



SEP

SES

TecNM

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA

**“SISTEMA DE POSICIONAMIENTO PARA DETECTORES DE
RADIACIÓN”**

**TITULACIÓN INTEGRAL
TESIS PROFESIONAL**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO MECATRÓNICO**

**PRESENTA:
IVAN JAIR BECERRA GARRIDO
No. CONTROL:
11281041**

**ASESORES:
DR. FRANCISCO JAVIER RAMÍREZ JIMÉNEZ
DR. LUIS MONDRAGÓN CONTRERAS**



SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de Toluca

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Metepec, Edo. de México, 31/Enero/2019

ASUNTO: Liberación de Proyecto para Titulación Integral

C. ING. MIGUEL ÁNGEL TERRAZAS MAGAÑA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES
P R E S E N T E.

Por este medio le informo que ha sido liberado el siguiente proyecto para la Titulación Integral:

Nombre del Egresado: IVAN JAIR BECERRA GARRIDO
Carrera: INGENIERIA MECATRÓNICA
No. de Control: 11281041
Nombre del Proyecto: "SISTEMA DE POSICIONAMIENTO PARA DETECTORES DE RADIACIÓN"
Producto: "TITULACIÓN INTEGRAL: TESIS PROFESIONAL"

Agradezco de antemano su valioso apoyo en esta importante actividad para la formación profesional de nuestros egresados.

ATENTAMENTE

"Educación, integridad y ciencia"

ING. KARINA ESPERANZA ÁLVAREZ VÁZQUEZ
JEFA DEL DEPTO. DE INGENIERÍAS



SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA MECATRÓNICA

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA

RECIBIDO
17 FEB 2019

HORA

OFICINA DE APOYO A LA TITULACIÓN

DR. LUIS MONDRAGÓN CONTRERAS	DR. JOSÉ ARMANDO SEGOVIA DE LOS RÍOS	DRA. CITLALIH Y. A. GUTIÉRREZ ESTRADA
ASESOR	REVISOR	REVISOR

c.c.p. Expediente



Av. Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bellavista, C.P. 52149,
Metepec, Estado de México. Tels. Dirección (01722) 208 7205, Subd. Académica 208 7207,
Subd. de Planeación 208 7206, Subd. Administrativa 208 7208, Conmut. 208 72 00
e-mail: info@toluca.tecnm.mx, www.toluca.tecnm.mx





SEP
SECRETARÍA DE
EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO

Instituto Tecnológico de

"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

Metepec, Edo. De México, 12 / Marzo / 2019.

DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

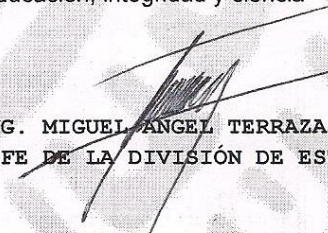
ASUNTO: Se Autoriza Impresión de Trabajo Profesional

C. IVAN JAIR BECERRA GARRIDO
PASANTE DE LA CARRERA DE
INGENIERÍA MECATRONICA

De acuerdo con el Reglamento de Titulación del Sistema Nacional de Educación Superior Tecnológica, dependiente de la Subsecretaría de Educación Superior de la Secretaría de Educación Pública y habiendo cumplido con todas las indicaciones que la Comisión Revisora realizó, con respecto a su trabajo profesional en la **OPCIÓN TITULACIÓN INTEGRAL: TESIS PROFESIONAL**, con el tema denominado: **"SISTEMA DE POSICIONAMIENTO PARA DETECTORES DE RADIACIÓN."** La División de Estudios Profesionales concede su autorización para que proceda la impresión del mismo.

A T E N T A M E N T E

"Educación, integridad y ciencia"


ING. MIGUEL ÁNGEL TERRAZAS MAGAÑA
JEFE DE LA DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

MAT*mpjl*
C.c.p. Expediente


ESTADOS UNIDOS MEXICANOS
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA
INSTITUTO TECNOLÓGICO NACIONAL
DE MÉXICO
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE TOLUCA
DIVISIÓN DE
ESTUDIOS PROFESIONALES



Av. Tecnológico S/N, Col. Agrícola Bellavista, C.P. 52149,
Metepec, Estado de México. Tels. Dirección (01722) 208 7205, Subd. Académica 208
Subd. de Planeación 208 7206, Subd. Administrativa 208 7208, Conmut. 208 7200
e-mail: info@toluca.tecnm.mx, www.toluca.tecnm.mx



AGRADECIMIENTOS

Soy muy afortunado de tener a tantas personas a quienes agradecer por la conclusión de mis estudios y por las innumerables vivencias y aprendizajes que he tenido durante toda la vida. No me alcanzarían las palabras para expresarles mi sentir por todo lo que han hecho por mí, sin embargo, intentaré ser breve:

A mi familia por ser la base, el ánimo y la motivación de este proyecto y de todo lo que me he planteado en la vida.

A mis amigos por acompañarme en este camino, no solo en la escuela sino también en otras facetas de la vida. Ustedes han sido un apoyo fundamental para culminar esta etapa.

A mis asesores por estar ahí para hacer que el proyecto marchara de forma excelente y por apoyarme en la solución de los problemas que surgieron. La capacitación que tienen es de alto nivel y sin embargo se las arreglan para ser mucho mejores personas.

Al Instituto Tecnológico de Toluca por ser el lugar en donde adquirí los conocimientos y aptitudes necesarias para hacer esta tesis y obtener mi título de ingeniería. Así mismo agradezco a todos los docentes que lograron inspirar algo en mí, incluso a aquellos quienes no fueron mis maestros.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares por hacer posible el desarrollo de este proyecto en el cual tuve la oportunidad de participar y conocer a excelentes personas que me compartieron sus conocimientos y experiencias.

DEDICATORIA

A mis padres.

Ustedes siempre han sido mi apoyo y a quienes les debo todo, sé que cuento con todo su respaldo y por eso nunca dudé en que este momento llegaría. La manera en la me formaron permitió que desarrollara la curiosidad, las ganas de aprender y la tenacidad necesaria para lograr esta meta y las que vienen.

A mis hermanos.

Quienes han hecho muy amenos y divertidos muchos momentos. Juntos hemos aprendido muchas cosas, sin embargo, lo más valioso es que entendimos que nos respaldamos en cualquier reto de la vida.

RESUMEN

En este trabajo se muestra el desarrollo, construcción y análisis de un equipo Posicionador automatizado de detectores de radiación utilizado para generar perfiles bidimensionales de campos radiactivos. El equipo funciona de manera parecida a las máquinas de control numérico (CNC) pues a través de coordenadas puede ubicar el detector en cualquier posición dentro del área de trabajo, la tarea principal del sistema es detectar y medir radiación. Los perfiles que se obtienen con este equipo aportan información sobre las características de los campos radiactivos y las fuentes que los generan.

El presente equipo es la integración de diferentes ramas de la ingeniería (mecánica, electrónica y programación) debido a que utiliza un sistema mecánico para el movimiento del detector, funciona con elementos electrónicos para el acondicionamiento de señal de los detectores y el manejo de la corriente eléctrica para la impulsión de los motores y requiere de un desarrollo de programación para comunicar al usuario con este.

En esta tesis se exponen todas las etapas del desarrollo del proyecto. Se inicia con los requerimientos que tiene el sistema, posteriormente se exponen las decisiones que se tomaron para el diseño del equipo y por últimos se muestran los resultados del Posicionador de detectores.

SUMMARY

In this work the design, manufacture and analysis of a Radiation Detector Positioner is showed, this device is made to generate two dimensional profiles of radioactive fields. The prototype works like a computer numerical control machine (CNC) because it can locate the detector in a specific point within the work area, the main task of this equipment is the radiation detection and measurement. The profiles obtained with this system can be used to identify the characteristics of the radioactive fields and sources that produce them.

The device exposed in this work is the integration of different engineering areas (mechanics, electronics and programming), The system employs a mechanic system for the positioning of the detector; electronic circuits for the detector signal conditioning and motors drivers; additionally, a computer program for data acquisition and for the human machine interface.

In this thesis all the developed project stages are presented. It begins with the system requirements, then all design criteria for the system are exposed and shown and finally the results of the Detectors Positioner are displayed.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	2
1.2 OBJETIVOS.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN	4
CAPÍTULO 2. LA RADIACIÓN Y SU DETECCIÓN	6
2.1 TIPOS DE RADIACIÓN	6
2.2 APLICACIONES DE LA RADIACIÓN.....	8
2.3 INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA.....	10
2.4 DETECTORES DE RADIACIÓN	13
2.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS DETECTORES DE RADIACIÓN	17
CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE	19
CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL SISTEMA POSICIONADOR	26
4.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA	26
4.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA.....	29
4.3 INTERFAZ DE USUARIO Y PROGRAMA DE CONTROL	29
4.3.1 Retorno al origen.....	30
4.3.2 Posicionamiento	34
4.3.3 Barrido	38
4.3.4 Presentación de resultados	45
4.4 DESARROLLO ELECTRÓNICO	47
4.5 ESTRUCTURA Y SOPORTES.....	53
4.6 CONSIDERACIONES EXTRAS	62
CAPÍTULO 5. RESULTADOS.....	63
5.1 ESTRUCTURA MECÁNICA.....	63
5.2 INTERFAZ DE USUARIO	64

5.3 EQUIPO FINAL.....	67
5.4 APLICACIONES	69
5.4.1 Perfil del campo de radiación de distintas fuentes.....	69
5.4.2 Medición de neutrones en el reactor TRIGA MARK III.....	75
CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES.....	78
BIBLIOGRAFÍA.....	82
ANEXOS.....	85
ANEXO A. Manual de usuario.....	85
ANEXO B. Ensamble de la estructura.....	86
ANEXO C. Diagrama de flujo de la generación de coordenadas para barrido.....	87

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Núcleos de helio o partículas alfa (dos protones y dos neutrones).....	7
Figura 2. Decaimiento beta.....	7
Figura 3. Emisión de radiación gamma.....	8
Figura 4. Radiografía	8
Figura 5. Dibujo de un irradiador.....	9
Figura 6. Reactor nuclear de la central nucleoelectrica “Laguna verde”	10
Figura 7. Interacción de partícula alfa con electrón por fuerzas de Coulomb	11
Figura 8. Generación de radiación de frenado (Bremsstrahlung)	11
Figura 9. Esquema del efecto fotoeléctrico	12
Figura 10. Esquema del efecto Compton	12
Figura 11. Representación de la producción de par electrón-positrón.....	13
Figura 12. Cámara de ionización portátil.....	14
Figura 13. Contador Geiger. a) Antiguo, b) Moderno	15
Figura 14. Detectores de semiconductor. a) Miniatura, b) Área grande	15
Figura 15. Detector de diodo PIN.....	16
Figura 16. Detectores de centelleo y tubos fotomultiplicadores.....	17
Figura 17. Concepto de ángulo sólido.....	18
Figura 18. Sistema Gantry para cámara de manufactura.....	20
Figura 19. Diseño mecánico de la cortadora de papel	21

Figura 20. Diagrama del aparato de imagen radiológica de la patente US9,541,509B2.....	22
Figura 21. Aparato desarrollado en la patente US 2016/028796 A1.....	22
Figura 22. Sistema coordinado de cultivo	23
Figura 23. Sistema de generación de imágenes radiológicas de patente US 9872659 B2	24
Figura 24. Posicionador 3D.....	25
Figura 25. Módulo DAQ NI 6008.....	27
Figura 26. Mesa de coordenadas PROXXON KT70.....	28
Figura 27. Panel frontal de un programa elaborado con LabVIEW.....	28
Figura 28. Diagrama de bloques del proyecto.....	29
Figura 29. Bloques específicos del sistema	29
Figura 30. Diagrama de la máquina de estados del sistema.....	30
Figura 31. Movimientos del desplazamiento al origen.....	31
Figura 32. Diagrama de flujo de la ida al origen.....	32
Figura 33. Programa de recorrido al origen.....	33
Figura 34. Espacio de trabajo de la mesa de coordenadas.....	34
Figura 35. Parámetros de referencia para posicionamiento	35
Figura 36. Diagrama de flujo del posicionamiento.....	36
Figura 37. Diagrama de flujo de la medición	37
Figura 38. Programa de posicionamiento de LabVIEW	38
Figura 39. Parámetros de barrido	39
Figura 40. Dos trayectorias de barrido preestablecidas	40
Figura 41. Procedimiento de barrido	41
Figura 42. Diagrama de flujo de para validar longitudes de barrido.....	42
Figura 43. Diagrama de flujo de la generación de coordenadas	44
Figura 44. Programa de generación de los vectores “X”, “Y” y la matriz Z	47
Figura 45. Secuencia de avance para motor bipolar	48
Figura 46. Diagrama de un puente de transistores.	48
Figura 47. Módulo de potencia con circuito integrado L298	49
Figura 48. Fuente de voltaje	50
Figura 49. Diagrama esquemático del preamplificador	51
Figura 50. Placa de circuito impreso del preamplificador	52
Figura 51. Diagrama del acondicionador de señal	52
Figura 52. Tarjeta de circuito impreso del discriminador	53
Figura 53. Medidas del espacio necesario para la mesa de coordenadas	54

Figura 54. Mecanismo de movimiento vertical	55
Figura 55. Prisma de ajuste	57
Figura 56. Contenedor de elementos electrónicos	58
Figura 57. Diagrama de altura del pilar de soporte	58
Figura 58. Tapa protectora de luz	60
Figura 59. Estructura final	61
Figura 60. Estructura de soporte vertical.....	62
Figura 61. Gabinete finalizado	63
Figura 62. Soporte vertical con mesa de coordenadas y detector.	64
Figura 63. Pantalla principal del programa del sistema de posicionamiento de detectores de radiación.	64
Figura 64. Pantalla de ida al origen.....	65
Figura 65. Pantalla de la función de posicionamiento	65
Figura 66. Pantalla de la función de barrido.....	66
Figura 67. Pantalla de resultados.....	67
Figura 68. Caja para los circuitos electrónicos del Sistema portátil de Posicionamiento de Detectores de Radiación, vista general (izquierda), vista frontal (derecha arriba), vista posterior (derecha abajo)	67
Figura 69. Conexión interna de los circuitos electrónicos dentro de la caja.....	68
Figura 70. Equipo portátil final ensamblado	68
Figura 71. Detector RD2014	69
Figura 72.a) Fuente de Cesio 137 b) Fuente de Americio 261	70
Figura 73. Pulsos de salida del detector RD2014. a) Pulso detectado por el DAQ USB 6008 b) Pulso no detectado	72
Figura 74. Perfil radiactivo de la fuente de Cesio-137. Mapa 2D (izquierda) y superficie (derecha)	74
Figura 75. Perfil radiactivo de la fuente de Americio-241. Mapa 2D (izquierda), superficie generada (derecha)	74
Figura 76. Instalación del equipo para medir el perfil del haz de neutrones en uno de los puertos del reactor TRIGA MARK III del ININ.	75
Figura 77. Gráfica del conteo comparativo entre el MCA y el DAQ	75
Figura 78. Perfil del haz de neutrones con el colimador original	77
Figura 79. Perfil del haz de neutrones con el segundo colimador	77

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Tipos de archivos de barrido.	45
Tabla 2. Formato para graficar en LabVIEW	46
Tabla 3. Comparación de conteos entre el contador Ortec y el módulo NI 6008 con ^{137}Cs . ..	70
Tabla 4. Comparación de conteos entre el contador Ortec y el módulo NI 6008 con ^{241}Am . ..	71
Tabla 5. Comparación de conteos entre el contador Ortec y el módulo NI 6008 para fuente de ^{241}Am y con discriminador a la salida del detector.....	73
Tabla 6. Valores obtenidos en conteo comparativo entre el MCA y el DAQ	76

CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN

En el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares se trabaja en las aplicaciones pacíficas de la radiación nuclear por lo que uno de los objetivos es el desarrollo de nuevos sistemas de detección de radiación, esta es una de las tareas específicas del Departamento de Sistemas Electrónicos. El equipo diseñado y construido en la presente tesis cumplirá con lo anterior pues servirá como apoyo para futuras investigaciones que se lleven a cabo en lugares como: El Departamento de Metrología de Radiaciones Ionizantes, El Acelerador de Partículas y el Reactor Nuclear Triga Mark III.

El Posicionador de detectores de radiación es un equipo constituido por una mesa coordenadas controlada por una computadora, sobre la cual se instala un detector de radiación para hacer posible su movimiento en un plano. Este arreglo de elementos se comunica y coordina mediante un software, el cual sirve para registrar los valores de radiación provenientes del detector y para controlar la mesa de coordenadas que mueve el detector.

Mediante el uso del posicionador aquí propuesto se pueden analizar las características espaciales de los campos de radiación como: el flujo, la concentración y la atenuación dependiente de la longitud. A través del equipo también se posibilita la medición de las características de la materia por medio de métodos nucleares, esto quiere decir medir magnitudes como densidad y espesor haciendo pasar un objeto en un campo de radiación conocido y medir la atenuación del campo mediante un detector.

El Posicionador de detectores está integrado por el mecanismo que provee movimiento a los detectores, los elementos de sujeción de los detectores, la parte electrónica para el acondicionamiento de señal y por la interfaz de usuario, encargada de facilitar la operación del equipo y la revisión de los resultados.

Esta tesis está compuesta de cinco capítulos organizados para guiar al lector de manera eficiente a través del desarrollo del proyecto. El primero de ellos es la introducción, en la que se explican el objetivo, las soluciones que aportará y las razones por las que se decidió emprender el desarrollo y fabricación del Posicionador.

En el segundo capítulo se explica de manera breve los conceptos básicos de la radiación, sus aplicaciones y los tipos de detectores de radiación. El objetivo de este capítulo es dotar al lector que no está familiarizado con el fenómeno de la radiación nuclear de algunos conocimientos necesarios que le permitan comprender el desarrollo y aplicación del Posicionador de detectores.

En el tercer capítulo se presenta el estado del arte que es la investigación y presentación de proyectos que se relacionan con el aquí presentado. Tener la idea de los proyectos más recientes en el campo ayuda a establecer las mejoras y características que debe tener el presente proyecto para que su construcción sea valiosa.

El cuarto capítulo habla del diseño y fabricación del prototipo. Está dividido en tres partes que son las que conforman el proyecto: interfaz de usuario, elementos electrónicos y estructuras mecánicas, dicha división facilita al lector situarse en el área de diseño que le interese. En este apartado se incluyen los cálculos que respaldan la elección de los elementos que conforman el sistema y las razones por las que se fabricó de la manera en que está construido.

En el quinto capítulo se presentan los resultados, se exponen los parámetros alcanzados por el sistema y las aplicaciones en las que se utilizó. Mediante el análisis de los resultados se puede establecer si el sistema cumplió con los objetivos planteados al inicio del proyecto.

