el movimiento de los motores a través de los encoders solidarios a los ejes de los motores.
- Se mostrará en pantalla las medidas de abertura en tiempo real y la distancia a la mesa.
- Al presionar el botón de back, el programa llevará al usuario nuevamente al menú, donde podrá seleccionar entre las dos formas de operación (manual o automático).

Si se elige el modo de operación automático:

- Al seleccionar una medida estándar, se inicia una rutina de inicialización, donde se lleva a una posición conocida a las placas (fines de carrera), y a partir de allí se calcula de acuerdo a la distancia que hay a la mesa, cuanto debe abrir o cerrar cada placa.
- Se envían las órdenes de movimiento a los motores y se ejecuta la abertura/cierre de las placas para obtener la medida seleccionada por el usuario.

Todos los movimientos son controlados en lazo cerrado por los encoders solidarios a los ejes de los motores, asimismo, los fines de carrera se encuentran activos para controlar los límites de las placas.

Al presionar el botón de back, el programa llevará al usuario nuevamente al menú, donde podrá seleccionar entre las dos formas de operación (manual o automático).

6.5 CONCLUSIONES

A lo largo del informe se ha descrito el diseño de un prototipo de colimador de rayos x, orientado al uso en equipos médicos, pero también aplicables a equipos usados en la industria (sobre todo siderúrgica). Otros equipos de rayos x de muy amplia difusión, que también hacen uso de este tipo de colimador, son los utilizados en medicina veterinaria. Se puede afirmar que este colimador, es el más “universal” dentro del campo de los rayos x, pues permite ser colocado en la mayoría de los equipos comerciales existentes. Así también, vale la pena explicar que existe un campo donde los rayos x se usan mucho, pero en el cual no es posible usar este tipo de colimadores, este es el caso de la odontología. En esta rama médica, los equipos de rayos X son distintos y sus colimadores son diseñados específicamente para tal fin.

Concluido el desarrollo del proyecto, muchas son las conclusiones y aprendizajes obtenidos. No solo de índole técnica, sino también desde la proyección económica, el manejo de tiempos y etapas del proyecto.

Desde lo técnico es posible diferenciar 3 etapas durante el desarrollo del proyecto: diseño, fabricación y ensamblado, donde cada una propuso desafíos, soluciones, aprendizajes y puntos para mejorar, es decir, cumplió los objetivos de desarrollar un prototipo, antes de la fabricación del producto comercial. Así, durante el diseño, un gran desafío se presentó en el hecho de contar con un espacio muy reducido para ubicar gran cantidad de piezas, donde cada una de ellas debe tener una ubicación específica con respecto a las otras y muchas de ellas móviles. Es en este punto donde se toma conciencia del gran potencial que ofrece un software de CAD 3D para este fin. Se puede afirmar que el diseño hubiese sido imposible sin este, ya que la gran cantidad de piezas que forman el equipo, hace que la tolerancia a errores sea prácticamente nula.

Desde el punto de vista de la fabricación, se destaca el cumplimiento de uno de los principales objetivos: utilizar piezas existentes en el mercado nacional y de gran divulgación. Esto ofrece las ventajas de tener bajo costo y asegurar el aprovisionamiento de las mismas, de manera de no depender de uno o pocos proveedores, así como también de políticas macroeconómicas del país. Como se describió antes de la realización del proyecto, la mayoría de las piezas pertenecen al mercado de repuestos de impresoras 3D y maquinas CNC, las cuales están cada vez más presentes entre la población civil y que promete un abastecimiento cada vez mayor.

En la etapa de ensamblaje, con la ayuda de una impresora 3D, se pudo llevar a la realidad las piezas diseñadas en el software de diseño. Junto con el resto de las piezas comerciales, se armó el dispositivo y se comprobó que el comportamiento

del mismo, concuerda con el esperado en el diseño. Se destaca que la precisión de la impresora 3D, permite fabricar piezas de gran complejidad con excelente exactitud, lo cual es crítico en este dispositivo. Gracias a esto, se obtuvo un desplazamiento suave de las placas colimadoras, movimientos precisos y sincronizados. Durante el ensamblaje también se encontraron algunas cosas para mejorar y cambiar, por ejemplo, la necesidad de dividir algunas piezas diseñadas de forma sólida, en más de una pieza, por el hecho de poder permitir un desarme del equipo más cómodo, por parte de un técnico en el futuro.

Por el lado económico, la experiencia de los docentes a cargo de la cátedra ayudó a tener un acercamiento en la evaluación del proyecto desde el lado financiero. Estos, son conocimientos básicos que deben formar parte del ingeniero, ya que lo ayudarán en la evaluación de situaciones no solo del lado técnico, sino desde el lado de la factibilidad económica. Se logró realizar un cálculo acertado del dinero necesario inicialmente para encarar el proyecto y poder encontrar la cantidad mínima de ventas anuales que debían realizarse para no tener pérdidas en el proyecto. A partir de allí se pudo plantear una cantidad razonable de ventas y encontrar los valores concretos de VAN, TIR y payback, los cuales pudieron ayudar a ver la rentabilidad del proyecto.

Concluyendo, se ha desarrollado un prototipo que cumple con los postulados iniciales, que corrobora que el diseño ha sido acertado y su funcionamiento se cumple según lo previsto, que permite detectar mejoras para el mismo antes de la fabricación comercial del equipo y también ayuda a determinar la selección de materiales y métodos a implementar en la fabricación final. Asimismo, el prototipo es totalmente escalable a producción e incluso se pueden realizar mejoras en el mismo, que podrían ayudar mucho más a los técnicos a cargo de su operación.