Por último, se encuentran las conclusiones, en donde se presentan y se evalúan de manera cualitativa y cuantitativa los resultados del sistema además se analiza si existen áreas de oportunidad para mejorar el Posicionador. En caso de que se requiera elaborar un proyecto similar a este, se sugiere tomar en cuenta las recomendaciones plasmadas en esta sección.

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En ocasiones cuando se está realizando una investigación con fuentes radiactivas es necesario conocer la cantidad de haces o partículas que recibe un punto, superficie o espacio. Estudiar el fenómeno implica que el investigador utilice un medidor de radiación para hacer un barrido en todos los puntos de interés, registre los datos obtenidos en cada una de las mediciones, analice los datos y haga una gráfica. Todo el proceso puede tomar

desde unos minutos hasta horas, dependiendo del espacio que se desea medir y de las características de la medición.

A la situación anterior debe agregarse que en ocasiones el equipo que genera el campo radiactivo a analizar solo se puede utilizar en intervalos de tiempo cortos, tal es el caso del reactor TRIGA MARK III el cual solo se encuentra disponible para experimentos en algunas horas por semana.

Debido a que la radiación es perjudicial para el ser humano los investigadores deben evitar exponerse a los campos que se están midiendo, sobre todos si el tipo de radiación es de alta energía o gran capacidad de penetración.

Para algunos experimentos es necesario tener mayor precisión en la medición. El hecho de hacer mapeos de forma manual agrega la posibilidad de tener errores en la medición y el registro de los datos.

La medición de un campo radiactivo se puede hacer en diferentes geometrías y para distintos tipos de fuentes, esto agrega una dificultad extra a dicha actividad. En algunas ocasiones las fuentes se miden de manera horizontal como en el caso de las fuentes estándar, pero en otras aplicaciones la medición se debe hacer en un sistema previamente instalado como en el caso de los tubos de haces de neutrones del reactor, donde no es posible hacer ninguna modificación geométrica. La variabilidad anterior agrega un reto más para realizar el mapeo de un campo radiactivo.

Debido a que existen diferentes tipos de haces de radiaciones necesario realizar mediciones en diferentes condiciones, un ejemplo muy específico es que la medición de partículas alfa se ve afectada por factores como la iluminación y la cantidad de aire presente en el medio en el que se mide. El impacto de estos factores puede dificultar el mapeo de algunos tipos de campos radiactivos.

1.2 OBJETIVOS

Objetivo general

- Desarrollar un sistema Posicionador para detectores de radiación que se pueda posicionar en un plano coordenado.

Objetivos específicos:

- Diseñar los circuitos electrónicos de control y potencia, el sistema de posicionamiento X-Y y la interfaz de usuario del sistema.
- Probar los elementos que componen el sistema de detección de radiación.
- Integrar los circuitos electrónicos de control, la interfaz de usuario y el sistema de detección.
- Realizar pruebas de funcionamiento de todo el sistema

1.3 JUSTIFICACIÓN

Hacer un sistema que automáticamente haga la medición de la radiación en puntos específicos de un plano bidimensional ayudará a liberar a los investigadores de hacer un proceso tedioso y que les consume tiempo, esto les permitirá atender otros proyectos u otros procesos relacionados con su trabajo, adicionalmente las mediciones tendrán un mayor grado de precisión y confiabilidad y se evitara errores humanos que resultan de un proceso manual.

Debido a que en el ININ tiene más de un área interesada en hacer mediciones sobre planos bidimensionales, el equipo que se pretende diseñar tendrá un impacto mayor puesto que puede utilizarse en diferentes experimentos con fuentes radiactivas y con equipos generadores de radiación.

El Posicionador de detectores de radiación beneficiará a los investigadores del ININ que tengan la necesidad de hacer mediciones en campos de radiación, específicamente si necesitan hacer un mapeo de la distribución de la radiación en un plano o hacer una medición en un punto en particular.

Con el sistema aquí planteado el investigador podrá ahorrar tiempo al hacer las mediciones, debido a que el montaje de los detectores será un procedimiento ágil. Como el Posicionador será un equipo automatizado, el usuario no tendrá que estar pendiente de mover el detector ni de realizar la medición.

El Posicionador estará constituido por un mecanismo de alta calidad, lo que logrará una gran precisión, repetitividad y baja incertidumbre en los desplazamientos, con lo que se reducirán al máximo los errores de posicionamiento.

Una ventaja mayor para quien use el sistema será que para realizar una medición solo se tendrán que introducir los valores requeridos para su mapeo y esperar a que el Posicionador ejecute todo el procedimiento, incluso este proceso se podrá ejecutar sin que el usuario esté presente.

Una razón adicional para realizar el presente proyecto es que servirá como prototipo para desarrollar sistemas similares que se puedan aplicaren otros laboratorios del ININ, como son: los Aceleradores de Partículas, el Laboratorio de Metrología de Radiaciones Ionizantes, el Reactor Triga, el Laboratorio de Dosimetría Interna, etc.

CAPÍTULO 2. LA RADIACIÓN Y SU DETECCIÓN

Se conoce como radiación nuclear a aquellas partículas u ondas electromagnéticas emitidas a partir de las reacciones provocadas en núcleos de átomos inestables. La radiación proviene de dos tipos de fuentes: naturales y artificiales. Las fuentes naturales son aquellas que existen sin la intervención humana, se clasifican en cósmicas, terrestres e internas; la exposición a este tipo de radiaciones es muy baja y no representa un riesgo. Las fuentes artificiales son fabricadas por el ser humano con algún propósito especial como su uso en: máquinas de aplicación médica, escáner de rayos X para aeropuertos, medicina nuclear, reactores nucleares y aceleradores de partículas. (Naeem, 2007)

2.1 TIPOS DE RADIACIÓN

La radiación puede clasificarse de diferentes maneras: ionizante o no ionizante, partículas u ondas, dañina o no dañina. Sin embargo, no existe una clasificación que defina completamente las características de cada tipo de radiación. (Naeem, 2007)

La clasificación más utilizada en forma general es: radiación ionizante o no ionizante. La palabra ionizante se refiere a la habilidad que tiene una radiación para producir iones en el medio en el que viaja. Las radiaciones no ionizantes se encuentran en la zona del espectro electromagnético con longitudes de onda mayores a 10 nm, estas son: luz visible, microondas, ondas de radio y luz ultravioleta. Las radiaciones ionizantes incluyen el resto del espectro electromagnético (longitud de onda menor a 10 nm), también se incluyen las partículas subatómicas y los iones pesados. (Lansberger, 2015)

Dentro de las radiaciones ionizantes la clasificación más común está dividida en partículas (alfa, beta, neutrones) y radiación electromagnética o fotones (rayos gamma y rayos X). Las características de cada tipo de radiación se presentan a continuación:

2.1.1 Radiación alfa (α)

Son núcleos de helio (He) que se componen de dos neutrones y dos protones. La capacidad de penetración de la radiación alfa es muy baja, en aire viajan pocos centímetros e incluso son detenidas por la piel. La baja penetración se debe a su carga, pues interactúan con la materia de su alrededor a través de fuerzas de Coulomb. A pesar de su baja penetración son muy peligrosas si alguna fuente se llega a introducir en el organismo, debido a su alta energía de algunos MeV. En la Figura 1 se observa una representación de las partículas alfa.

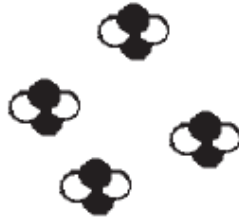


Figura 1. Núcleos de helio o partículas alfa (dos protones y dos neutrones)

2.1.2 Radiación beta (β)

La radiación beta puede ser positiva o negativa y se compone de electrones (cuando es negativa) o positrones (cuando es positiva), surge del átomo de un elemento en el momento del decaimiento, poseen diferentes energías hasta un valor máximo que llega a ser de cientos de KeV. La radiación beta tiene una mayor capacidad de penetración llegando incluso a pasar a través de hojas de aluminio. En la Figura 2 se observan los dos tipos de decaimiento de partículas beta, en estos los neutrinos se representan con ν y los antineutrinos con $\bar{\nu}$.

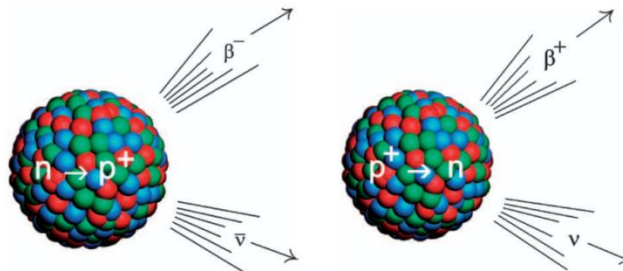


Figura 2. Decaimiento beta

2.1.3 Radiación gamma (γ)

La radiación gamma se compone de fotones de alta frecuencia y energía de hasta algunos MeV, son el resultado de la liberación de energía de un núcleo para ser más estable. No poseen carga eléctrica por lo que tienen una gran capacidad de penetración, para lograr detenerlos se debe recurrir a una protección de plomo o concreto. (Turner, 2007). La Figura 3 muestra un núcleo que expulsa fotones para perder energía y volverse más estable.



Figura 3. Emisión de radiación gamma.

2.2 APLICACIONES DE LA RADIACIÓN

Desde su descubrimiento en 1896 realizado por Henri Becquerel la radiación ha sido investigada con el fin de encontrar aplicaciones para la vida cotidiana. La primera aplicación surgió en años recientes a su descubrimiento cuando Marie y Pierre Curie sugirieron el uso de Radio en el tratamiento de cáncer. Con el paso del tiempo y los conocimientos adquiridos, la radiación ha impactado aún más en el bienestar de la humanidad, por lo que en la actualidad existen diversas aplicaciones pacíficas de la radiación.

2.2.1 Salud

Es una de las aplicaciones con mayor impacto en la actualidad, uno de sus usos es en la elaboración de tomografías, con las que es posible la detección de tumores y ciertos tipos de cáncer. La radiación que se usa para estos fines no tiene su origen en el núcleo de los átomos, sino que se aceleran electrones para que mediante su interacción con la materia se generen rayos X. Otra aplicación importante es la radioterapia en la cual se irradia la zona cancerígena provocando que las células dañadas mueran mientras que las células sanas reciben un daño mínimo. Las radiografías (Figura 4) se generan también por medio de rayos X.



Figura 4. Radiografía

2.2.2 Investigación biológica

La radiación se ha utilizado en la investigación del funcionamiento de diversos procesos biológicos como: fotosíntesis, metabolismo de proteínas y ciclo de Krebs.

2.2.3 Agricultura y alimentación.

Una de las maneras de aprovechar la radiación en la agricultura es el control de plagas de insectos, para lograrlo se esterilizan comunidades de insectos para controlar su número y al mismo tiempo se evita la contaminación provocada por pesticidas que son muy dañinos para el medio ambiente.

Otra aplicación de la radiación es el uso de trazadores en campos de cultivo con los cuales se analiza el uso del agua y los fertilizantes con la finalidad de hacer eficiente el consumo de los mismos (L' Annunziata, 2007).

La radiación también se utiliza para asegurar la sanidad de los alimentos en máquinas llamadas irradiadores (ver Figura 5). La radiación es capaz de aniquilar bacterias dañinas para el organismo humano y ayuda a la conservación de los alimentos (Sommers, 2006).

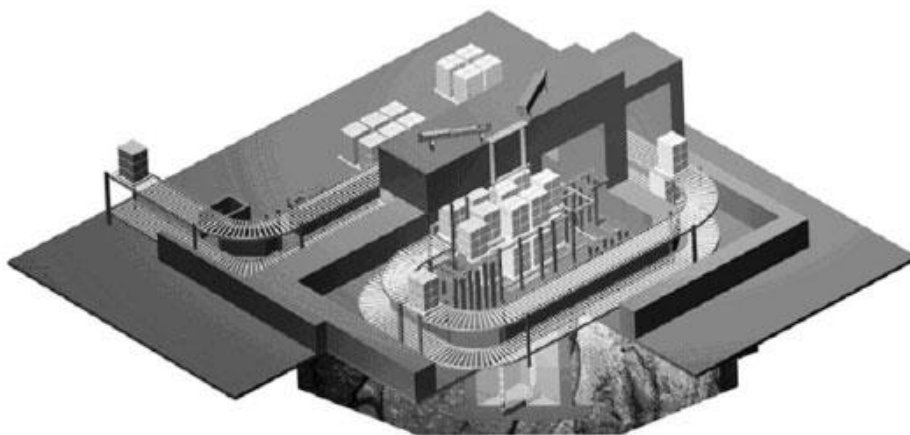


Figura 5. Dibujo de un irradiador

2.2.4 Generación de energía

Una forma de producción de energía eléctrica es a través de reactores nucleares (ver Figura 6) que aprovechan el fenómeno de fisión nuclear en el cual un átomo radiactivo se fragmenta en átomos de menor número atómico al tiempo que libera una gran energía en forma de calor. La producción de energía de esta manera no genera gases de efecto invernadero, sin

embargo, tiene el inconveniente de generar residuos radiactivos que se deben almacenar de forma aislada. En un futuro se plantea la fabricación de reactores de fusión sin embargo esa tecnología está aún en desarrollo. (L' Annunziata, 2007).



Figura 6. Reactor nuclear de la central nucleoelectrica "Laguna verde"

2.3 INTERACCIÓN DE LA RADIACIÓN CON LA MATERIA

La principal forma de interacción entre la radiación de partículas cargadas y la materia circundante es a través de las fuerzas de Coulomb. Cuando una partícula cargada viaja a través de un material es sometida a una serie de impulsos debido a los electrones y núcleos del medio a través del que pasa, esto conduce a una pérdida de energía.

El caso de los neutrones y las ondas electromagnéticas es diferente puesto que estas formas de radiación carecen de carga, y su forma de interacciones es muy variada especialmente la de ondas electromagnéticas.

2.3.1 Interacción de partículas alfa

En el caso de la radiación alfa, el paso de una partícula provoca un impulso (ver Figura 7) sobre los electrones circundantes lo que puede conducir a la excitación de estos o incluso a la ionización del átomo. La trayectoria que describen las partículas alfa es relativamente recta debido a que en cada encuentro la energía que pierde es poca además de que las interacciones ocurren en todas direcciones simultáneamente. Por las condiciones antes mencionadas la radiación alfa pierde energía en distancias cortas, lo que conduce a su baja capacidad de penetración.

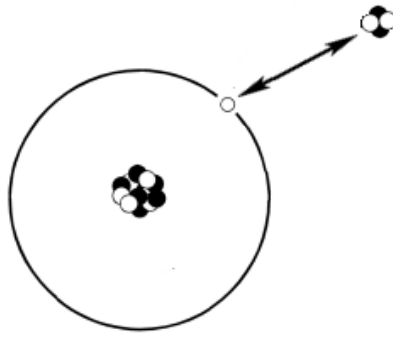


Figura 7. Interacción de partícula alfa con electrón por fuerzas de Coulomb

2.3.2 Interacción de partículas beta

Las partículas beta se ven afectadas por las fuerzas de Coulomb además en el caso de la radiación beta negativa puede perder energía a través de la emisión de radiaciones electromagnéticas de frenado o Bremsstrahlung (ver Figura 8). La radiación beta positiva pierde energía también debido al proceso de aniquilación en el que un positrón se encuentra con un electrón lo que conduce a la eliminación de ambos y a su vez se emite energía en forma de dos fotones que viajan en direcciones opuestas.

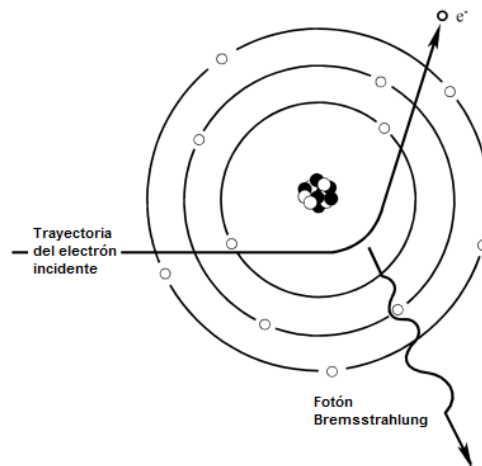


Figura 8. Generación de radiación de frenado (Bremsstrahlung)

Las trayectorias descritas por las partículas beta son muy erráticas debido a que pierden una fracción de energía que provoca su cambio de dirección, llegando en ocasiones incluso a regresar hacia la dirección en que fueron emitidas.

2.3.3 Interacción de la radiación gamma

La radiación gamma no posee carga pues se compone netamente de fotones. Existen varias formas de interacción entre los fotones y la materia, a continuación, se explican:

2.3.3.1 Absorción fotoeléctrica

Cuando un fotón interactúa con un átomo cede toda su energía, por lo que este desaparece y genera la expulsión de un electrón del átomo. Generalmente los electrones expulsados pertenecen a una de las bandas internas. Mediante la absorción fotoeléctrica el átomo se ioniza. La Figura 9 ilustra este fenómeno.

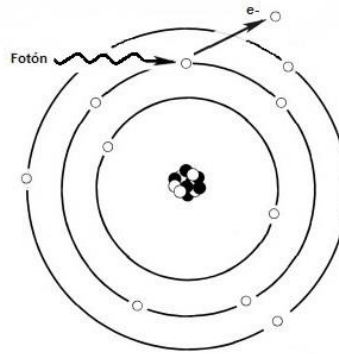


Figura 9. Esquema del efecto fotoeléctrico

2.3.3.2 Efecto Compton

Ocurre cuando un fotón desvía su curso debido a la influencia de un electrón (ver Figura 10). La energía que el fotón cede es variable puesto que la deformación en la trayectoria tiene un amplio rango de ángulos de desviación. Para el análisis de este tipo de efecto se recurre a la conservación del momento lineal y la energía.

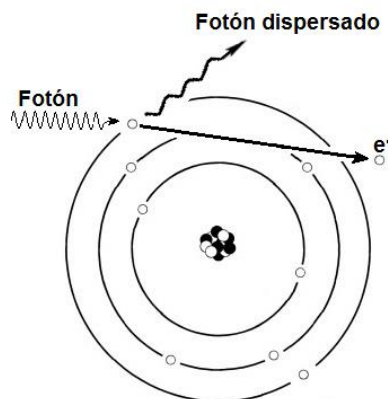


Figura 10. Esquema del efecto Compton

2.3.3.3 Producción de par

Es un proceso que ocurre cuando los rayos gamma tienen energías superiores a dos veces la energía de un electrón en reposo, 511 keV. Consiste en la desaparición del fotón dentro de un campo eléctrico, con la que se genera un par electrón-positrón cuya energía cinética depende de la energía que poseía el fotón inicial. En la Figura 11 se observa la producción de par, e^+ es un positrón y e^- representa al electrón.

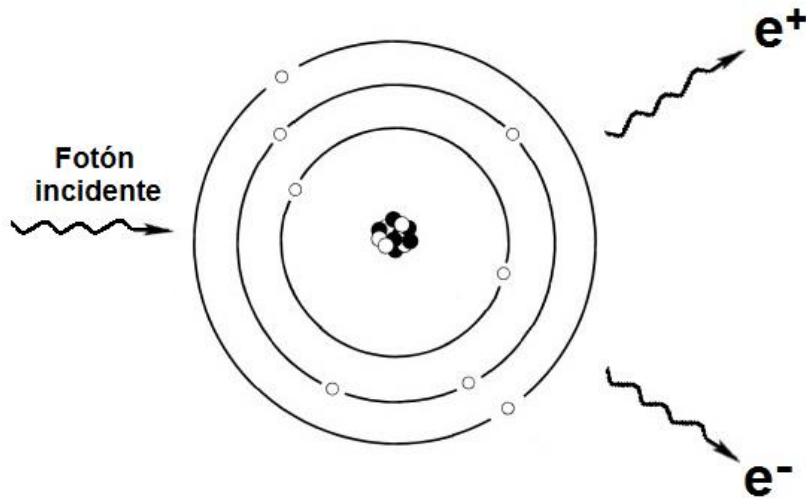


Figura 11. Representación de la producción de par electrón-positrón

2.3.4 Interacción de los neutrones

A igual de la radiación gamma los neutrones no poseen carga, de hecho, pueden viajar por algunos centímetros de material sin interactuar, por lo que su detección se hace más complicada. Una forma de interacción es mediante la absorción por parte de un átomo, lo que provoca un aumento de su energía. Generalmente la interacción de los neutrones con la materia desencadena la generación de partículas cargadas, las cuales si se pueden medir directamente para identificar las características de la radiación de neutrones (Knoll, 2010).

2.4 DETECTORES DE RADIACIÓN

A diferencia de otros fenómenos físicos, la radiación no puede ser detectada por nuestros sentidos por lo que desde su descubrimiento se ha tenido la necesidad de desarrollar dispositivos con la capacidad de percibirla y medir sus características. Existen diversos tipos de detectores, a continuación, se presentan los tipos más comunes.

2.4.1 Detectores de gas

Los detectores de gas basan su funcionamiento en la ionización de un gas contenido en una cámara, donde se encuentran conectados dos electrodos. Cuando la radiación interactúa con el gas este se ioniza y mediante la aplicación de un campo eléctrico se produce una señal eléctrica que se mide para saber las características de la radiación incidente. El campo eléctrico aplicado se genera por medio de un alto voltaje aplicado a los electrodos de la cámara de gas. A continuación, se presentan algunos tipos de detectores de gas.

2.4.1.1 Cámaras de Ionización

Su campo eléctrico no es tan fuerte por lo que su salida es proporcional a la cantidad de radiación. Las cámaras de ionización se usan en la detección y medición de partículas pesadas como iones, productos de fisión o radiación alfa, también pueden medir radiación gamma de alta actividad. El voltaje aplicado es menor a 1000 volts. La Figura 12 muestra una cámara de ionización.



Figura 12. Cámara de ionización portátil

2.4.1.2 Contador Proporcional

Los detectores de este tipo tienen una respuesta proporcional a la energía de la radiación, debido al voltaje aplicado en estos detectores ocurre en el gas el fenómeno de multiplicación de electrones, por lo cual el contador proporcional puede detectar cualquier tipo de radiación. El voltaje aplicado está entre 800 y 2000 volts.

2.4.1.3 Contador Geiger-Muller

Los contadores Geiger-Muller (ver Figura 13) tienen un mayor voltaje aplicado en los electrodos de la cámara de gas, por lo que cualquier tipo de radiación produce una señal grande y fácil de detectar. La desventaja de dichos detectores es que la señal de salida es independiente a la energía inicial de la radiación (Landsberger, 2015).

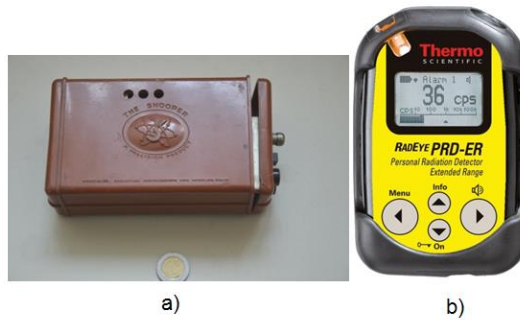


Figura 13. Contador Geiger. a) Antiguo, b) Moderno

2.4.2 Detectores de semiconductor

Los detectores de semiconductor funcionan con el mismo principio que los detectores de gas, se aprovecha la ionización de los átomos del material y la aplicación de un campo eléctrico para su separación. La diferencia es que la zona de detección ahora es un sólido típicamente Silicio (Si), Germanio (Ge) o Indio (In). En la Figura 14 se observan algunos detectores de semiconductor.

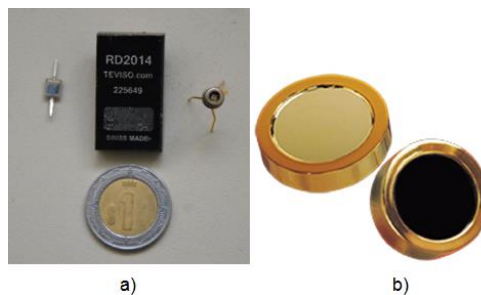


Figura 14. Detectores de semiconductor. a) Miniatura, b) Área grande

Estos detectores presentan varias ventajas, como la reducción en el tamaño debido a la mayor densidad del semiconductor comparada con los gases, la capacidad de detectar radiación de menor energía porque un semiconductor requiere menos energía para producir un par electrón-hueco, además la señal de salida puede acoplarse mejor a la electrónica subsecuente para acondicionarla señal (Lutz, 1999).

Con el uso de los detectores de semiconductor a bajas temperaturas se logran hacer mediciones con menor ruido térmico por lo que tienen mayor resolución en energía. En los últimos años los detectores de semiconductor se están aplicando en nuevos campos como

en física médica donde ayudan a generar imágenes mediante técnicas nucleares. (Ramírez, 2010).

2.4.2.1 Diodo PIN

El diodo PIN es un dispositivo con el que originalmente se detectaba luz, pero se descubrió que se podía utilizar también para detección de radiación ionizante. Un diodo PIN está construido con una región de material P altamente dopado, con una región intrínseca que la separa de una región N igualmente dopada.

El detector se polariza inversamente para lograr que la zona intrínseca sea un volumen efectivo para la detección y que los eventos radiactivos que lleguen a este produzcan pares electrón-hueco. En la Figura 15 se observa un detector de diodo PIN (Ramírez, et al, 1998).

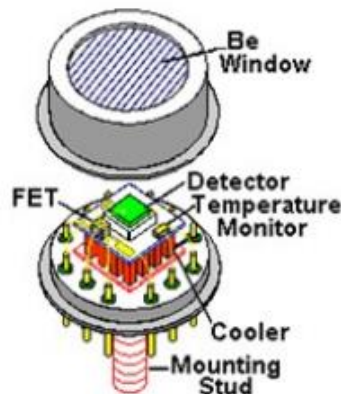


Figura 15. Detector de diodo PIN

2.4.3 Detectores de centelleo

Algunos materiales llamados centelladores tienen la característica de emitir luz cuando son irradiados. Este fenómeno es aprovechado para realizar la detección y medición de radiación, de hecho, fue el primer método cuando W. Roentgen observó la fluorescencia de una pantalla debido a la interacción con rayos X. En la Figura 16 se observan algunos detectores de centelleo.



Figura 16. Detectores de centelleo y tubos fotomultiplicadores

Para el funcionamiento de este tipo de detección, la luz generada por el centellador es captada por un tubo fotomultiplicador que la convierte en una señal eléctrica que es medida para saber las características de la radiación (Turner, 2007).

2.5 CARACTERÍSTICAS DE LOS DETECTORES DE RADIACIÓN

2.5.1 Sensibilidad

Se refiere a la capacidad que tiene un detector para generar una señal eléctrica medible a partir de un tipo de radiación específico incidente. La sensibilidad depende en gran medida del material, el ruido inherente, la forma y el mecanismo de interacción del detector. Esta característica determina el tipo de radiaciones en las que se puede aplicar el detector.

2.5.2 Tiempo de respuesta

Todos los detectores necesitan un tiempo de recuperación para poder diferenciar entre dos pulsos de radiación que inciden de manera consecutiva. Si el tiempo de respuesta de un detector es muy grande se puede dar el caso en el que el detector ignore algunos pulsos mientras está procesando el primero que llegó, lo que lleva a una medición inadecuada. Otra posibilidad es que algunos pulsos lleguen casi simultáneamente lo que provoque la medición de un pulso grande en lugar de diferenciar los pulsos que han incidido.

2.5.3 Eficiencia del detector

Se refiere a la capacidad del detector para medir todos los pulsos generados por la fuente radiactiva que está midiendo. La eficiencia de un detector no es 100% debido a la capacidad que tiene la radiación para penetrar un material sin interactuar con éste. Existen dos tipos de

$$\epsilon_{abs} = \frac{\text{Número de pulsos detectados}}{\text{Número de pulsos emitidos por la fuente}}$$

$$\epsilon_{int} = \frac{\text{Número de pulsos detectados}}{\text{Número de pulsos que inciden en el detector}}$$
[illegible]

18

CAPÍTULO 3. ESTADO DEL ARTE

El desarrollo de la imagenología nuclear es un tema que ha estado en desarrollo e investigación desde el siglo pasado, incluso ha sido una línea de investigación que ha aportado ganadores de premios Nobel. La aplicación principal de la imagenología es el sector médico, en donde se generan imágenes de los órganos para la detección y tratamiento de enfermedades.

La combinación de detectores de radiación y posicionadores X-Y no es un conjunto común como investigación, la mayoría de los equipos de imagenología funcionan con paneles de detectores planos. De manera parecida los equipos de posicionamiento X-Y o máquinas CNC desarrolladas con anterioridad se han hecho para otras aplicaciones como manufactura y automatización. A continuación, se explican investigaciones realizadas en los últimos años que funcionan como antecedentes para el desarrollo del proyecto presentado en esta tesis.

“Sistema Posicionador para cámara monocular utilizando motores de paso y microcontroladores para implementarse en una plataforma de celda de manufactura experimental”

Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México

Ciudad de México, México, 2012

Autor: Pablo Becerril Rodríguez

El trabajo de tesis desarrolla un posicionador de dos dimensiones para una cámara de manufactura a través de un sistema gantry de dos ejes. El proyecto consiste en una interfaz de usuario y control generada a través de Visual en lenguaje C#, una interfaz entre la computadora y los actuadores que se fabricó a través de un microcontrolador de la familia microchip, un controlador de potencia basado en puentes de diodos L298 y motores de pasos bipolares. En la Figura 18 se observa el sistema desarrollado.

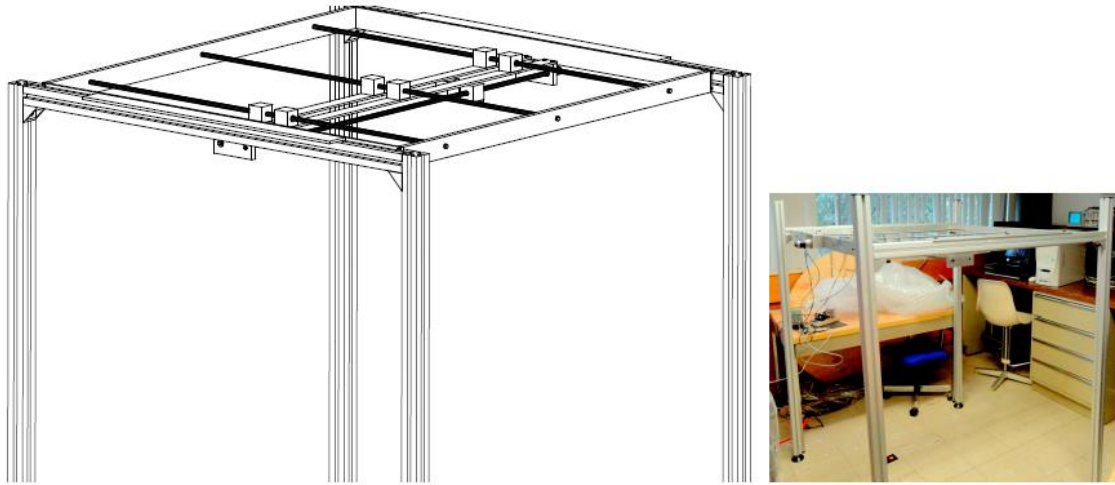


Figura 18. Sistema Gantry para cámara de manufactura

Resultados

El desarrollo de un sistema gantry a través de motores de pasos logra una menor velocidad que si se hace con motores de corriente continua, sin embargo, los motores de pasos tienen mejor desempeño cuando se trata de precisión en el posicionamiento. El error obtenido es de 8% y 9 % respectivamente (Becerril, 2012).

“Diseño y construcción de un prototipo de máquina tipo cartesiano para corte y grabado láser en papel”

Tesis, Universidad de San Buena Aventura

Bogotá, Colombia, 2015

Autores:

José David Fuentes Rojas, Miguel Arturo Méndez Mendieta, Jaime Alexis Muñoz Cabrera y Fabián Alirio Romero González.

El proyecto es una CNC (ver Figura 19) utilizada para generar cortes automáticos sobre papel a través de un láser de potencia. El control del sistema se lleva a cabo a través de un programa desarrollado en Simulink, el cual sirve también como interfaz de usuario. La recepción de datos y control de los actuadores se hace con una tarjeta de adquisición de datos modelo NI PCI 6014. Los ejes X y Y funcionan a través de dos motores de corriente continua.

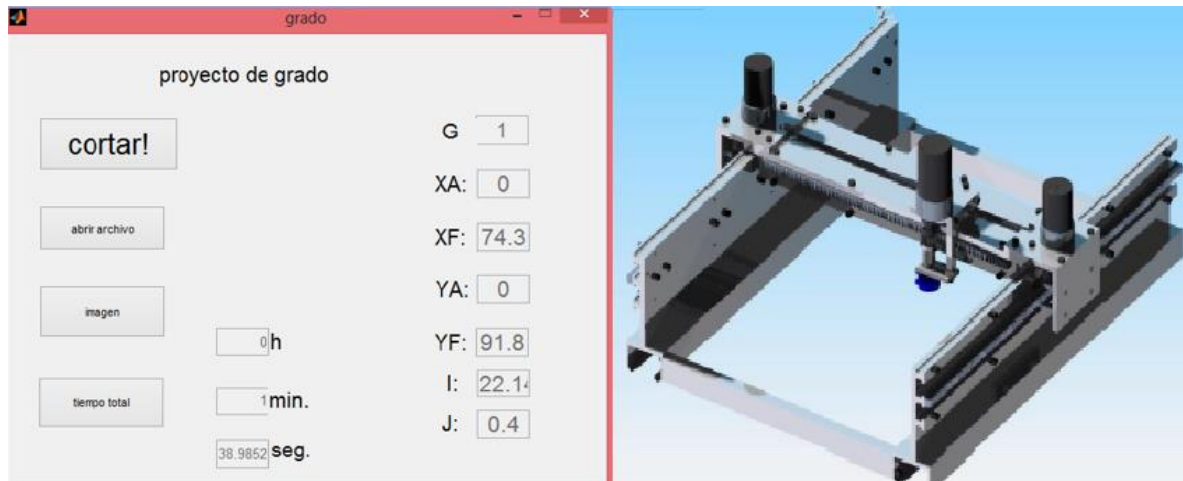


Figura 19. Diseño mecánico de la cortadora de papel

Resultados

El mecanismo más adecuado para el movimiento de los ejes fue a través de un piñón y una cremallera por su construcción sencilla y debido a que tiene menos piezas que otros mecanismos con la misma función.

La interfaz de usuario se realizó a través de la herramienta “guide” de MATLAB, especial para esta función, aprovechando que también tiene la posibilidad de compartir datos con Simulink (Fuentes et. al, 2015).

“Radiation imaging apparatus”

Número de patente: US 9,541,509 B2

Sadato Aahori, Yoshitaka Yamaguchi

Fecha de publicación: 10 de enero de 2017

La presente patente es sobre un equipo para generar imágenes de objetos irradiados. Su funcionamiento se basa en el uso de motores para posicionar un detector de radiación en el espacio, posteriormente se toma el dato del detector y se almacena para finalmente hacer el procesamiento de los datos y obtener la imagen.

El equipo posee un algoritmo utilizado para corregir problemas de orientación y error en el posicionamiento de los detectores y funciona con un panel detector plano, por lo que está orientado a las aplicaciones médicas (Aahori, 2017). En la Figura 20 se observa un diagrama del equipo desarrollado.

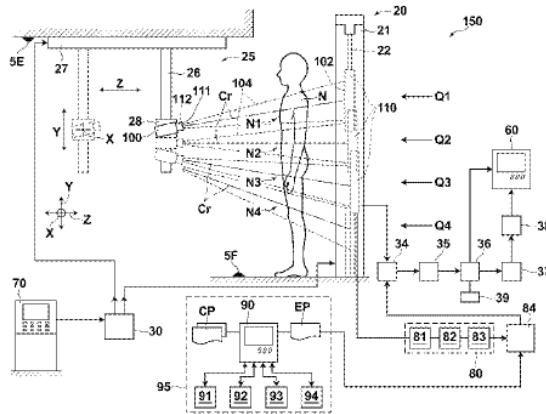


Figura 20. Diagrama del aparato de imagen radiológica de la patente US9,541,509B2
 “Apparatus for the flexible positioning of a radiation source and a radiation detector”

Número de patente: US 2016/028796 A1

Franz Fadler, Oliver Hornung.

Fecha de publicación: 6 de octubre de 2016

El aparato de posicionamiento (ver Figura 21) consiste en un manipulador robótico que tiene como elemento extremo una pinza, la cual posee una fuente radiactiva en un extremo y un detector de radiación en el otro.

El dispositivo que porta la fuente y el detector gira en torno al objeto que se quiere irradiar y por consiguiente medir. El aparato de la patente está enfocado al sector médico por lo que los detectores de radiación que utiliza son para rayos X (Fadler, 2016).

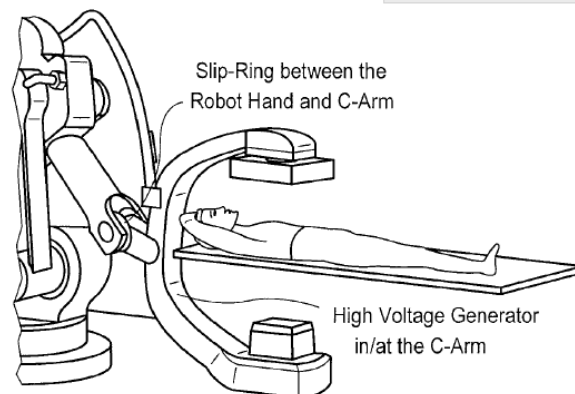


Figura 21. Aparato desarrollado en la patente US 2016/028796 A1

“Movimiento automatizado en tres dimensiones para aplicación de tratamientos en cultivo”

Tesis, Universidad Autónoma del Estado de México

Texcoco, México, 2015

Autor: Francisco Javier Hernández Rivas

El trabajo reporta la fabricación de un sistema automatizado en tres dimensiones para llevar a cabo procesos de agricultura como fertilización y riego. El proyecto se desarrolló con una placa Arduino para hacer el control, módulos L298 para la fase de potencia y motores de pasos y servomotores como actuadores. Para visualizar el proyecto observar Figura 22.