7 FACTIBILIDAD ECONÓMICA

7.1 COSTOS DE FABRICACIÓN POR COLIMADOR

A continuación, se detallan los costos de las partes componentes del colimador desarrollado, los mismos han sido actualizado a octubre de 2022:

GASTOS INICIALES	
Impresora 3D	\$200.000
Estación de soldado	\$25.000
Herramientas varias	\$100.000
Total	\$325.000

Tabla 12 - Cálculo de inversión fija inicial

GASTOS POR COLIMADOR			
Componente	Cantidad	Precio unitario	Subtotal
Driver DRV8825	X2	\$850	\$1.700
Sensor TFmini s	X1	\$16.500	\$16.500
Encoder rotativo	X2	\$375	\$750
LCD 16x2	X1	\$1.300	\$1.300
Bulones	Varios	\$500	\$500
Rodamientos lineales	X8	\$470	\$3.760
Barra templada 1m	X1	\$4.900	\$4.900
Acople rígido motor	X2	\$700	\$1.400
Varilla roscada 1m	X1	\$4.000	\$4.000
Tuerca	X4	\$1.000	\$4.000
Foco LED	X1	\$700	\$700
Vidrio	X1	\$400	\$400
Consumibles de electrónica	Varios	\$5.000	\$5.000
Microcontrolador ATMEGA 2560	X1	\$7.500	\$7.500
ABS para impresión 3D 1Kg	X1	\$3.000	\$3.000
Total	\$63.810		

Tabla 13 - Cálculo de costos por colimador

7.2 APROXIMACIÓN AL VALOR ACTUAL NETO

Para realizar un cálculo acertado de la inversión de capital de trabajo necesaria para darle curso al proyecto, se establece un flujo de caja con valores aproximados durante el primer año. El mismo se detalla a continuación:

En el mes de enero se prevé la compra de materiales para dos colimadores por un costo de \$64.000 cada uno (calculado anteriormente). Asimismo, se establecen los sueldos en un valor de \$200.000 y un alquiler de habitación para la realización de los colimadores en \$30.000.

Se muestra debajo el monto total que se gastará en el mes y un acumulado teniendo en cuenta los meses anteriores.

Enero
Compra materiales 2 colimadores
Sueldos
Alquiler de local

Enero
-128000
-200000
-30000

Total mes	-358000
Acumulado	-358000

Tabla 14 - Flujo de caja mínimo mes de enero

Para el mes de febrero se propone la venta de dos colimadores. Por cada venta realizada se realizará la compra de los materiales para otro colimador, de manera de siempre tener stock de repuestos y materiales para armar dos colimadores. La venta de dichos colimadores se cobrará a 60 días.

Se tendrán en cuenta también los sueldos y el alquiler del local, por el mismo valor planteado anteriormente. Se muestran los valores totales del mes y el valor acumulado con los meses anteriores.

De igual manera se continúa el análisis con el mes de marzo.

En el mes de marzo se plantea la venta de un tercer colimador, con su correspondiente compra para reposición de stock de los materiales.

Febrero
Venta colimador 1
Compra materiales 1 colimador
Venta colimador 2
Compra materiales 1 colimador
Sueldos
Alquiler de local

Febrero
-128000
-200000
-30000

Total mes	-358000
Acumulado	-716000

Tabla 15 - Flujo de caja mínimo mes de febrero

Se contemplan los gastos de sueldos y alquiler y se muestra el total gastado dicho mes y su respectivo acumulado con los meses precedentes.

Cabe aclarar que hasta el momento no se han recibido ingresos de dinero, ya que los cobros, como se planteó antes, se harán a 30 días.

A partir del mes de abril se comienzan a reflejar los ingresos de dinero, por lo que vemos que los costos totales del mes se vuelven positivos y el acumulado decrece.

Durante los meses restantes se establecen las ventas y cobros de los colimadores por un total de 7 colimadores anuales. Se tienen en cuenta en todos los meses los costos correspondientes a los sueldos y al alquiler del local.

Marzo
Venta colimador 3
Compra materiales 1 colimador
Sueldos
Alquiler de local

Marzo
-64000
-200000
-30000

Total mes	-294000
Acumulado	-1010000

Tabla 16 - Flujo de caja mínimo mes de marzo

Se muestra, a su vez, el monto total gastado cada mes y el acumulado con los meses anteriores.

Año 1								
Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Cobro colimador 1	Cobro colimador 3	Venta colimador 4	Venta colimador 5	Venta colimador 6	Cobro colimador 5	Venta colimador 7	Sueldos	Cobro colimador 7
Cobro colimador 2	Sueldos	Compra materiales 1 colimador	Compra materiales 1 colimador	Compra materiales 1 colimador	Sueldos	Compra materiales 1 colimador	Alquiler de local	Sueldos
Sueldos	Alquiler de local	Sueldos	Sueldos	Cobro colimador 4	Alquiler de local	Cobro colimador 6		Alquiler de local
Alquiler de local		Alquiler de local	Alquiler de local	Sueldos		Sueldos		
				Alquiler de local		Alquiler de local		

Año 1									
Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre	
525000	525000	-200000	-200000	525000	525000	-64000	-200000	545000	
525000	-200000	-30000	-30000	-64000	-200000	525000	-30000	-200000	
-200000	-30000			-200000	-30000	-200000		-30000	
-30000				-30000		-30000			
Total mes	820000	295000	-230000	-230000	231000	295000	231000	-230000	315000
Acumulado	-190000	105000	-125000	-355000	-124000	171000	402000	172000	487000

Tabla 17 - Flujo de caja mínimo meses Abril a diciembre

Este valor acumulado es el que nos servirá para establecer el monto de la inversión del capital de trabajo. El máximo déficit acumulado en el año se da en el mes de marzo, por un monto de \$1.010.000. Es por ello que se le dará a este valor un margen de tolerancia de aproximadamente un 80% y se establecerá el valor de la inversión de capital de trabajo en \$1.800.000.