Figura 22. Sistema coordinado de cultivo

Resultados

El trabajo se limitó al diseño del sistema posicionador por lo que no tiene procesamiento de datos para la mejora de procesos de agricultura. La ventaja principal del sistema es que tiene un costo muy bajo en comparación a muchos sistemas de posicionamiento, dicho costo es alrededor de 3000 pesos mexicanos (Hernández, 2015).

“Independently rotatable detector plate for medical imaging device”

Número de patente: US 9872659 B2

Autores John Jenkins, Mark Guetersloh, Aleksey Danilkin, Maynard, Tri Pham

Fecha de publicación: Enero de 2018

El sistema de generación de imagen de este trabajo consta de un equipo computarizado con un posicionador rotacional. En el sistema de posicionamiento rotacional se integra un detector y una fuente de radiación diametralmente opuestos, entre estos elementos se coloca el objeto que se quiere irradiar. En la Figura 23 se observa el concepto del proyecto.

El equipo está compuesto por una interfaz de usuario, un software de procesamiento de señal e información, detectores de rayos X y una fuente de radiación en la que se integra un colimador y filtro para controlar mejor la irradiación (Jenkins, 2018).

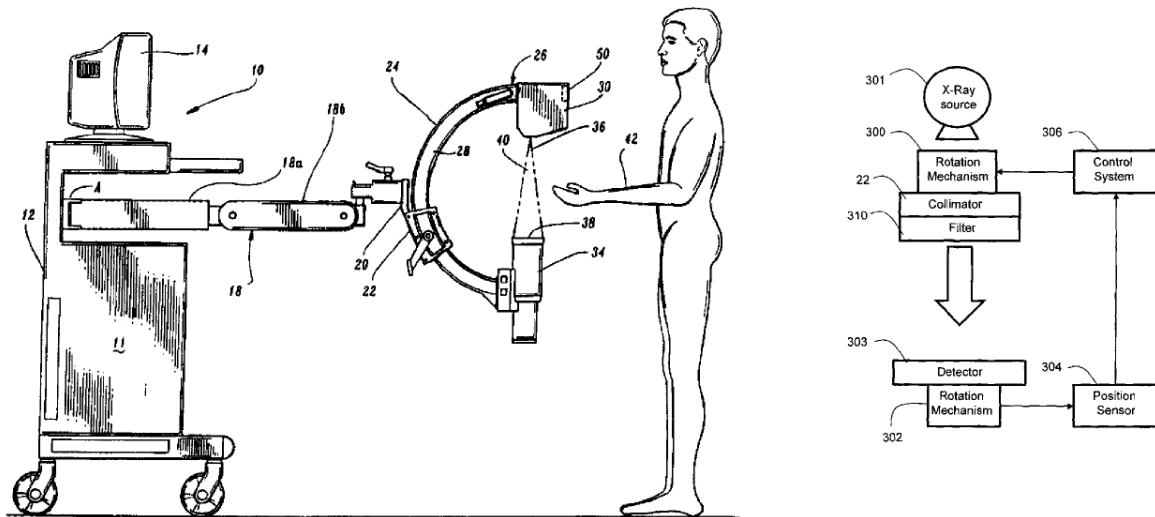


Figura 23. Sistema de generación de imágenes radiológicas de patente US 9872659 B2

“Diseño de un módulo electrónico e interfaz para el control de un posicionador 3D”

Tesis, Universidad Nacional Autónoma de México.

Ciudad de México, México, 2017

Autor: Ramsés Castro Cabrera

El proyecto desarrollado en este trabajo consiste en el reemplazo de una tarjeta de adquisición de datos de la empresa National Instruments por un diseño propio con el fin de evitar la dependencia al hardware de esta corporación en algunos proyectos. La parte electrónica fue desarrollada a partir de una tarjeta Arduino y controladores de potencia para la misma.

Además, se diseñó una interfaz de usuario generada a través del entorno de programación LabVIEW. La función principal es posibilitar al usuario el control de movimiento de los ejes. La Figura 24 presenta el sistema generado en la presente tesis.



Figura 24. Posicionador 3D

Resultados

La combinación de LabVIEW y Arduino demostró tener un comportamiento estable en cuanto a las salidas digitales y a los valores de voltaje correspondiente a dichas señales. Además, el diseño electrónico posibilitó el aislamiento eléctrico entre las etapas de potencia y control. En cuanto al desempeño mecánico la integración de motores de pasos de 1.8° y husillos cuyo paso fue de 12 hilos por pulgada resultara en un avance lineal de aproximadamente 12 micrómetros. Una parte importante en el sistema mecánico fue el acople del encóder para verificar la posición de los ejes.

La interfaz de usuario desarrollada en LabVIEW posee una gran facilidad de operación por parte del usuario y posibilita la protección del sistema ante errores humanos, sin embargo, se sacrifica un poco de tiempo de ejecución y procesamiento (Cabrera, 2017).

CAPÍTULO 4. DISEÑO DEL SISTEMA POSICIONADOR

4.1 REQUERIMIENTOS DEL SISTEMA

Es necesario establecer las características con las que contará el prototipo para iniciar con un plan de desarrollo adecuado, además de tomar las decisiones que más convengan sobre los componentes que conformarán el sistema.

El manejo del Posicionador será intuitivo a fin de lograr que el usuario lo opere sin dificultades. Este factor influye en el diseño de la interfaz hombre máquina, puesto que estará pensada en para proveer al usuario de un fácil control de las funciones y revisión de los resultados.

El sistema se deberá adaptar para realizar mediciones de diferentes tipos de radiación por lo que tendrá la capacidad de manejar diversos detectores. Esto implicará la adaptación a las distintas geometrías de los detectores, al manejo de las señales eléctricas producidas por estos y sus respectivas etapas de acondicionamiento de señal. Incluso el diseño posibilitará realizar mediciones de otros parámetros diferentes a la radiación.

Una parte importante en el desarrollo del proyecto es la precisión del movimiento y la posición del detector. El elemento que proveerá el movimiento al detector lo colocará en el punto de interés con una incertidumbre de décimas de milímetro y a la vez debe asegurar la repetitividad en las posiciones. Las características anteriores son necesarias para lograr mediciones de alta calidad.

El sistema se integrará como un equipo de medición independiente, por lo que estará constituido por una estructura donde se fijen todos los componentes electrónicos y mecánicos. El Posicionador de detectores podrá medir perfiles de fuentes (generalmente planos horizontales) y distribución de haces (comúnmente planos verticales) por lo que el diseño de la estructura tendrá que considerar dicho requerimiento.

4.1.1 Componentes del sistema

Con base en las necesidades del equipo se eligen los componentes a utilizar en el desarrollo del proyecto. Estos elementos son seleccionados por alguna característica conveniente para la aplicación, las partes a diseñar se basarán en el funcionamiento de los elementos comerciales. A continuación, se describen instrumentos y/o herramientas elegidos.

4.1.1.1 Módulo DAQ NI 6008

Es un dispositivo de adquisición de datos fabricado por National Instruments con la capacidad de leer y escribir datos de tipo digital y analógico. Se conecta mediante el puerto USB a la computadora y cuenta con una interfaz full-speed USB. Sus características principales son:

- 12 conexiones digitales (Es posible su habilitación como entrada o salida)
- 1 contador de 32 bits
- 8 entradas analógicas con ADC de 12 bits

La elección de este elemento se debe a que tiene el número de entradas y salidas digitales, analógicas y contadores necesarios para el proyecto, además de que posee conectividad con el entorno de programación LabVIEW (ver Figura 25).



Figura 25. Módulo DAQ NI 6008

4.1.1.2 Mesa de coordenadas PROXXON KT 70

La mesa en cruz PROXXON KT 70 (ver Figura 26) está diseñada para usarse en pequeñas máquinas de control numérico (CNC). Está conformada por dos ejes cuyo movimiento se realiza por medio de motores de pasos, los cuales están acoplados a un mecanismo de husillo y tuerca. El diseño de la mesa tiene una ventaja mecánica en el torque de retención y posibilita movimientos de distancias muy finas incluso del orden de micrómetros.

Propiedades:

- Tamaño de mesa 250 x 100 mm
- Recorridos de desplazamiento (aprox.): eje X: 150 mm, eje Y: 70 mm
- Masa: 2 kg

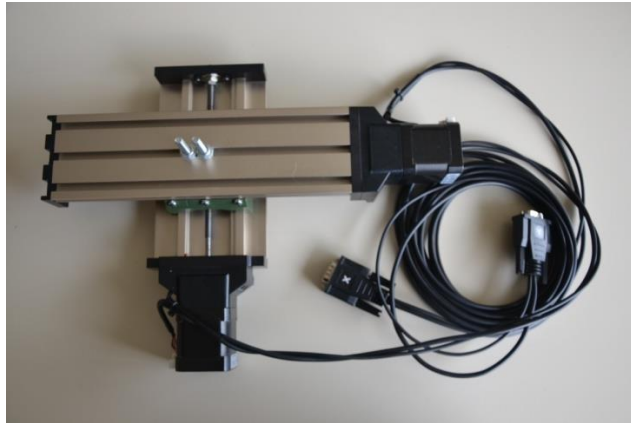


Figura 26. Mesa de coordenadas PROXXON KT70.

4.1.1.3 LabVIEW

LabVIEW es un lenguaje de programación gráfica desarrollado por la empresa National Instruments especialmente para cumplir con la adquisición, procesamiento y análisis de datos, además hace posible el control de instrumentos y equipos.

Al ser un lenguaje de programación gráfica, centra la atención del programador en la lógica y el algoritmo por lo que es muy versátil y rápido de programar. Su panel frontal (ver Figura 27) facilita en gran medida el diseño de la interfaz hombre-máquina además provee herramientas para personalizar los controles e indicadores (Travis, 2009).

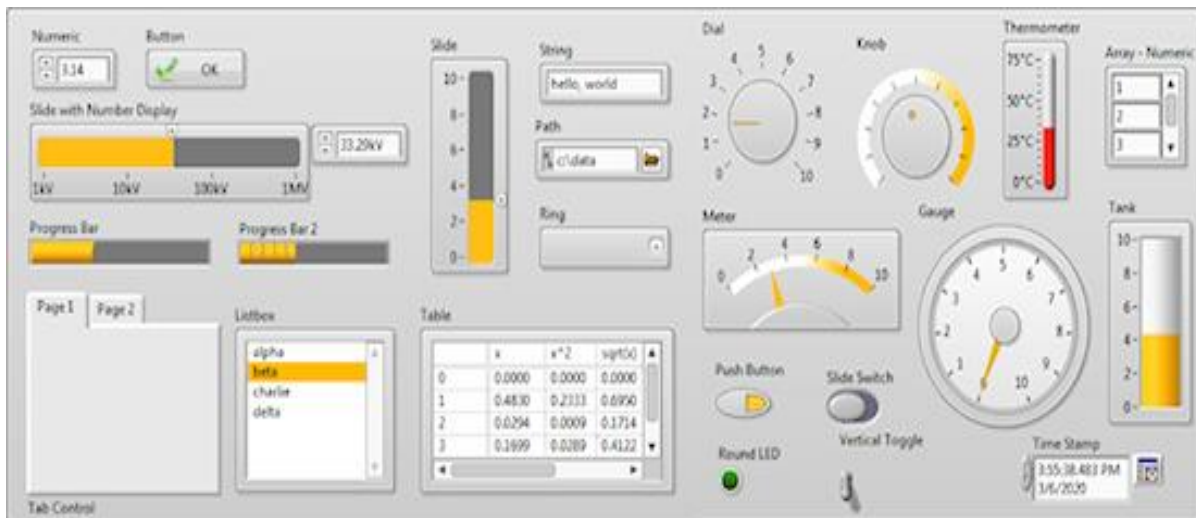


Figura 27. Panel frontal de un programa elaborado con LabVIEW

4.2 DIAGRAMA DE BLOQUES DEL SISTEMA

El diseño del proyecto se basa en un esquema de los procesos generales que lo componen, a partir de éste se establecen las relaciones entre los componentes elegidos para el prototipo, como se muestra en la Figura 28.

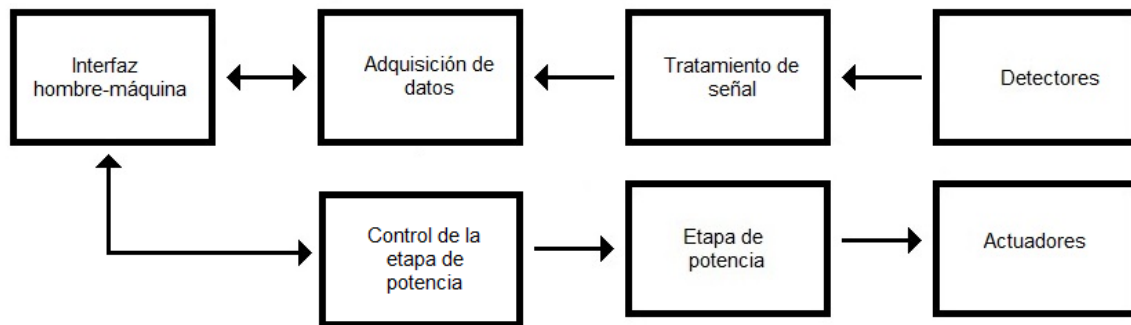


Figura 28. Diagrama de bloques del proyecto

A partir del diagrama mostrado en la figura anterior se definen los elementos que llevarán a cabo cada una de las funciones presentadas. En la Figura 29 se muestra un diagrama de las partes específicas del sistema.

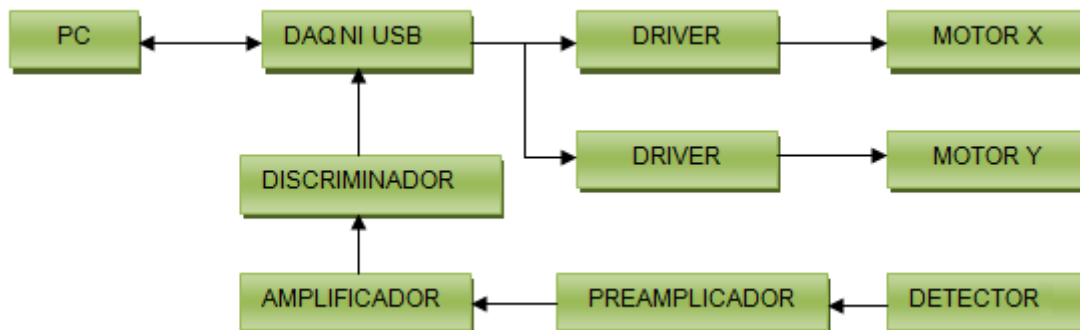


Figura 29. Bloques específicos del sistema

4.3 INTERFAZ DE USUARIO Y PROGRAMA DE CONTROL

El objetivo de una interfaz de usuario es contar con un sistema útil y amigable, de manera que el usuario tenga la facilidad de operar el producto para alcanzar un propósito determinado de manera eficaz, además de tener un aspecto atractivo (Fiset, 2009).

El programa de control del sistema Posicionador está dividido en cuatro funciones principales: retorno al origen, posicionamiento, barrido y presentación de resultados. Cada una de estas funciones provee al usuario de opciones para manejar el sistema dependiendo de la acción que necesite efectuar.

La interfaz de usuario está basada en la máquina de estados que se muestra en la Figura 30. El establecimiento de un programa como máquina de estados tiene las ventajas de la identificación de entradas para calcular las salidas, obtiene una memoria del estado previo y la capacidad de establecer acciones para todos los estados posibles en los que se puede encontrar el sistema. (Wagner, 2006).

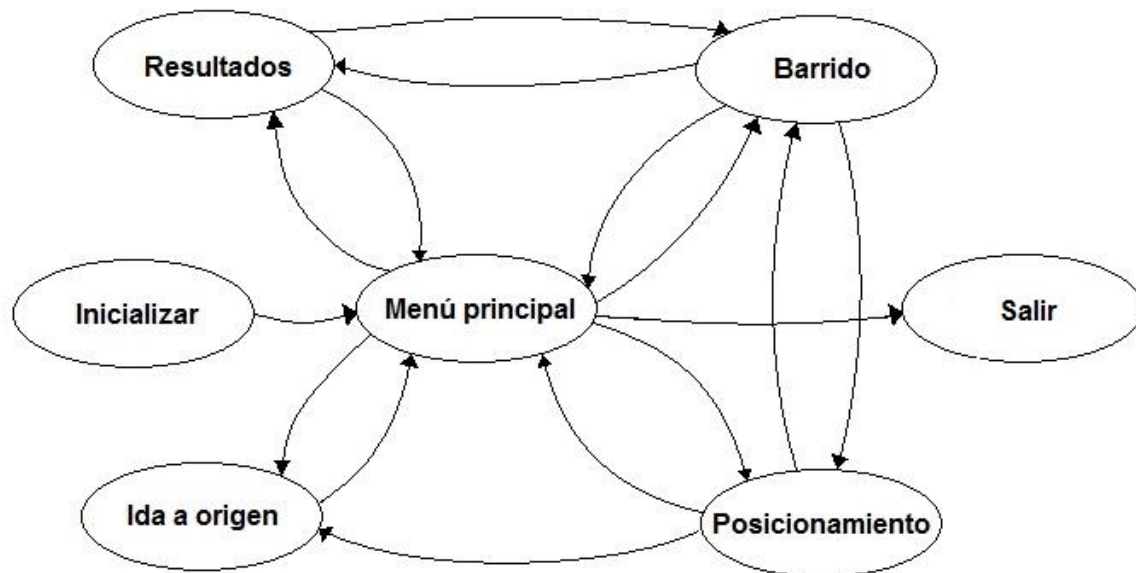


Figura 30. Diagrama de la máquina de estados del sistema

4.3.1 Retorno al origen

La existencia de una posición de referencia posibilita la precisión del movimiento y evita algún funcionamiento inadecuado e incluso daño en una máquina X-Y, al limitar el movimiento de los ejes a su espacio de trabajo (Smid, 2003).

La mesa de coordenadas cuenta con dos interruptores de límite, situados en los extremos de cada eje. Estos interruptores se habilitan como sensores digitales para reconocer la posición de los ejes. El proceso de retorno a origen se establece en la Figura 31.

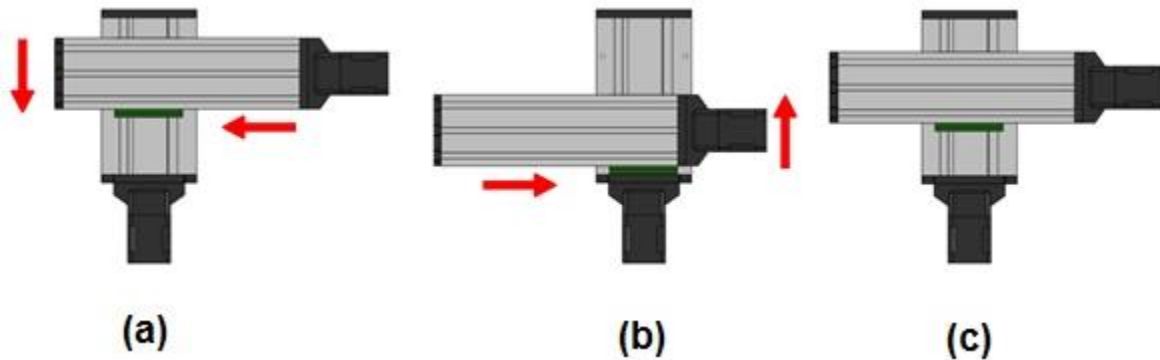


Figura 31. Movimientos del desplazamiento al origen

Para programar este proceso en LabVIEW es conveniente establecer primero el algoritmo a seguir. Se le llamará paso inverso a un paso del motor que provoca que los ejes de la mesa coordenada se dirijan hacia uno de los extremos para llegar a los interruptores de límite (ver Figura 31 (a)), paso directo a un paso del motor en dirección contraria, Int_lim al estado del interruptor de límite y no_pasos al número de pasos que hay entre el límite de eje Y el centro del mismo, el procedimiento se establece como se muestra en la Figura 32.

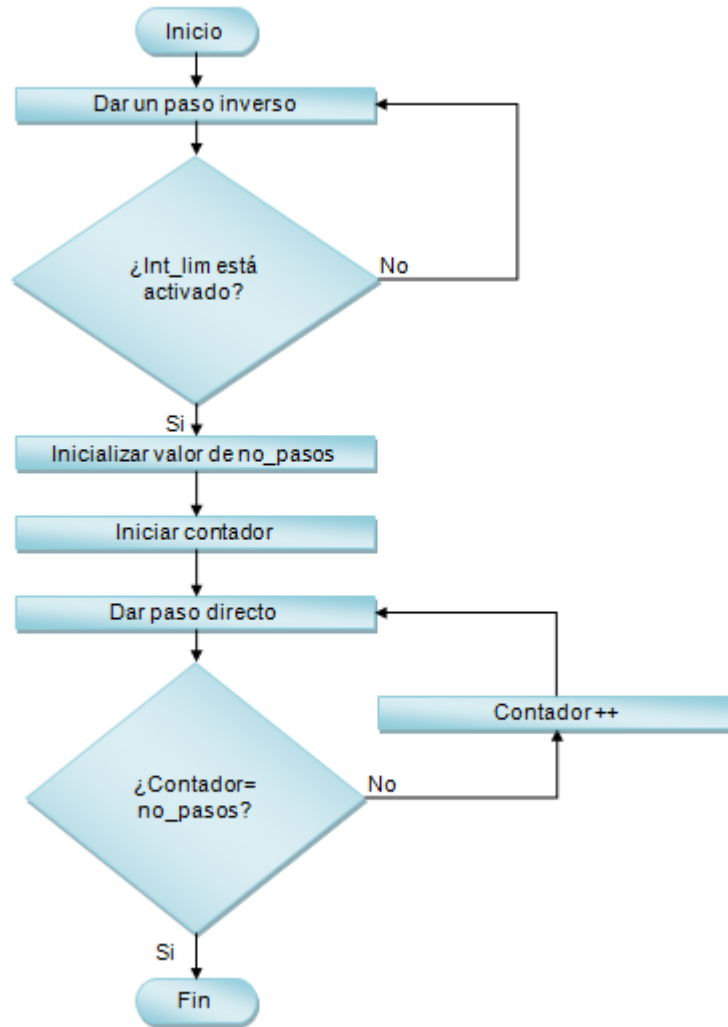


Figura 32. Diagrama de flujo de la ida al origen

De acuerdo con el diagrama de flujo se puede establecer que el primer proceso se ejecuta con un ciclo de programación WHILE, puesto que no se sabe el momento exacto en el que el interruptor de límite se activará. El segundo punto de decisión se debe ejecutar con un ciclo FOR, pues en este caso si se conoce cuantas iteraciones existirán (National Instruments, 2003). Cabe mencionar que el algoritmo debe realizarse para cada uno de los ejes. En la Figura 33 se muestra el programa de LabVIEW para el recorrido al origen

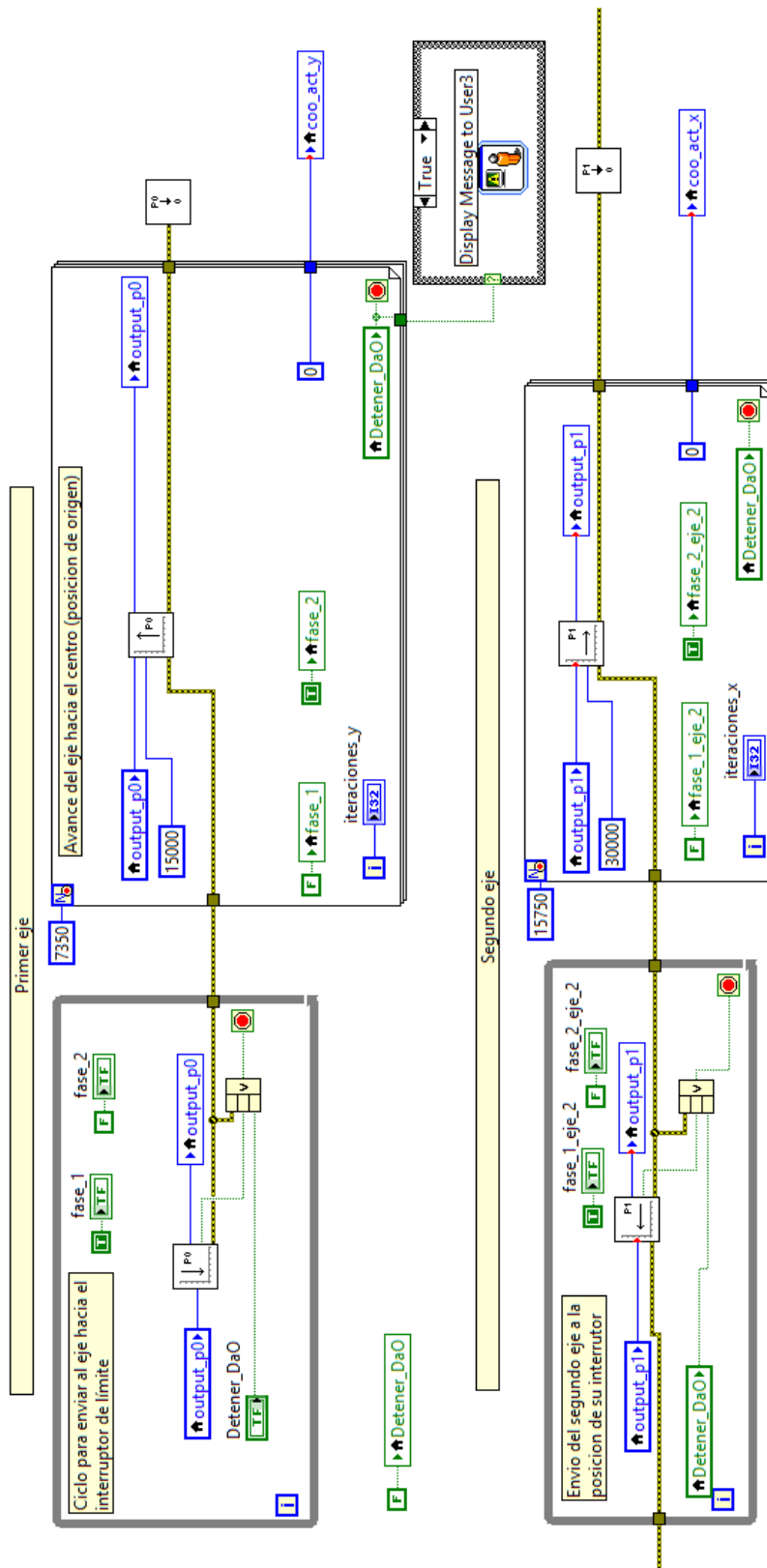


Figura 33. Programa de recorrido al origen

4.3.2 Posicionamiento

El posicionamiento es una función que permite llevar el detector a una coordenada en particular con la intención de tomar una medición individual o establecer el punto de partida para una medición automática (barrido). El posicionamiento se establece a partir de un sistema de coordenadas absolutas donde el origen es el punto central de ambos ejes como se ilustra en la Figura 34.

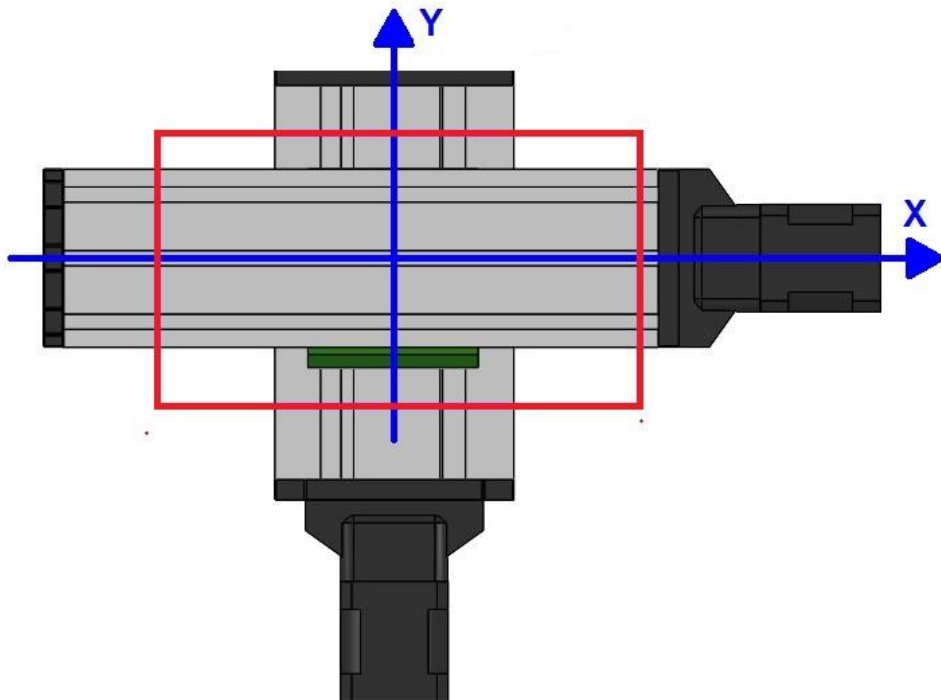


Figura 34. Espacio de trabajo de la mesa de coordenadas

El rectángulo rojo delimita un área de 150 mm por 70 mm que puede alcanzar el sistema cuando está en movimiento. Al establecer el origen y los ejes de esta manera se hace necesario definir coordenadas negativas que se ubican a la izquierda del eje “Y” y abajo del eje “X”. La ubicación de los ejes define el intervalo del eje X en $[-75,75]$ y el intervalo del eje Y en $[-35,35]$.

Para posicionar el sistema en un punto se deben seguir los siguientes pasos:

- Se solicita la posición requerida (X_f, Y_f) .
- Se reconoce la posición inicial (X_i, Y_i) .
- Se calcula (Δ_x, Δ_y) .

Donde delta (Δ) está definida por la diferencia de la posición inicial (X_i, Y_i) y la posición requerida (X_f, Y_f). En la Figura 35 se ilustran los parámetros.

$$\Delta_x = X_i - X_f \quad (1)$$

$$\Delta_y = Y_i - Y_f \quad (2)$$

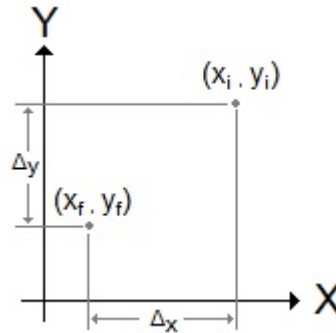


Figura 35. Parámetros de referencia para posicionamiento

- d) Se transforman las coordenadas de Δ en número de pasos y se determina la dirección del movimiento.
- e) Por último, se desplazan los motores el número de pasos calculado en la dirección definida.

Para hacer la transformación entre los milímetros que el usuario indica y los pasos que el motor debe dar se utiliza una constante que el diseño de la mesa de coordenadas establece, el avance lineal unitario (a.l.u.). Esto es que por cada revolución del motor el eje avanza 1 mm, por lo tanto, cada 200 pasos el desplazamiento lineal es de 1 mm.

$$a.l.u. = \frac{1mm}{200 \text{ pasos}} = 0.005 \text{ mm} \cdot \text{paso}^{-1}$$

El diagrama de funcionamiento para el eje X se muestra en la Figura 36, el eje Y funciona de la misma manera, solo cambian los parámetros de entrada y las variables X se sustituyen por variables Y.

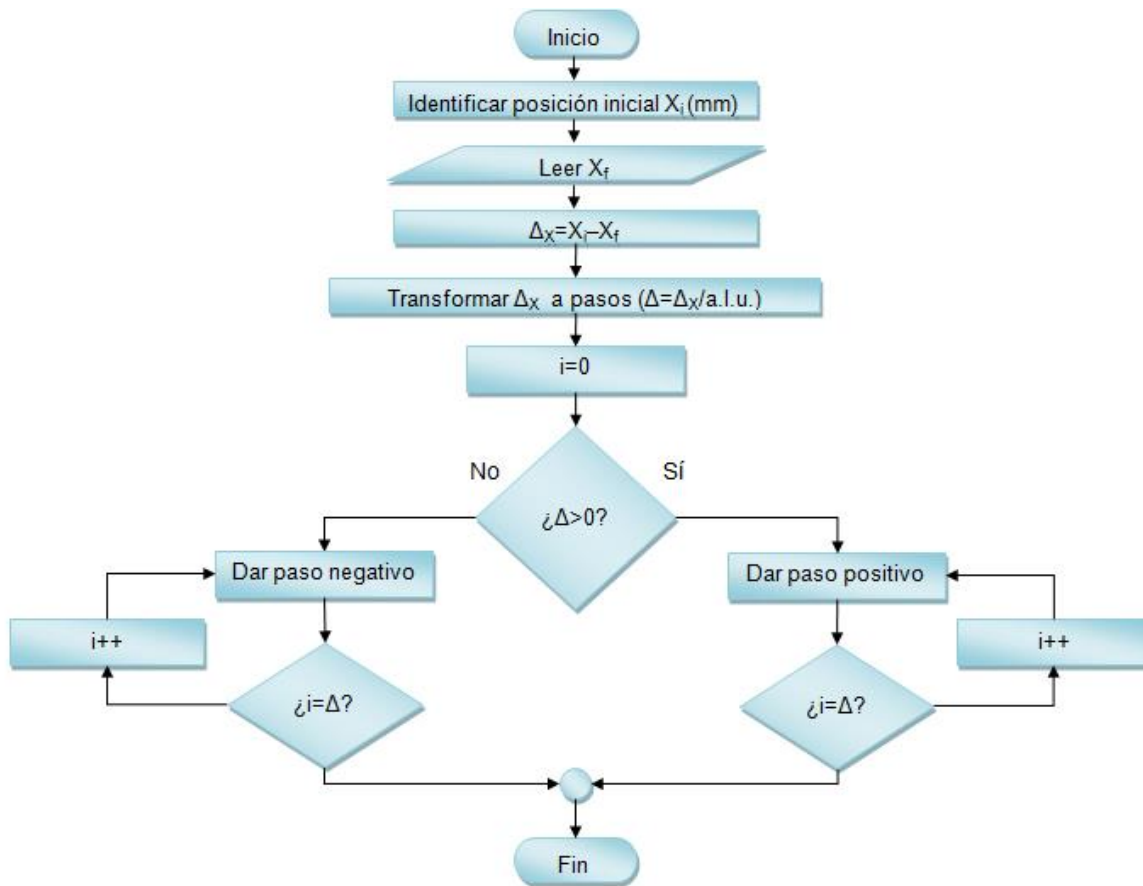


Figura 36. Diagrama de flujo del posicionamiento

Para evitar daño en los motores, en el mecanismo de la mesa de coordenadas o en cualquier otra parte del sistema, es necesario colocar algunos elementos de protección en el software que impida que los ejes lleguen a los extremos y choquen con sus soportes. Las acciones de protección son:

- Verificar del estado del interruptor de límite.
- Limitar las posiciones de entrada (X_f , Y_f) a coordenadas que se encuentren dentro del área de trabajo.
- Verificar las coordenadas antes de avanzar.

4.3.2.1 Medición

Debido a que la función de posicionamiento tiene la opción de realizar una medición, se agrega un proceso que muestra al usuario el dato de voltaje recibido del detector o de conteo

en un lapso definido por el operador. Tomar un dato a través del módulo DAQ 6008 es una tarea muy sencilla, pues LabVIEW ya cuenta con las librerías para solicitar, configurar y consultar la medición desde el DAQ. En la Figura 37 se observa el diagrama de flujo de la medición.