Se muestra a continuación el 'año 0' correspondiente al cálculo del VAN, este año establece la inversión inicial necesaria para poder darle curso al proyecto. En este caso se tiene en cuenta la inversión fija (compra de impresora 3D, compra de herramientas y compra de estación de soldado).

Flujo de caja	0
Ingresos	
Costos y gastos	
Amortización bienes de uso	
Utilidad antes de impuestos	
Impuesto a las ganancias (35%)	
Utilidad después de impuestos	
Amortización bienes de uso	
Inversión fija	-\$ 325.000,00
Inversión de capital de trabajo	-\$ 1.800.000,00
Recuperación de capital de trabajo	
Flujo de caja neto	-\$ 2.125.000,00

Tabla 18 - Cálculo de VAN mínima año 0

Para los 4 periodos siguientes de análisis se plantea la venta de 7 colimadores, para los mismos se establece un precio de venta de \$525.000, un costo de producción de \$64.000, y una depreciación de los bienes de uso del 10%, según tablas, para las maquinarias.

En el periodo 5 se plantea la recuperación del capital de inversión.

Flujo de caja	5
Ingresos	\$ 3.675.000,00
Costos y gastos	-\$ 3.208.000,00
Amortización bienes de uso	-\$ 32.500,00
Utilidad antes de impuestos	\$ 434.500,00
Impuesto a las ganancias (35%)	-\$ 152.075,00
Utilidad después de impuestos	\$ 282.425,00
Amortización bienes de uso	\$ 32.500,00
Inversión fija	
Inversión de capital de trabajo	
Recuperación de capital de trabajo	\$ 1.800.000,00
Flujo de caja neto	\$ 2.114.925,00

Tabla 19 - Cálculo de VAN mínima año 5

Se ve una visión general de todos los periodos calculados para el VAN:

Flujo de caja	0	1	2	3	4	5
Ingresos		\$ 3.675.000,00	\$ 3.675.000,00	\$ 3.675.000,00	\$ 3.675.000,00	\$ 3.675.000,00
Costos y gastos		-\$ 3.208.000,00	-\$ 3.208.000,00	-\$ 3.208.000,00	-\$ 3.208.000,00	-\$ 3.208.000,00
Amortización bienes de uso		-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00
Utilidad antes de impuestos		\$ 434.500,00	\$ 434.500,00	\$ 434.500,00	\$ 434.500,00	\$ 434.500,00
Impuesto a las ganancias (35%)		-\$ 152.075,00	-\$ 152.075,00	-\$ 152.075,00	-\$ 152.075,00	-\$ 152.075,00
Utilidad después de impuestos		\$ 282.425,00	\$ 282.425,00	\$ 282.425,00	\$ 282.425,00	\$ 282.425,00
Amortización bienes de uso		\$ 32.500,00	\$ 32.500,00	\$ 32.500,00	\$ 32.500,00	\$ 32.500,00
Inversión fija	-\$ 325.000,00					
Inversión de capital de trabajo	-\$ 1.800.000,00					
Recuperación de capital de trabajo						\$ 1.800.000,00
Flujo de caja neto	-\$ 2.125.000,00	\$ 314.925,00	\$ 314.925,00	\$ 314.925,00	\$ 314.925,00	\$ 2.114.925,00
VAN	\$ 31.602,49					

Tabla 20 - Cálculo de VAN mínima

En la fila de 'Ingresos', el valor se toma de la venta de 7 colimadores a \$525.000.

En la fila de 'Costos y gastos' el valor se toma de los gastos anuales en sueldos (12 x \$200.000), los gastos anuales en alquiler (12 x \$30.000) y la compra de los materiales de los 7 colimadores vendidos (7 x \$64.000).

En el caso de análisis, la cantidad de colimadores se estableció en una cantidad que arrojará un VAN mínimo, arrojando un resultado de \$31.602,49. La tasa que se utilizó para el análisis es del 12%, tasa que generaría una inversión de bajo riesgo.

Se lleva a cabo un análisis adicional para un caso real. Dado que los tiempos de realización de un colimador rondan las dos semanas, es lógico pensar que se pueda realizar y vender un colimador por mes. Se muestra el flujo de fondos para un año:

Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
Compra materiales 2 colimadores	Venta colimador 2	Venta colimador 3	Venta colimador 4	Venta colimador 5	Venta colimador 6	Venta colimador 7	Venta colimador 8	Venta colimador 9	Venta colimador 10	Venta colimador 11	Venta colimador 12
Venta colimador 1	Compra materiales 1 colimador	Compra materiales 1 colimador	Compra materiales 1 colimador	Compra materiales 1 colimador	Compra materiales 1 colimador	Compra materiales 1 colimador	Compra materiales 1 colimador	Compra materiales 1 colimador	Compra materiales 1 colimador	Compra materiales 1 colimador	Compra materiales 1 colimador
Compra materiales 1 colimador	Sueldos	Cobro colimador 1	Cobro colimador 2	Cobro colimador 3	Cobro colimador 4	Cobro colimador 5	Cobro colimador 6	Cobro colimador 7	Cobro colimador 8	Cobro colimador 9	Cobro colimador 10
Sueldos	Alquiler de local	Sueldos	Sueldos	Sueldos	Sueldos	Sueldos	Sueldos	Sueldos	Sueldos	Sueldos	Sueldos
Alquiler de local		Alquiler de local	Alquiler de local	Alquiler de local	Alquiler de local	Alquiler de local	Alquiler de local	Alquiler de local	Alquiler de local	Alquiler de local	Alquiler de local