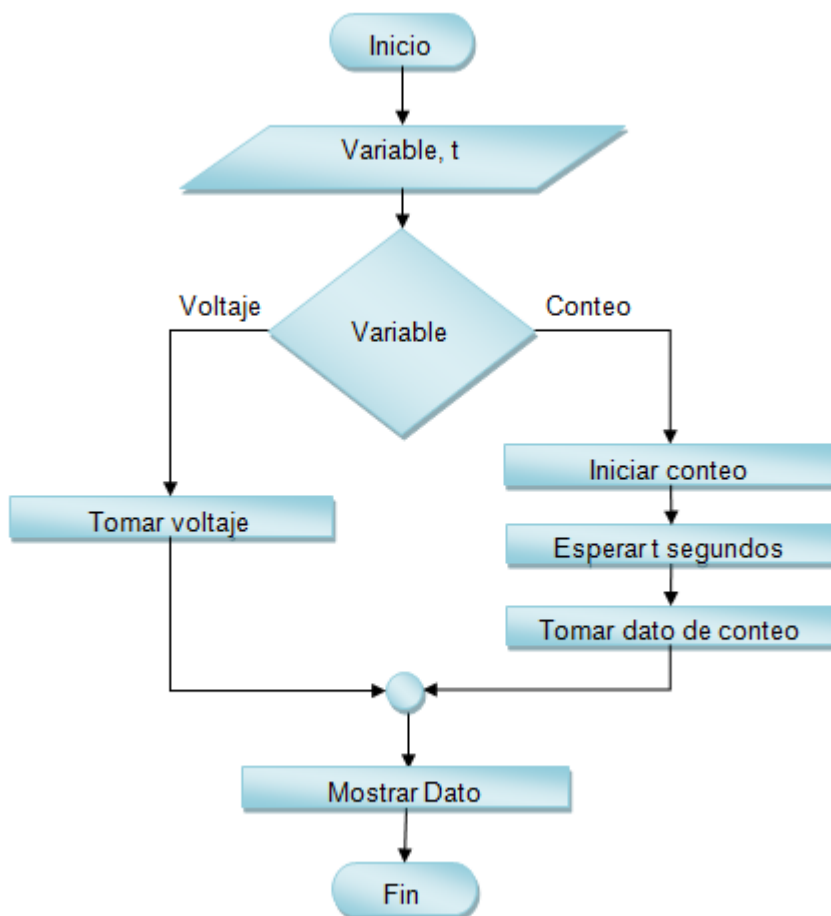


Figura 37. Diagrama de flujo de la medición

Los datos tomados por el DAQ USB 6008 no se guardan automáticamente, pues están pensados para verificar el punto de inicio de un barrido, asegurar la recepción de señal desde el detector o para hacer una medición individual, sin embargo, se muestran en una tabla con el dato de voltaje o conteo y tiempo de medición (en caso de conteo de pulsos), la cual el usuario decidirá si exporta como archivo.

Para mejor organización del programa, se generan funciones para el posicionamiento y la medición, esta acción permite que estos códigos se usen en otras partes del programa si es necesario. El programa del posicionamiento en LabVIEW se ilustra en la Figura 38.

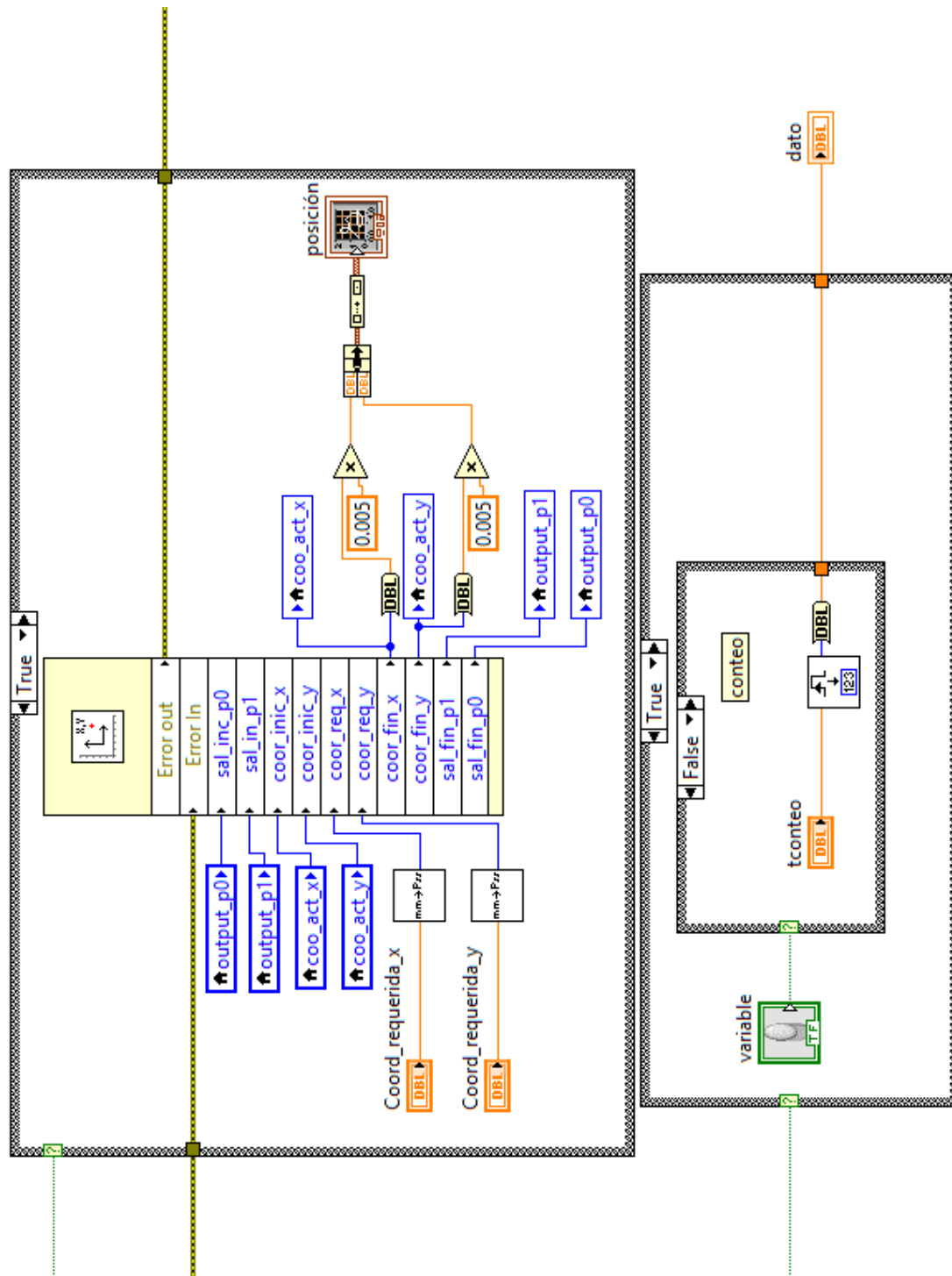


Figura 38. Programa de posicionamiento de LabVIEW

4.3.3 Barrido

El barrido es la parte del programa que hace las mediciones automáticas sobre un plano bidimensional. A través de dicha función el usuario introduce los requerimientos del área a medir y las características de la medición, espera hasta que el sistema termine las

mediciones para posteriormente revisar los resultados. El programa guarda cada una de las mediciones con su respectiva coordenada en un archivo de texto plano, lo que permite utilizar un software de graficación diferente al aquí desarrollado.

3.3.3.1 Requerimientos de la función de barrido

Las mediciones a realizar se hacen sobre un área rectangular por lo que se requiere que el usuario establezca las coordenadas del punto de inicio, las medidas del área que se desea barrer (ancho (X) y alto (Y)) y especifique la longitud de avance en X (ΔX) y en Y (ΔY). El plano sobre el que se pretende hacer la medición debe encontrarse dentro del área de trabajo y el valor mínimo que se les puede asignar a los parámetros ΔX y ΔY es 0.005 mm. En la Figura 39 se establecen en forma gráfica los parámetros a definir por el usuario.

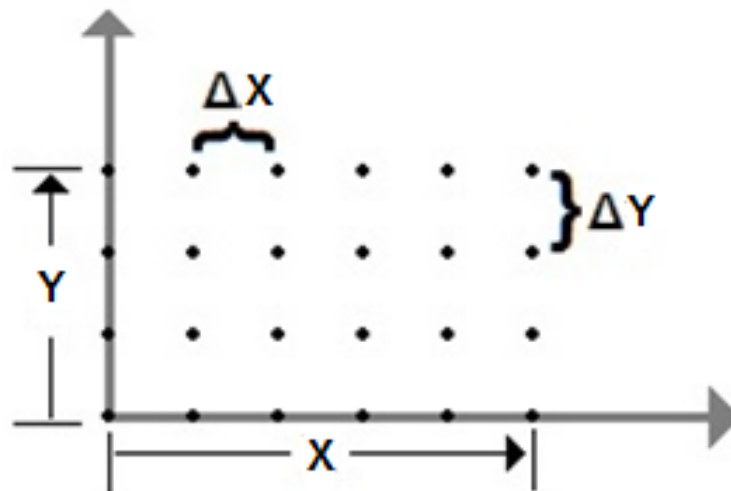


Figura 39. Parámetros de barrido

El sistema debe contar con dos opciones para la trayectoria del barrido, en la primera el movimiento principal es horizontal como se muestra en la Figura 40 a), mientras que en la segunda es vertical como se observa en la Figura 40 b). Las trayectorias de movimiento son diseñadas para evitar movimientos y esfuerzos innecesarios, lo que reducirá el tiempo de ejecución del barrido y por consecuencia el tiempo de trabajo de los motores.

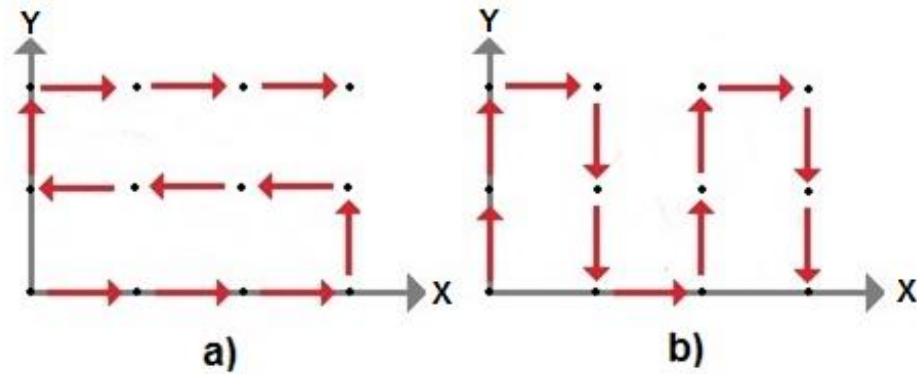


Figura 40. Dos trayectorias de barrido preestablecidas

Los resultados del barrido se tienen que guardar en un archivo de texto con la finalidad de que el usuario pueda tener acceso a ellos en consultas posteriores o que dicho archivo sea interpretado por otros programas de graficación. Para esta aplicación es conveniente un archivo de texto plano, donde las columnas y filas representen los valores de cada punto.

4.3.3.3 Funcionamiento general

El proceso principal para hacer un barrido (ver Figura 41) es validar coordenadas, generar el total de las coordenadas (n) de los puntos a medir, después posicionar el detector en el primer punto, hacer la medición y guardar los datos (coordenada X, coordenada Y, voltaje o número de pulsos) en un archivo, esto se repite para cada uno de los puntos.

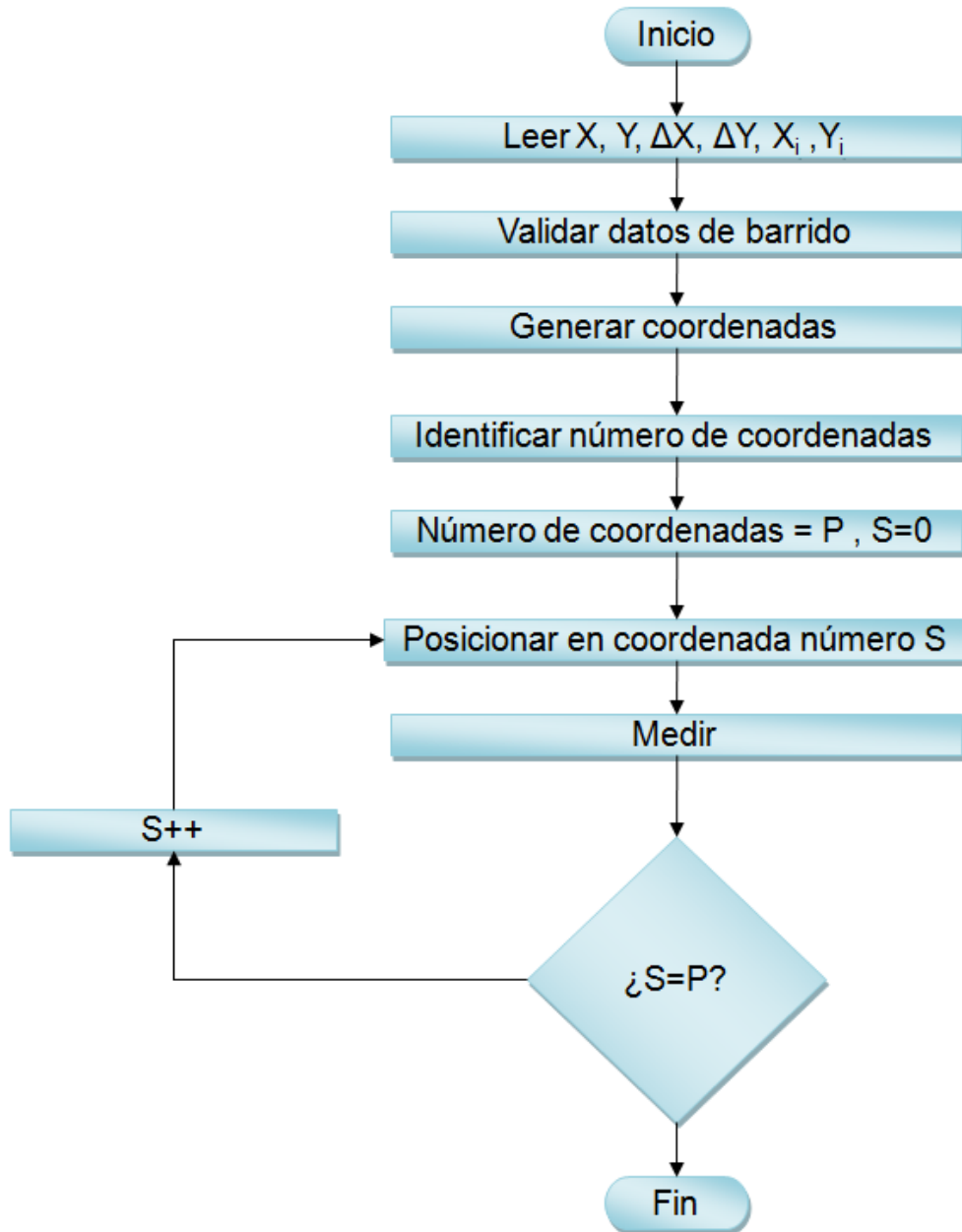


Figura 41. Procedimiento de barrido

4.3.3.2 Verificación de requerimientos

Se debe poner atención en los requerimientos dimensionales que el usuario hace para ejecutar el barrido, debido a que existen configuraciones en los parámetros X, Y, ΔX y ΔY que harán al sistema entrar en conflicto.

El primer problema por resolver es que las longitudes de avance (ΔX y ΔY) sean iguales a cero. Esto se resuelve haciendo uso de las configuraciones que LabVIEW ofrece para los controles. Los espacios numéricos se configurarán para aceptar números con un rango (0,150] para el eje X y (0,70] para el eje Y, además configurar un incremento en el control de 0.005 que es el mínimo valor que se puede desplazar el eje de coordenadas.

La segunda consideración es que el barrido esté en el área de trabajo de la mesa de coordenadas, para esto no se deben exceder las coordenadas absolutas 75 mm en el eje X y 35 en el eje Y. Esto quiere decir que la coordenada (X_i y Y_i) de inicio del barrido más la longitud de barrido tanto en el eje X como en el eje Y no deben exceder las coordenadas límite (75 y 35 mm), en la Figura 42 se observa un diagrama de flujo de la validación de los datos de barrido.

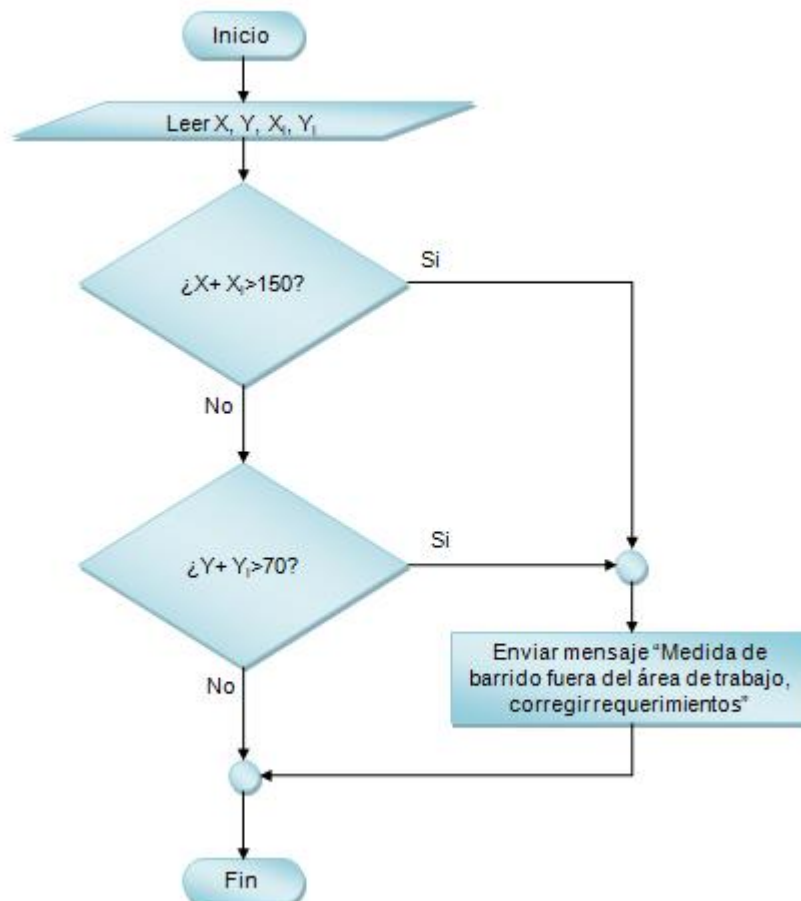


Figura 42. Diagrama de flujo de para validar longitudes de barrido

En caso de no aceptarse las coordenadas del detector, se enviará un mensaje para avisar al usuario que es necesario corregir. Si por el contrario las coordenadas se verifican se procede a la generación de las coordenadas por las que pasará el detector.

4.3.3.3 Generación de coordenadas

El siguiente paso es generar las coordenadas de los puntos por donde pasará el detector para realizar el barrido. Para esto se debe calcular el número de abscisas (n) y el número de ordenadas (m) por las que se moverá el detector. Los parámetros n y m se calculan con las fórmulas 3 y 4:

$$n = \frac{X}{\Delta X} + 1 \quad (3)$$

$$m = \frac{Y}{\Delta Y} + 1 \quad (4)$$

Con estos datos la forma de generar los puntos depende del método de barrido seleccionado. Si se selecciona la trayectoria horizontal (ver Figura 40 a)) la secuencia de las coordenadas sería como la siguiente:

$$(X_0, Y_0), (X_1, Y_0), (X_2, Y_0), \dots, (X_n, Y_0), (X_n, Y_1), (X_{n-1}, Y_1), \dots, (X_0, Y_1), (X_0, Y_2), \dots, (X_n, Y_m)$$

En caso de que la trayectoria seleccionada sea la vertical (ver Figura 40 b)) la secuencia de las coordenadas sería como la siguiente:

$$(X_0, Y_0), (X_0, Y_1), (X_0, Y_2), \dots, (X_0, Y_m), (X_1, Y_m), (X_1, Y_{m-1}), \dots, (X_1, Y_0), (X_2, Y_0), \dots, (X_n, Y_m)$$

Donde $X_1 = X_0 + \Delta X$, $X_2 = X_0 + 2 \cdot \Delta X$, $X_3 = X_0 + 3 \cdot \Delta X$...

$$Y_1 = Y_0 + \Delta Y, Y_2 = Y_0 + 2 \cdot \Delta Y, Y_3 = Y_0 + 3 \cdot \Delta Y \dots$$

Con las consideraciones anteriores se genera una lista de las coordenadas necesarias para el barrido, en el diagrama de flujo de la Figura 43 se establecen los pasos para obtener todas las coordenadas. Para una mejor visualización del diagrama de flujo ir al anexo C.