	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
	-128000	-64000	-64000	-64000	-64000	-64000	-64000	-64000	-64000	-64000	-64000	-64000
	-64000	-200000	525000	525000	525000	525000	525000	525000	525000	525000	525000	525000
	-200000	-30000	-200000	-200000	-200000	-200000	-200000	-200000	-200000	-200000	-200000	-200000
	-30000		-30000	-30000	-30000	-30000	-30000	-30000	-30000	-30000	-30000	-30000
Total mes	-422000	-294000	231000	231000	261000	461000	461000	231000	261000	231000	461000	261000
Acumulado	-422000	-716000	-485000	-254000	7000	468000	929000	1160000	1421000	1652000	2113000	2374000

Tabla 21 - Flujo de caja en caso real

En este ejemplo, el máximo déficit acumulado se genera en febrero y tiene un valor de \$716.000. Teniendo en cuenta el margen aproximado del 80%, la inversión de capital de trabajo toma el valor de \$1.200.000.

Se muestra a continuación el 'año 0' del ejemplo planteado:

Flujo de caja	0
Ingresos	
Costos y gastos	
Amortización bienes de uso	
Utilidad antes de impuestos	
Impuesto a las ganancias (35%)	
Utilidad después de impuestos	
Amortización bienes de uso	
Inversión fija	-\$ 325.000,00
Inversión de capital de trabajo	-\$ 1.200.000,00
Recuperación de capital de trabajo	
Flujo de caja neto	-\$ 1.525.000,00

Tabla 22 - Cálculo de VAN real año 0

Para los 4 periodos siguientes de análisis se plantea la venta de 7 colimadores, para los mismos se establece un precio de venta de \$525.000, un costo de producción de \$64.000, y una depreciación de los bienes de uso del 10%, según tablas, para las maquinarias.

En el periodo 5 se plantea la recuperación del capital de inversión.

Se muestra una visión general de todos los periodos del cálculo del VAN.

Flujo de caja	0	1	2	3	4	5
Ingresos		\$ 6.300.000,00	\$ 6.300.000,00	\$ 6.300.000,00	\$ 6.300.000,00	\$ 6.300.000,00
Costos y gastos		-\$ 3.528.000,00	-\$ 3.528.000,00	-\$ 3.528.000,00	-\$ 3.528.000,00	-\$ 3.528.000,00
Amortización bienes de uso		-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00
Utilidad antes de impuestos		\$ 2.739.500,00	\$ 2.739.500,00	\$ 2.739.500,00	\$ 2.739.500,00	\$ 2.739.500,00
Impuesto a las ganancias (35%)		-\$ 958.825,00	-\$ 958.825,00	-\$ 958.825,00	-\$ 958.825,00	-\$ 958.825,00
Utilidad después de impuestos		\$ 1.780.675,00	\$ 1.780.675,00	\$ 1.780.675,00	\$ 1.780.675,00	\$ 1.780.675,00
Amortización bienes de uso		\$ 32.500,00	\$ 32.500,00	\$ 32.500,00	\$ 32.500,00	\$ 32.500,00
Inversión fija	-\$ 325.000,00					
Inversión de capital de trabajo	-\$ 1.200.000,00					
Recuperación de capital de trabajo						\$ 1.800.000,00
Flujo de caja neto	-\$ 1.525.000,00	\$ 1.813.175,00	\$ 1.813.175,00	\$ 1.813.175,00	\$ 1.813.175,00	\$ 3.613.175,00
VAN	\$ 6.032.458,43					

Tabla 23 - Cálculo de VAN real

En la fila de 'Ingresos', el valor se toma de la venta de 12 colimadores a \$525.000.
En la fila de 'Costos y gastos' el valor se toma de los gastos anuales en sueldos (12 x \$200.000), los gastos anuales en alquiler (12 x \$30.000) y la compra de los materiales de los 7 colimadores vendidos (12 x \$64.000).

Para este análisis, el valor que arroja el VAN es de \$6.032.458,43.

7.3 TASA INTERNA DE RETORNO

La TIR resultante para el proyecto analizado en la primera etapa es claro que va a ser una tasa cercana a la de referencia (12%), ya que el cálculo se presentó para la cantidad mínima de ventas (7 colimadores al año) a un precio de \$525.000:

Flujo de caja	0	1	2	3	4	5
Ingresos		\$ 3.675.000,00	\$ 3.675.000,00	\$ 3.675.000,00	\$ 3.675.000,00	\$ 3.675.000,00
Costos y gastos		-\$ 3.208.000,00	-\$ 3.208.000,00	-\$ 3.208.000,00	-\$ 3.208.000,00	-\$ 3.208.000,00
Amortización bienes de uso		-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00
Utilidad antes de impuestos		\$ 434.500,00	\$ 434.500,00	\$ 434.500,00	\$ 434.500,00	\$ 434.500,00
Impuesto a las ganancias (35%)		-\$ 152.075,00	-\$ 152.075,00	-\$ 152.075,00	-\$ 152.075,00	-\$ 152.075,00
Utilidad después de impuestos		\$ 282.425,00	\$ 282.425,00	\$ 282.425,00	\$ 282.425,00	\$ 282.425,00
Amortización bienes de uso		\$ 32.500,00	\$ 32.500,00	\$ 32.500,00	\$ 32.500,00	\$ 32.500,00
Inversión fija	-\$ 325.000,00					
Inversión de capital de trabajo	-\$ 1.800.000,00					
Recuperación de capital de trabajo						\$ 1.800.000,00
Flujo de caja neto	-\$ 2.125.000,00	\$ 314.925,00	\$ 314.925,00	\$ 314.925,00	\$ 314.925,00	\$ 2.114.925,00
TIR	12,43%					

Tabla 24 - Cálculo de TIR mínima

Por otro lado, la TIR resultante para el cálculo realista de la venta de 12 colimadores por año es la siguiente:

Flujo de caja	0	1	2	3	4	5
Ingresos		\$ 6.300.000,00	\$ 6.300.000,00	\$ 6.300.000,00	\$ 6.300.000,00	\$ 6.300.000,00
Costos y gastos		-\$ 3.528.000,00	-\$ 3.528.000,00	-\$ 3.528.000,00	-\$ 3.528.000,00	-\$ 3.528.000,00
Amortización bienes de uso		-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00	-\$ 32.500,00
Utilidad antes de impuestos		\$ 2.739.500,00	\$ 2.739.500,00	\$ 2.739.500,00	\$ 2.739.500,00	\$ 2.739.500,00
Impuesto a las ganancias (35%)		-\$ 958.825,00	-\$ 958.825,00	-\$ 958.825,00	-\$ 958.825,00	-\$ 958.825,00
Utilidad después de impuestos		\$ 1.780.675,00	\$ 1.780.675,00	\$ 1.780.675,00	\$ 1.780.675,00	\$ 1.780.675,00
Amortización bienes de uso		\$ 32.500,00	\$ 32.500,00	\$ 32.500,00	\$ 32.500,00	\$ 32.500,00
Inversión fija	-\$ 325.000,00					
Inversión de capital de trabajo	-\$ 1.200.000,00					
Recuperación de capital de trabajo						\$ 1.800.000,00
Flujo de caja neto	-\$ 1.525.000,00	\$ 1.813.175,00	\$ 1.813.175,00	\$ 1.813.175,00	\$ 1.813.175,00	\$ 3.613.175,00
TIR	119,33%					

El valor de la TIR para este caso de estudio es de 119,33%, muy superior al 12% de referencia.

7.4 PAYBACK O PLAZO DE RECUPERACIÓN

El cálculo del plazo de recuperación para el primer caso de estudio con la venta de 7 colimadores en el año es el siguiente:

Periodo de recuperación de la inversión			
Periodo	Saldo Inversión	Rent. exigida	Recuperación de la inversión
<i>Tabla 25 - Cálculo de TIR en caso real</i>			
1	\$ 1.525.000,00	\$ 183.000,00	\$ 6.399.575,00
2	\$ 2.065.075,00	\$ 247.809,00	\$ 314.925,00
3	\$ 1.997.959,00	\$ 239.755,08	\$ 314.925,00
4	\$ 1.922.789,08	\$ 230.734,69	\$ 314.925,00
5	\$ 1.838.598,77	\$ 220.631,85	\$ 2.114.925,00
6	-\$ 55.694,38		

Tabla 26 - Payback mínimo

Cómo es de esperarse, el plazo de recuperación es el último periodo, ya que se realizó el cálculo para la cantidad mínima sin pérdidas.

Planteando segundo caso de estudio con la venta de 12 colimadores el resultado es el siguiente:

Periodo de recuperación de la inversión			
Periodo	Saldo Inversión	Rent. exigida	Recuperación de la inversión
1	\$ 1.525.000,00	\$ 183.000,00	\$ 6.399.575,00
2	-\$ 4.691.575,00	-\$ 562.989,00	\$ 6.399.575,00
3	-\$ 11.654.139,00	-\$ 1.398.496,68	\$ 6.399.575,00
4	-\$ 19.452.210,68	-\$ 2.334.265,28	\$ 6.399.575,00
5	-\$ 28.186.050,96	-\$ 3.382.326,12	\$ 8.199.575,00
6	-\$ 39.767.952,08		

Tabla 27 - Payback en caso real

El plazo de recuperación que arroja el estudio es el segundo período.

7.5 PRODUCTOS Y SERVICIOS DE OTROS FABRICANTES



Interested in this product?
[Get Best Quote](#)

Manual X-Ray Collimator

[Get Latest Price](#)

Operation Mode	Manual
Type Of X Ray Machine	Portable, Digital, Analog
Application	Radiography
Classification	Imaging Diagnostic Equipment

We welcome enquiries from Potential business Partners interested in Marketing our Products.

Our organization is indulged in offering X-Ray Limit-X (MAN) to our clients. Limit-X manual version is single leaf parallel shutter, square field manual collimation system with light weight & compact design suitable for a wide range of general purpose of radiography in combination with all kind of x-ray tube units. The purpose is to collimator exactly the radiation beam emerging from the X-Ray tube assembly on to the size of object to be displayed.