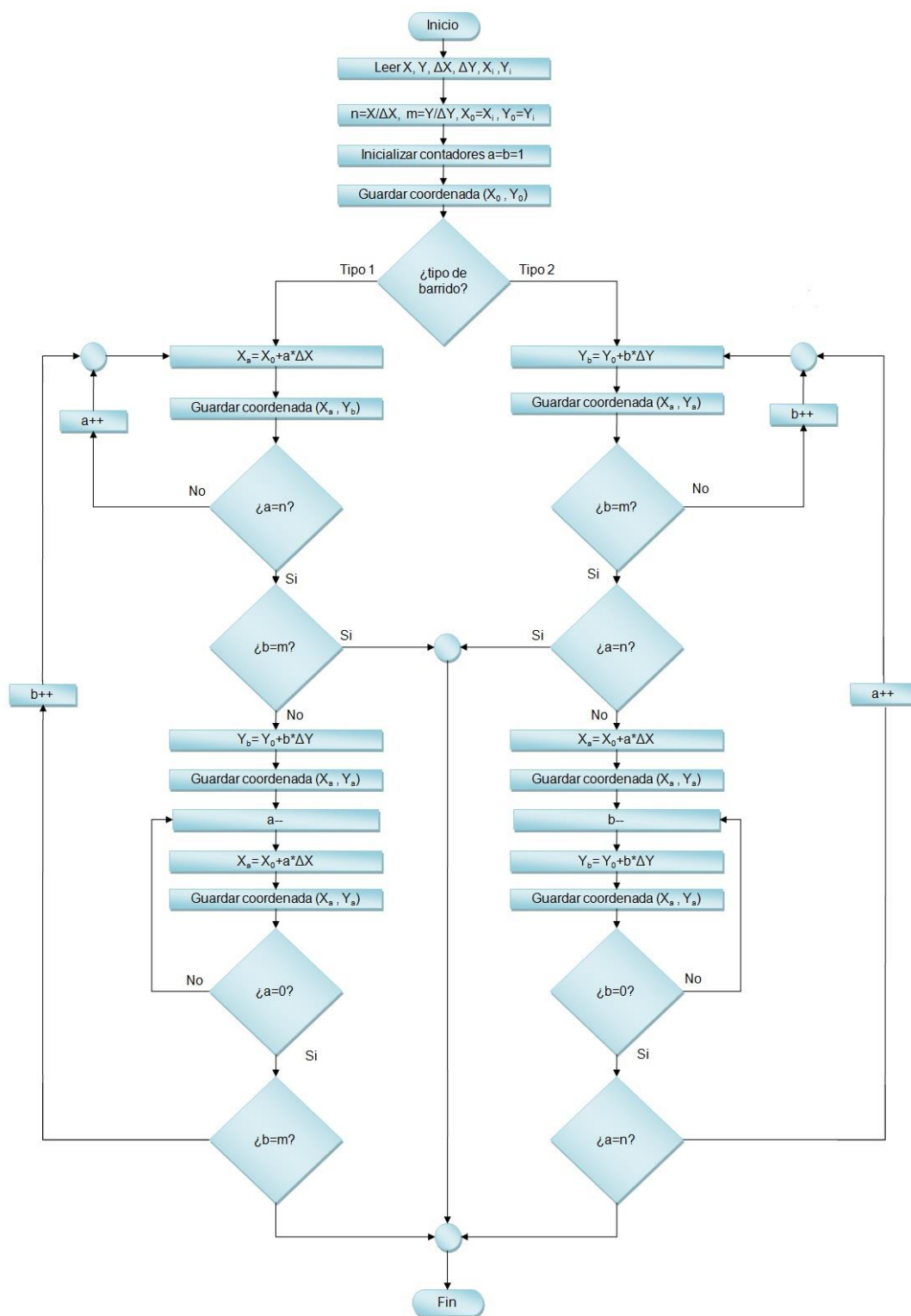


Figura 43. Diagrama de flujo de la generación de coordenadas

4.3.4 Presentación de resultados

Mediante esta parte de la interfaz de usuario es posible examinar el resultado de las mediciones realizadas, en una gráfica tridimensional donde los valores en los ejes X y Y representan las coordenadas de los puntos donde se realizó la medición y el valor en el eje Z es la magnitud del parámetro medido (pulsos o voltaje). Una representación gráfica en tiempo real posibilita la interpretación de los datos de manera rápida y centra la atención en los puntos de interés para usuario.

4.3.4.1 Requerimientos

Para desarrollar esta etapa es necesario conocer las características de los archivos generados en el barrido y la manera en que se deben graficar superficies tridimensionales en LabVIEW.

Los datos del barrido se ordenan en tres columnas, una asignada para la abscisa X, otra para la ordenada Y y una para la variable medida Z. Además de que se integra un dato extra en la primera fila de una cuarta columna como indicador del tipo de barrido que se ejecutó (ver Figura 40) dicho dato está configurado para ser '0' en caso de que el barrido sea como el de la Figura 40 a) y como '1' si es como en la Figura 40 b). En la Tabla 1 se muestran las configuraciones con las que se guardan los archivos dependiendo del tipo de barrido.

Tabla 1. Tipos de archivos de barrido.

Archivo tipo 1 (Barrido horizontal)				Archivo tipo 2 (Barrido vertical)		
X0	Y0	Z0,0	0	X0	Y0	Z0,0
X1	Y0	Z1,0		X0	Y1	Z0,1
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮
Xn	Y0	Zn,0		X0	Ym	Z0,m
Xn	Y1	Zn,1		X1	Ym	Z1,m
Xn-1	Y1	Zn-1, 1		X1	Ym-1	Z1,m-1
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮
X0	Y1	Z0,1		X1	Y0	Z1,0
⋮	⋮	⋮		⋮	⋮	⋮
Xn	Ym	Zn,m		Xn	Ym	Zn,m

Las gráficas de superficies en LabVIEW son muy versátiles y aceptan la información en diferentes formatos. La configuración que se utiliza para el proyecto está compuesta por dos vectores uno para el eje “X” y otro para el eje “Y”, junto a una matriz para los datos del eje “Z” como se muestra en la Tabla 2. Para hacer la conversión de formatos se utilizan las funciones que LabVIEW tiene para el manejo de matrices.

Tabla 2. Formato para graficar en LabVIEW

Vector X	Vector Y	Matriz Z			
X ₀	Y ₀	Z _{0,0}	Z _{0,1}	...	Z _{0,m}
X ₁	Y ₁	Z _{1,0}	Z _{1,1}	...	Z _{1,m}
⋮	⋮	⋮	⋮	...	⋮
X _n	Y _m	Z _{n,0}	Z _{n,1}	...	Z _{n,m}

4.3.4.2 Diseño

El primer paso para graficar archivos es importarlos a LabVIEW y transformar las columnas en vectores. Este paso es bastante directo gracias a las funciones que LabVIEW integra para el manejo de archivos y vectores.

Posteriormente se debe reconocer el tipo de barrido al que corresponde el archivo, para esto se utiliza el dato extra (0 o 1) mostrado en la Tabla 1. Después de esto se procede a identificar la longitud del vector “X” (n), la longitud del vector “Y” (m) y a posteriormente obtener la dimensión n*m de la matriz “Z”.

Tomando como ejemplo el archivo tipo 1 de la Tabla 1 se observa que corresponde a un barrido horizontal por lo que los primeros valores de la columna Y son iguales, si se cuentan las veces que se repite el mismo valor se obtiene la longitud del vector “X” (n), entonces de la columna “X” se recortan los primeros “n” elementos, acción con la que se genera el vector X.

Una vez que se conoce el valor “n”, la longitud del vector “Y” se puede calcular dividiendo la longitud de la columna “Y” (ly), entre “n” ($m=ly/n$). Para obtener el vector “Y” se reordena la columna “Y” en una matriz de n*m y posteriormente se recorta la primera columna de la matriz. Finalmente, la matriz de valores en Z se obtiene al reordenando los datos de la columna Z en una matriz de n*m.

Con los dos vectores y la matriz se tienen los datos necesarios para realizar las gráficas en tres dimensiones. Cabe mencionar que para transformar el segundo tipo de archivo (barrido vertical), se realizan las mismas operaciones con la diferencia de que se intercambian las columnas “X” y “Y”. En la Figura 44 se aprecia el programa que genera los vectores y la matriz para obtener las gráficas.

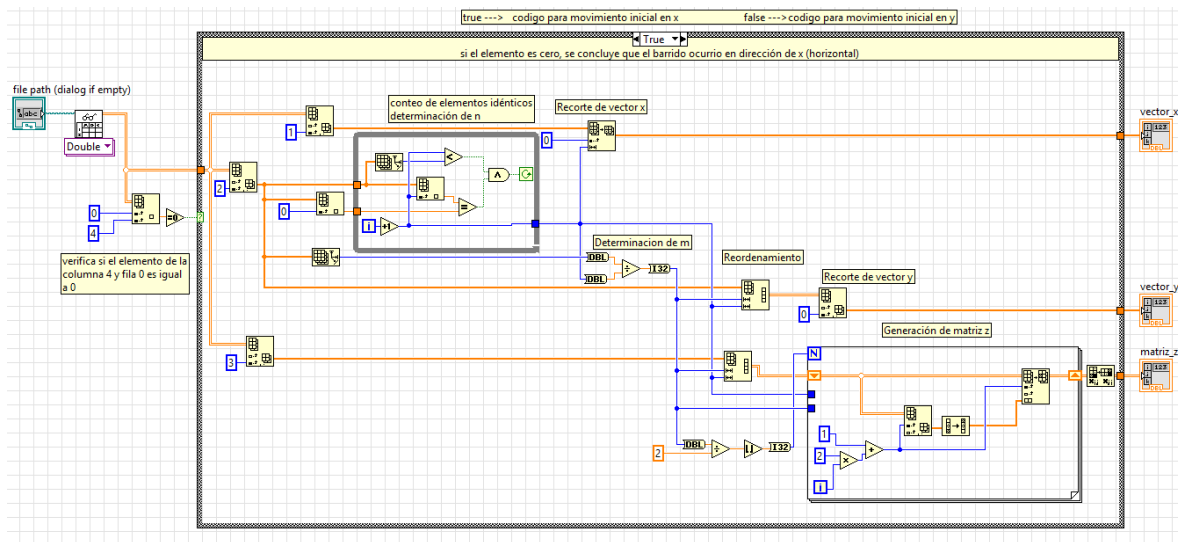


Figura 44. Programa de generación de los vectores “X”, “Y” y la matriz Z

4.4 DESARROLLO ELECTRÓNICO

4.4.1 Módulo de potencia

Para el diseño del módulo de potencia se debe tomar en cuenta la constitución física y eléctrica de los motores, al igual que las características del convertidor DAQ. A continuación, se presentan los requerimientos para la construcción del módulo de potencia del sistema:

- Capacidad de corriente de 1.8 A por fase.
- Conector DB9 hembra para salida de señales de potencia.
- Entrada de secuencia digital de 4 bits.
- Salida de 2 bits para señal de interruptores de límite.

4.4.1.1 Control de movimiento

Los motores que se utilizan en la mesa de coordenadas son híbridos bipolares. Los motores bipolares tienen cuatro hilos que conectan sus dos fases, para hacer rotar el motor de pasos es necesario que el controlador entregue una secuencia de pulsos a las bobinas.

Considerando que los extremos de las bobinas son para la primera bobina A y A' y para la segunda B y B', la secuencia en modo paso completo con alimentación en ambas bobinas se muestra en la Figura 45:

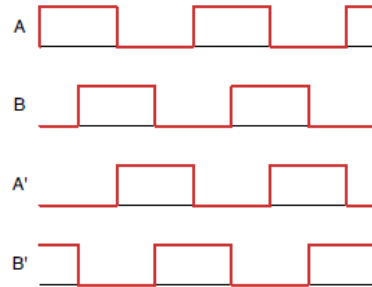


Figura 45. Secuencia de avance para motor bipolar.

La secuencia de la Figura 45 hace rotar al eje del motor en una dirección específica definida por su construcción, para invertir la dirección de giro se envía la secuencia inversa a las bobinas (Scarpino, 2015).

4.4.1.2 Etapa de potencia

La importancia de la etapa de potencia es que enlaza la parte de control con los actuadores, para administrar la corriente y el voltaje adecuados para la carga (Rashid, 1995).

El controlador de potencia para motores de pasos es el puente de transistores (comúnmente llamado puente H), el cual cuenta con cuatro diodos y cuatro transistores por fase (ver Figura 46). Los transistores se activan en pares (T1-T4 o T2-T3) con la finalidad de conducir la corriente en la dirección requerida y los diodos sirven de protección para los transistores por voltajes transitorios generados en la fase (Acarnley, 2007).

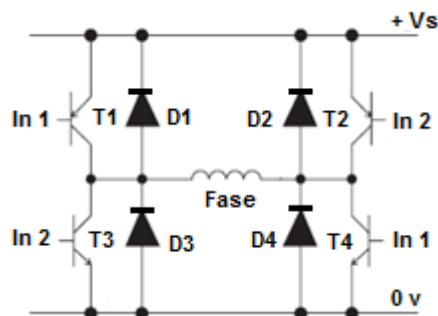


Figura 46. Diagrama de un puente de transistores.

4.4.1.5 Uso de controladores comerciales

Para el circuito de potencia se optó por utilizar un controlador de potencia comercial como el que se muestra en la Figura 47. Las razones principales para utilizar este módulo son: que es más barato y ahorra tiempo pues se evita la construcción y armado del circuito impreso.



Figura 47. Módulo de potencia con circuito integrado L298

Las características del módulo son:

- Voltaje de alimentación $5V_{CD} \sim 12V_{CD}$
- Corriente constante 2 amperes
- Corriente pico 4 amperes
- Niveles lógicos de entrada TTL
- Dimensiones: 43 mm x 23.9 mm x 43 mm

A pesar de que el módulo L298 se adapta bien a las necesidades del proyecto, presenta algunas desventajas como son:

- Falta de entradas digitales para los interruptores de límite
- No tiene conector DB9 para enlazar directamente con los motores.
- Se necesita un módulo para cada motor

Sin embargo, en la evaluación de las ventajas y desventajas se concluye que utilizar el módulo es la mejor opción. Las desventajas que presenta se superan con algunas adaptaciones al sistema y los beneficios son de gran aporte al proyecto.

4.4.2 Fuente de alimentación

Para alimentar los motores se debe contar con una fuente de voltaje independiente, la cual se podría diseñar en esta fase del proyecto, sin embargo, por no ser el enfoque principal del trabajo, se decidió utilizar una fuente de voltaje comercial con la capacidad de corriente necesaria para los circuitos que se desea alimentar.

La fuente de voltaje que se requiere solo alimentará a los motores de pasos que tienen un voltaje nominal de $3.1 V_{CD}$ pero pueden trabajar a $5 V_{CD}$ y los módulos L298 que se alimentan con $5 V_{CD}$. La corriente que consume cada motor es $1.8 A$ y cada módulo $200 mA$. Entonces la corriente total se calcula como se muestra en las ecuaciones 5 y 6.

$$I_p = 2I_{mot} + 2I_{mod} \quad (5)$$

$$I_p = 2(1.8 A) + 2(0.2 A) = 4 A \quad (6)$$

Dónde:

I_p Es la corriente total del circuito

I_{mot} Corriente demandada por un motor

I_{mod} Corriente demandada por un módulo L298

Con las consideraciones antes mencionadas se elige la fuente de voltaje modelo HTT-60F-A, marca HAI, con voltaje de salida de $5 V_{CD}$, $5 A$ y voltaje de entrada de $127 V_{CA}$. En la Figura 48 observa la fuente.



Figura 48. Fuente de voltaje

4.4.3 Tratamiento de señal

4.4.3.1 Preamplificador

La misión de un preamplificador es hacer un acondicionamiento de la señal proveniente del detector y un acoplamiento adecuado con el amplificador, para obtener una señal fiel al pulso que produce algún evento radiactivo en el detector. Las características que debe poseer un preamplificador son:

- Alta ganancia a lazo abierto
- Bajo ruido
- Alta velocidad

Para el preamplificador se tomó un circuito diseñado para acondicionar la señal proveniente de un diodo PIN y que se utiliza en mediciones de máquinas de rayos X, el cual se muestra en la Figura 49 (Ramírez, 2005).