FEATURES:

- Manual shutter movements with Simple & aesthetic design of link mechanism.
- Ideal for all type of RF x-ray units.
- External adjustment of mirror angulations.
- Electronic 30 sec (+/- 10 Sec) timer for the activation of light field simulating the x-ray field.
- Lamp position & lamp filament position can be easily adjusted.
- Two knobs on front panel of unit for manual control of shutters

X-Ray Collimator Motorised (Limit-X Mot)

[Get Latest Price](#)



Operation Mode	Manual
Type Of X Ray Machine	Analog, Portable
Application	Radiography
Classification	Imaging Diagnostic Equipment

We welcome enquiries from Potential business Partners interested in Marketing our Products.

Our organization is indulged in offering X-Ray Limit-X (MOTORISED) to our clients. Limit-X motorized version is single leaf parallel shutter, square field motorized collimation system with light weight & compact design suitable for a wide range of general purpose of radiography in combination with all kind of X-Ray tube units. The purpose is to collimator exactly the radiation beam emerging from the X-Ray tube assembly on to the size of object to be displayed. Collimation is motorized with the aid of AC motors.

Interested in this product?

[Get Best Quote](#)

FEATURES:

- Motorised shutter movement.
- Ideal for all type of RF x-ray units.
- External adjustment of mirror angulations.
- Electronic 30 sec (+/- 10 Sec) timer for the activation of light field simulating the x-ray field.
- Lamp position & lamp filament position can be easily adjusted.
- Simple & aesthetic design of link mechanism for shutter Movement.



Interested in this product?

[Get Best Quote](#)

X-Ray Collimator (Limit-X Nano)

[Get Latest Price](#)

We welcome enquiries from Potential business Partners interested in Marketing our Products.

Limit-X Nano model is single leaf parallel shutters, X Y fields, manual X-Ray collimator. It is compact & light weight. It has calibrated field size scale & SID measurement tape to facilitate the quick & accurate radiography. It is specially designed for wide range of general purpose radiography.

FEATURES:

- Filter IN/OUT facility.
- SID measurement with Tape.
- Calibrated field size scale.
- Electronic Timer 30 sec (+/- 10 Sec) - OPTIONAL.
- Ideal for Portable, Mobile, RF X-Ray units .
- Simple & aesthetic design.
- Fail proof link mechanism.
- Front lever knob operation.
- Dimension: 180 D x 160 W x 94 H mm
- Weight (Max.): 2.300 Kg



Collimator Matched with X-ray Machine

FOB Price:	US \$1-2,000 / Piece
Min. Order:	1 Piece

Port:	Qingdao, China
Production Capacity:	1000 Sets /Per Month
Payment Terms:	L/C, T/T, Western Union, Paypal, Money Gram

[Contact Now](#)

[Leave a message](#) [Inquiry Basket](#) [Favorites](#)



Collimator for Portable X Ray Machine

FOB Price:	US \$1-2,000 / Piece
Min. Order:	1 Piece

Port: Qingdao, China
 Production Capacity: 1000 Sets /Per Month
 Payment Terms: L/C, T/T, Western Union, Paypal, Money Gram

[Contact Now](#)

[Leave a message](#) [Inquiry Basket](#) [Favorites](#)



Medical X-ray Collimator Sr202s for X-ray Machine

Min. Order: 1 Piece
 Port: Hangzhou, China
 Production Capacity: 500PCS/Month
 Payment Terms: L/C, T/T, Western Union, Money Gram

[Contact Now](#)

[Leave a message](#) [Inquiry Basket](#) [Favorites](#)



Medical X-ray Collimator Sr103 for 125kv X-ray Machine

FOB Price:	US \$1-1,000 / Piece
Min. Order:	1 Piece

Port: Hangzhou, China
 Production Capacity: 500PCS/Month
 Payment Terms: L/C, T/T, Western Union, Money Gram

[✉ Contact Now](#)

[🗨 Leave a message](#) [🛒 Inquiry Basket](#) [☆ Favorites](#)



El colimador de rayos X Srf202cl para máquina de rayos X

Pedido Mínimo: 1 Pieza
 Puerto: Hangzhou, China
 Capacidad de Producción: 500PCS/Month
 Condiciones de Pago: L/C, T/T, Western Union, Money Gram

[✉ Contacta Ahora](#)

[🗨 Dejar un mensaje](#) [☆ Favoritos](#)

8 APÉNDICE A: REFERENCIAS

La siguiente tabla contiene los documentos a los que se hace referencia en este documento

Nombre del documento y versión	Descripción	Ubicación

9 APÉNDICE B: DICCIONARIO

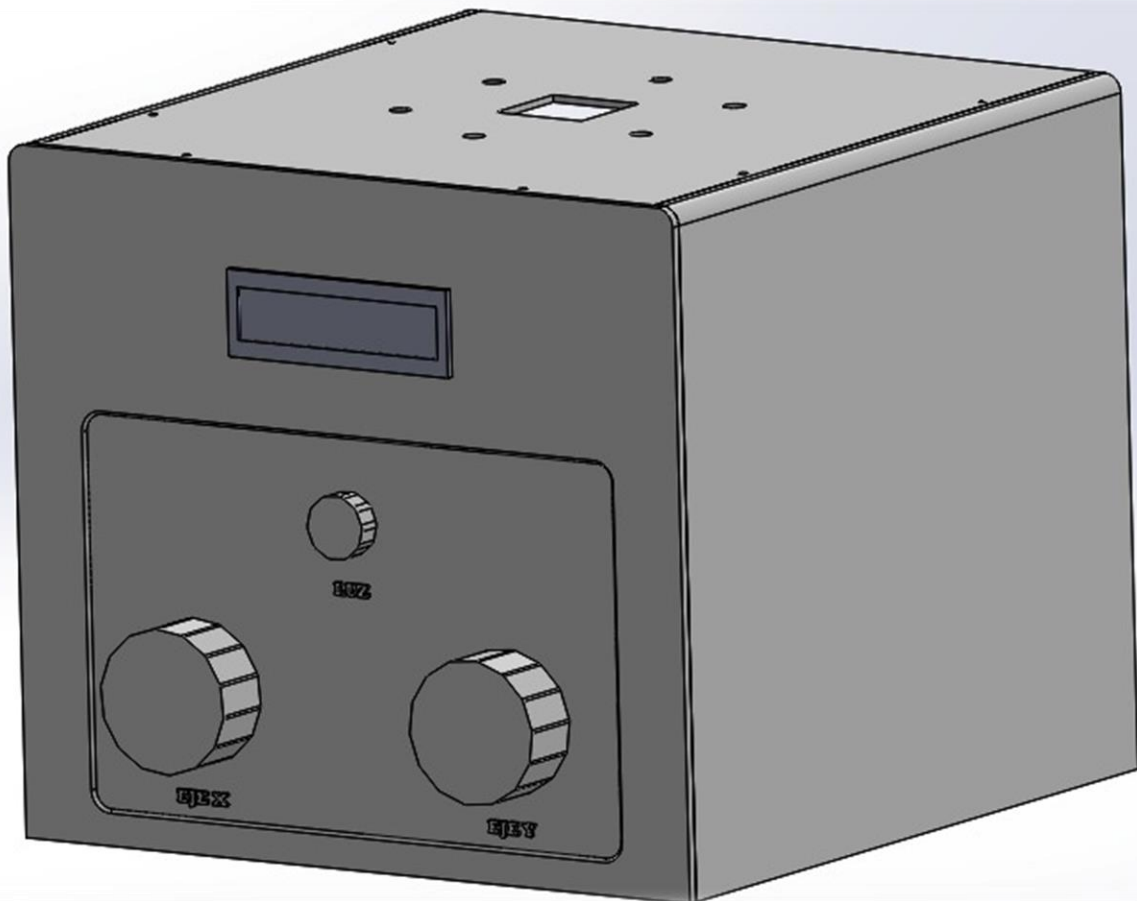
La siguiente tabla proporciona definiciones de palabras relevantes para este documento.

Palabra	Definición
<i>CARX</i>	<i>COLIMADOR AUTOMÁTICO DE RAYOS X</i>

10 APÉNDICE C: MANUAL DE USUARIO

MANUAL DEL USUARIO

COLIMADOR AUTOMÁTICO DE RAYOS X



CARACTERÍSTICAS

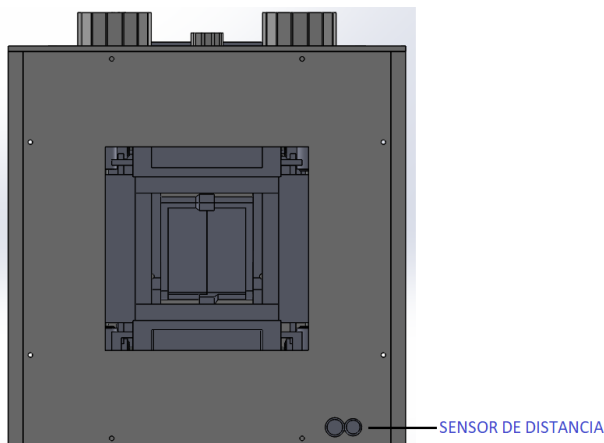
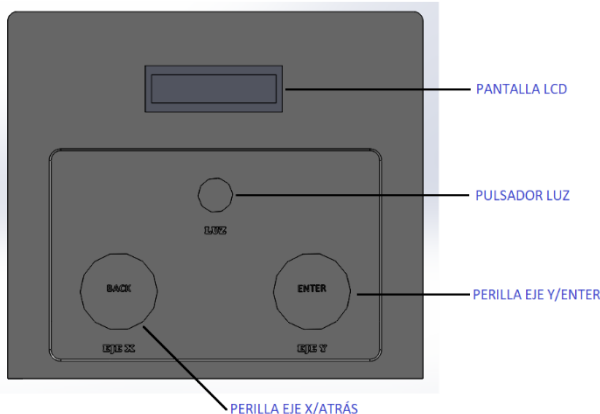
Este equipo es un sistema de colimación, cuyo ajuste se realiza mediante la transmisión del movimiento de motores eléctricos a las placas limitadoras. De esta manera, el usuario nunca transmite su propia fuerza mecánica al sistema de ajuste.

El dispositivo cuenta con doble juego de placas colimadoras, para asegurar una adecuada limitación de los rayos x a eliminar, las cuales se mueven de manera solidaria. De esta manera el operario, al ajustar el tamaño, opera sobre ambos sistemas al mismo tiempo.

Se ofrece al operario dos modos de trabajo, uno manual y uno automático. En el primero, el usuario mueve dos perillas para modificar el área a irradiar, una para cada eje. A modo informativo, en la pantalla se muestra la distancia desde el objetivo o camilla, hasta el plano de salida de rayos del colimador. Con ayuda de una luz visible temporizada, el operario es el encargado de ajustar la zona a irradiar, según su criterio y necesidad.

En el modo automático, el operador selecciona las medidas del área a irradiar, entre medidas de placas precargadas en el software, y el colimador se encargará de tomar la distancia hasta la camilla, realizar los cálculos y ajustar automáticamente las placas, para que la zona de rayos sea la esperada. De esta manera, el operador solo debe seleccionar el tamaño de placa radiológica que desea tomar.

PARTES DEL EQUIPO



PANTALLA LCD: permite que el operario interactuar con el software y presenta información.

PULSADOR LUZ: emite luz visible durante 15 segundos, sobre la zona a irradiar con rayos x.

PERILLA EJE X/ATRÁS: el giro ajusta el tamaño del área sobre el eje espacial X y presionando la perilla permite volver atrás en las pantallas del software.

PERILLA EJE Y/ENTER: el giro ajusta el tamaño del área sobre el eje espacial Y y presionando la perilla permite ingresar en las pantallas del software.

SENSOR DE DISTANCIA: mide la distancia desde el colimador al objetivo.

MODO “MANUAL”

1° Para ingresar en este modo, asegúrese de estar en la pantalla principal, la cual muestra la leyenda “PRINCIPAL” en la parte superior.

2° A continuación, desplace hacia abajo la flecha que aparece en el lado izquierdo hasta ubicarla sobre la leyenda “MANUAL”. Para ello utilice la perilla del eje X, girándola en sentido horario para bajar.

3° Una vez ubicada la flecha de selección, presione la perilla ENTER.



Si esto se ha logrado correctamente, la pantalla cambiará y se mostrará la leyenda “DISTANCIA: “, seguida de la distancia medida por el sensor.

4° Gire las perillas “EJE Y” y “EJE X” para mover las placas limitadoras y ajustar el área a irradiar. Presionando el botón “LUZ” se encenderá durante 15 segundos una luz visible que refleja dicha área.

5° Para salir de este modo, presione la perilla “BACK”, la cual volverá a mostrar la pantalla principal.

MODO “AUTOMÁTICO”

1° Para trabajar en este modo, primero debe colocarse la pantalla principal, la cual tiene la leyenda “PRINCIPAL” en la parte superior.

2° A continuación, desplace hacia abajo la flecha que aparece en el lado izquierdo hasta ubicarla sobre la medida del área deseada. Para ello utilice la perilla del eje X, girándola en sentido horario para bajar.



Tenga en cuenta que todas las medidas están expresadas en centímetros.

3° Una vez ubicada la flecha de selección, presione la perilla ENTER.



Si esto se ha logrado correctamente, la pantalla cambiará y se mostrará la leyenda “DISTANCIA: “, seguida de la distancia medida por el sensor, y debajo la leyenda “X:“ e “Y:”, seguidos de la medida seleccionadas para cada eje.

En este modo el colimador ajustará automáticamente la ubicación de las placas limitadoras para cumplir con el área a irradiar seleccionada, en función de la distancia a la que se encuentra la camilla.

Si lo desea puede presionar el botón “LUZ” el cual encenderá durante 15 segundos una luz visible que refleja dicha área a irradiar.

4° Para salir de este modo, presione la perilla “BACK”, la cual volverá a mostrar la pantalla principal.

CAMBIO DE LÁMPARA



El cambio de lámpara de luz visible solo debe realizarlo un profesional competente y certificado en el área biomédica, ya que la colocación de una nueva fuente de luz requiere una posterior calibración para que el área iluminada, coincida con la que será irradiada con rayos x. En caso no efectuarse dicha calibración, se puede someter al paciente y operario a una exposición de rayos X indeseada, causando severos daños a la salud.

1° Asegúrese que el equipo se encuentra desconectado de la energía eléctrica.

2° Retire los 6 tornillos ubicados en la tapa posterior del equipo. Retire los 2 tornillos ubicados en la parte inferior trasera de la parte inferior del equipo.

3° Con cuidado retire la tapa posterior. Tenga en cuenta que posee un recubrimiento de plomo, que la hace pesada.

4° Gire el conector de la lámpara en sentido anti horario hasta que este se afloje y luego retire hacia atrás el mismo.

5° Afloje el tornillo del collar que sostiene la lámpara y quite la misma.

6° Reemplace la misma y repita el proceso en forma inversa.

7° Efectúe la calibración de luz para representar fielmente la zona a irradiar.

PRECAUCIONES Y MANTENIMIENTO

- Utilice solo la fuente de alimentación original con voltaje de red 220 VAC. En caso de avería contáctese con un representante.
- Limpie regularmente las superficies del equipo. No utilice productos de limpieza que puedan dejar residuos o superficies grasas.
- Limpie regularmente el sensor laser medidor de distancia, utilizando algodón medicinal con alcohol isopropílico. Asegúrese de no presionar fuerte el sensor.
- En caso de problemas mecánicos, el equipo mostrará un mensaje en la pantalla advirtiéndolo sobre esto y no permitirá hacer uso del colimador. En tal caso nunca intente abrir y mover manualmente componentes del equipo. Contáctese con un representante.
- Corrobore al menos una vez cada tres meses la medición del sensor de distancia. Para ello haga uso de una cinta métrica y ubique el equipo a una distancia entre 50cm y 100cm hasta la camilla. Luego ingrese al modo "MANUAL" compare la distancia mostrada en la pantalla con la utilizada. En caso de existir una diferencia mayor a ± 3 cm, contacte con un representante para su recalibración.
- Efectúe al menos una vez al año la correspondiente certificación de calibración del equipo, hecha por un profesional certificado.