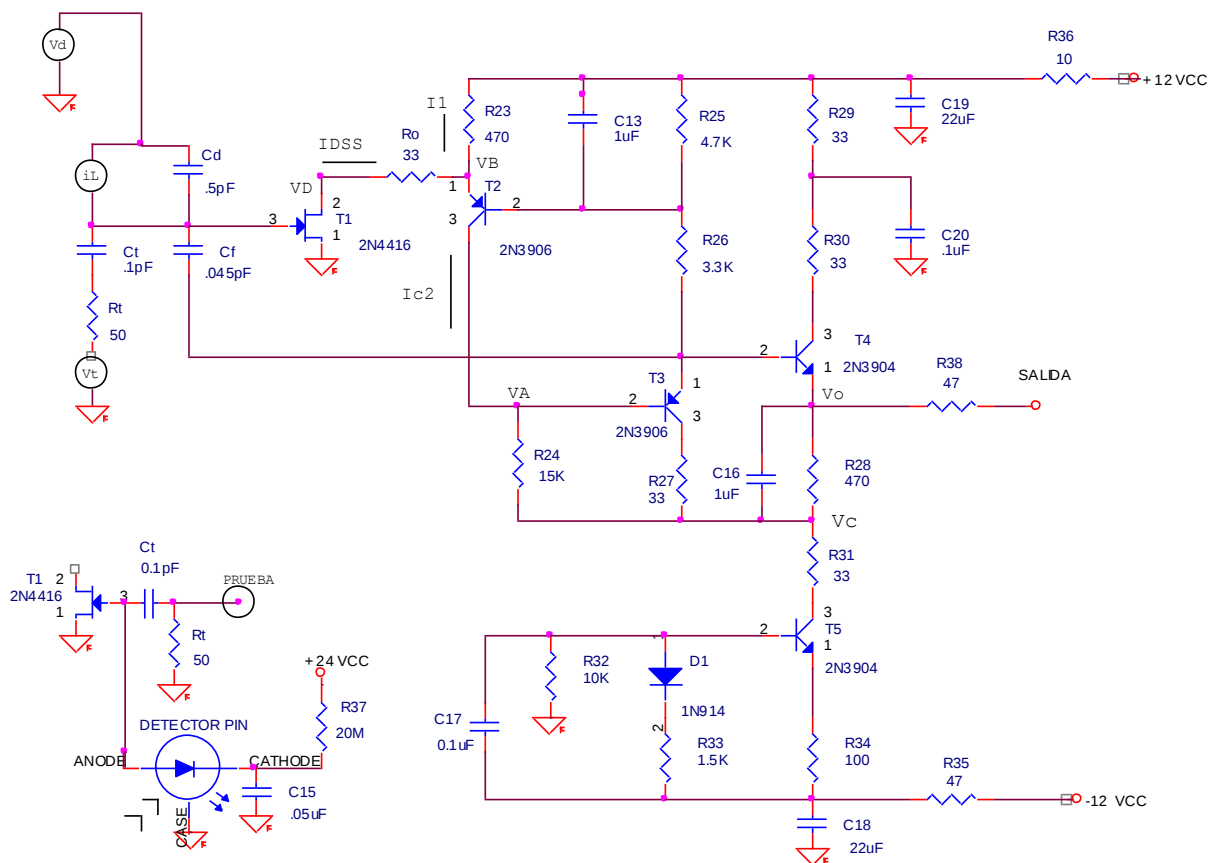


Figura 49. Diagrama esquemático del preamplificador

Se diseñó una placa de circuito impreso para este preamplificador, para la cual se usaron componentes de montaje superficial con encapsulado SMD 0402 cuya longitud es de 1 o 2 milímetros dependiendo del elemento. En la Figura 50 se muestra el diseño final de la placa de circuito impreso.

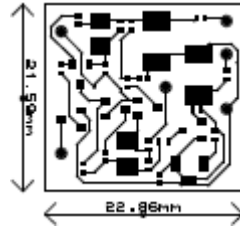


Figura 50. Placa de circuito impreso del preamplificador

4.4.3.2 Acondicionador de señal

Para que el conteo de los pulsos por el DAQ NI 6008 sea posible, el nivel de voltaje mínimo de un pulso debe ser 2 volts. Para cumplir con un conteo exacto de los eventos que llegan al detector se integra un acondicionador de voltaje, el cual tiene la función de enviar un pulso con amplitud mayor a 2 volts cuando en su entrada llega un pulso mayor a un voltaje de discriminación (el usuario lo establece). Para el acondicionador se propone el circuito de la Figura 51. El potenciómetro RV1 establece el voltaje mínimo que deben tener los pulsos, para ser amplificados.

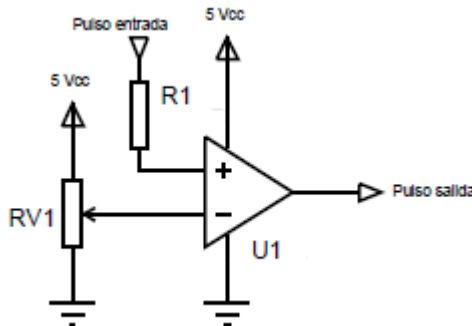


Figura 51. Diagrama del acondicionador de señal

El circuito impreso se puede apreciar en la Figura 52. Como el potenciómetro es un ajuste al que el usuario debe tener acceso, en el circuito impreso solo se colocaron las terminales de entrada. De esta manera el potenciómetro de ajuste se coloca en la cubierta en un lugar accesible para el usuario.

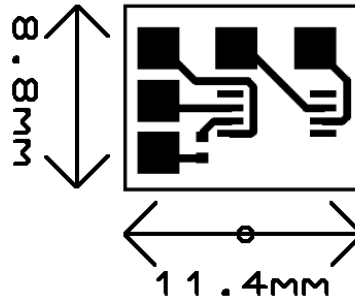


Figura 52. Tarjeta de circuito impreso del discriminador

4.5 ESTRUCTURA Y SOPORTES

4.5.1 Requerimientos

El sistema de posicionamiento necesita una estructura para colocar la mesa de coordenadas y los circuitos electrónicos, de manera que estén fijos para tener un sistema funcional y seguro de operar.

Los requisitos que debe cumplir la estructura dedicada para este propósito son:

- 1) Permitir el movimiento vertical del detector y de la muestra para posibilitar la medición a diferentes distancias entre la fuente radiactiva y el detector.
- 2) Tener la cámara de medición cubierta (oscura) para poder hacer mediciones con detectores sensibles a la luz.
- 3) Facilidad para colocar la fuente radiactiva y el detector de forma invertida (fuente abajo y detector arriba).
- 4) Posibilitar el desensamble de la mesa de coordenadas y los circuitos electrónicos, para realizar mediciones especiales en donde sea necesario colocar el sistema de forma vertical.
- 5) Permitir el acceso del usuario a los conectores.
- 6) Poseer espacio libre de polvo y con ventilación donde se ubiquen los circuitos electrónicos, con acceso a conectores cableado de los motores y sensores.

4.5.2 Medidas

Para determinar las medidas de la estructura es necesario conocer el área requerida por la mesa de coordenadas que incluyen tanto su espacio de trabajo como el espacio que ocupan sus componentes. Otro factor importante son las distancias necesarias para mantener seguros y fijos los componentes electrónicos. En la Figura 53 se observan las dimensiones del área donde se ubicará la mesa de coordenadas.

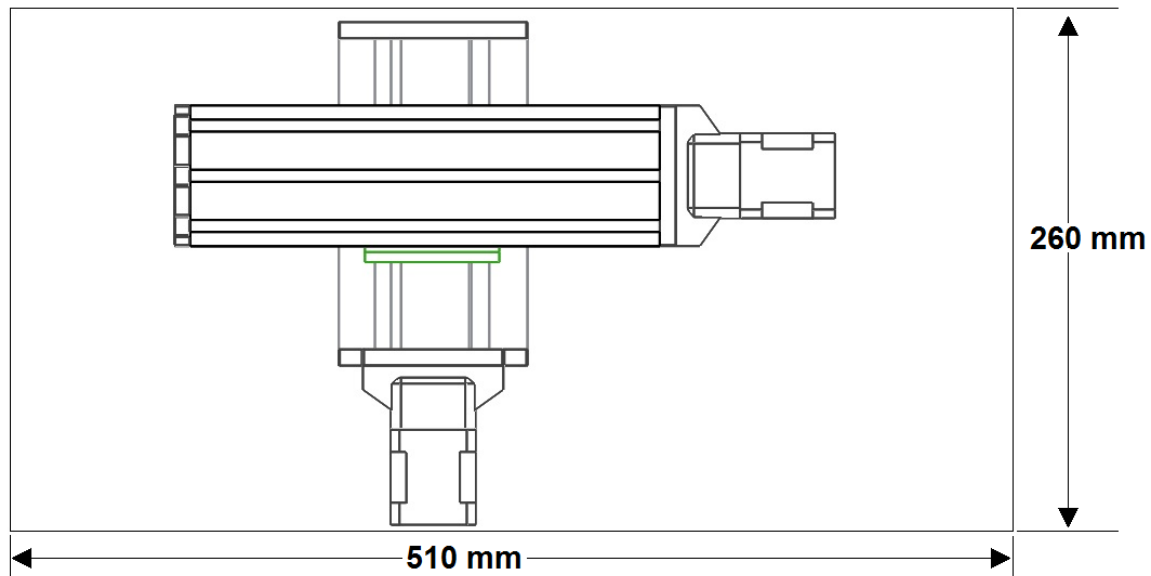


Figura 53. Medidas del espacio necesario para la mesa de coordenadas

4.5.3 Desplazamiento vertical

Debido a que la configuración de la medición puede variar debido a la intensidad de las fuentes que se pretenden medir, es necesario diseñar una forma de variar la distancia entre el detector y la fuente.

El método que se utilizó fue una base rectangular móvil montada sobre cuatro guías verticales que permiten el libre movimiento. Para establecer la distancia entre el detector y la fuente se utilizarán prismas rectangulares que se insertan sobre las guías. En la Figura 54 se ilustra lo anterior.

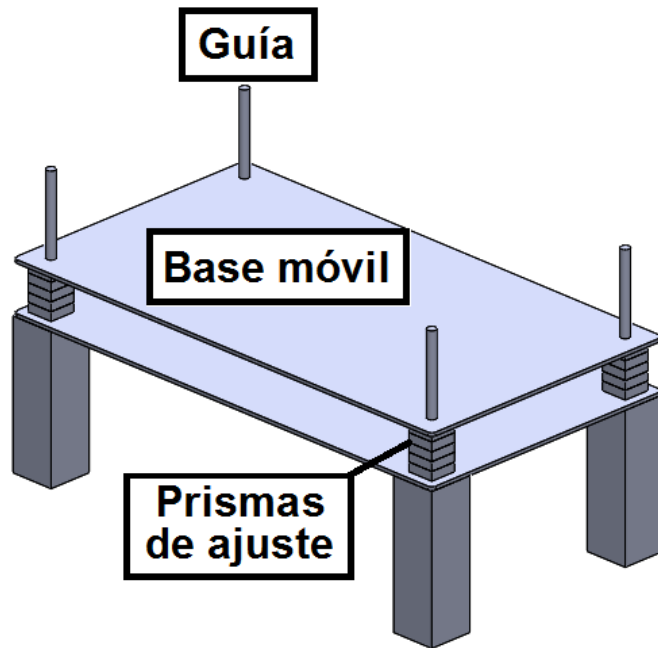


Figura 54. Mecanismo de movimiento vertical

La ventaja principal de este diseño es que posibilita la reubicación de los elementos de forma sencilla. Se puede hacer un barrido de la parte superior o inferior del campo radiactivo con solo voltear la placa de la mesa de coordenadas, además la distancia entre la placa de la fuente y la placa de la mesa de coordenadas se puede modificar con el número de prismas de ajuste puestos entre ellas.

4.5.3.1 Placas móviles

Las placas móviles son los elementos a los que se sujeta la mesa de coordenadas o la fuente a medir. Para dimensionarlas placas solo se requiere saber las medidas del área de trabajo de la mesa de coordenadas por lo que el único factor a calcular fue el grosor de las placas.

Para el diseño de estas piezas es importante optimizar el peso, pues es mejor para el usuario que sea ligera, pero si se hace demasiado delgada tenderá a flexionarse por lo que las mediciones perderían la perpendicularidad al plano de medición. Para el diseño se considera una deformación máxima de 1 mm que es la máxima permisible para una máquina de precisión (Mott, 2004) y se considera a la placa como una viga soportada en los extremos

con una carga en el centro. Dicha carga está conformada por la mesa de coordenadas y un peso extra de tolerancia pensado para los detectores y sistemas de sujeción.

La ecuación 7 es la fórmula utilizada para la deformación en una viga en las condiciones antes mencionadas (Childs, 2004):

$$\delta = \frac{FL^3}{48EI} \quad (7)$$

Dónde:

F= Carga aplicada a la viga (N)

L= Longitud de la viga (m)

E= Modulo de Young (N/m²)

I= Segundo momento del área respecto al eje neutro (m⁴)

Como la inercia para una viga rectangular es:

$$I = \frac{1}{12}bh(8)$$

Dónde:

b= longitud de la base de la sección transversal (m)

h= longitud de la altura de la sección transversal (m)

Entonces la ecuación para en grosor de la viga es:

$$h = \sqrt[3]{\frac{FL^3}{4E\delta}} \quad (9)$$

Sustituyendo los valores de la placa se tiene:

$$h = \sqrt[3]{\frac{(30 \text{ N})(0.5 \text{ m})^3}{4(71 \times 10^9 \text{ N/m}^2)(0.001 \text{ m})}} = 0.0035 \text{ m} = 3.5 \text{ mm} \quad (10)$$

Por lo tanto, la placa debe tener un espesor mayor a 3.5 milímetros.

3.5.3.2 Prismas de ajuste

Los prismas de ajuste se utilizan para establecer la distancia entre el detector y la fuente. Esta forma de montar las placas móviles se eligió debido a la facilidad con la que el usuario seleccionará la distancia antes mencionada, además dicho método garantiza que la placa estará a la misma altura en todos los puntos de anclaje pues los prismas de ajuste tienen la misma altura.

Los prismas de ajuste deben ser ligeros y de buen tamaño para permitir al usuario colocarlos o retirarlos fácilmente y sencillos para agilizar su fabricación.

Para este caso no es necesario realizar cálculos sobre la rigidez mecánica del material puesto que las cargas de compresión que se aplicarán son muy bajas y no pondrían en riesgo el diseño o la seguridad de la estructura.

Se eligió realizar los prismas de ajuste con polimetil-metacrilato pues es un polímero ligero y resistente tanto a la compresión como a los impactos. El prisma de ajuste se muestra en la Figura 55.

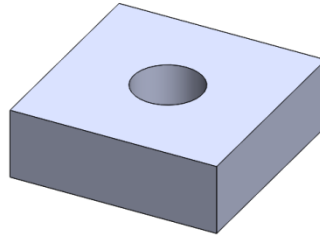


Figura 55. Prisma de ajuste

4.5.4 Contenedor de componentes electrónicos

La mesa de coordenadas es el elemento más grande dentro del sistema y por lo tanto es la que determina el área que debe tener la estructura donde se fijará el sistema, por lo tanto, el espacio que ocupan los elementos electrónicos no representa mayor problema para el diseño del contenedor. Los aspectos más importantes que considerar en este punto son la conexión de componentes, tarjetas electrónicas y motores.

Una restricción es que los componentes electrónicos no pueden colocarse en el espacio donde se encuentra la mesa de coordenadas, pues deberá estar libre para su operación. Se optó entonces por hacer una caja en la base del mecanismo de desplazamiento vertical que servirá como contenedor para los circuitos electrónicos. En ella se hicieron las perforaciones necesarias para colocar los conectores que tendrán relación con el exterior, que son: el conector de corriente alterna, conector de USB, conector de entrada de pulso, conector de entrada de voltaje y los conectores DB9 para controlarla mesa de coordenadas.

Para facilitar el acceso a los circuitos electrónicos, se puede retirar la tapa superior guiándola sobre el mecanismo de desplazamiento vertical. El diseño final del contenedor se muestra en la Figura 56.

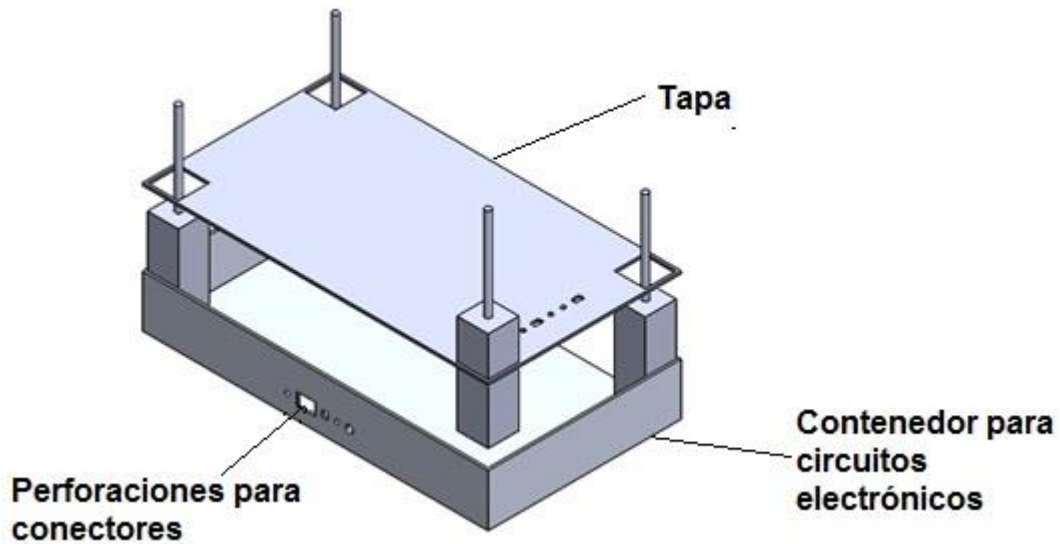


Figura 56. Contenedor de elementos electrónicos

4.5.5.1 Placa de cobertura superior (Tapa)

El diseño de la placa superior (Tapa) es igual al de las placas móviles en cuanto a las dimensiones y capacidad de carga. La diferencia son las perforaciones para los conectores y las perforaciones en las esquinas para que esta se acople perfectamente a los pilares de soporte del sistema.

4.5.5.2 Pilares de sujeción

La altura de los pilares de sujeción está determinada por el espacio que ocupan los circuitos electrónicos más la altura que tiene la mesa de coordenadas y un espacio de tolerancia. En la Figura 57 se observan las dimensiones de la pieza.

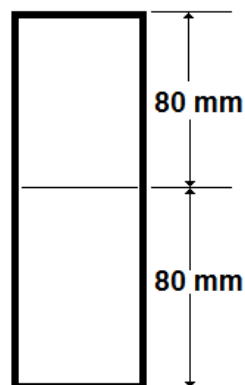


Figura 57. Diagrama de altura del pilar de soporte

A pesar de que las cargas aplicadas a estos pilares son bajas es necesario asegurarse a de las medidas mínimas para un desarrollo seguro pues estos elementos serán los soportes principales de todas las cargas aplicadas. En este caso el factor de seguridad utilizado es de 10 y el esfuerzo de falla para el aluminio 290 MPa (Hibbeler, 2011), entonces el esfuerzo permisible es de:

$$F.S = \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{perm}}(11)$$

$$\sigma_{perm} = \frac{\sigma_{max}}{F.S.} \sigma_{perm} = \frac{290 MPa}{10} = 29 MPa (12)$$

Como el pilar tiene un perfil cuadrado, el valor a calcular es el lado de la geometría. El cálculo se realiza mediante las ecuaciones 13 a 18.

Si

$$A = l^2(13)$$

y

$$\sigma = \frac{P}{A}(14)$$

entonces

$$\sigma = \frac{P}{l^2} (15)$$

además

$$\sigma_{perm} = 29 \times 10^6 Pa \text{ se tiene que } \frac{P}{l^2} < \sigma_{perm}(16)$$

entonces

$$l > \sqrt{\frac{P}{\sigma_{perm}}} (17)$$

Donde A es el área, l es el lado del perfil, P fuerza de carga, σ_{perm} esfuerzo permisible.

Sustituyendo

$$l > \sqrt{\frac{50 N}{29 \times 10^9 Pa}} = 0.0013m = 1.3 mm(18)$$

Si se analiza la deformación con la especificación calculada para el lado del perfil cuadrado, la deformación queda:

$$\delta = \frac{PL}{AE} (19)$$

$$\delta = \frac{(50N)(0.16\text{ m})}{(1.72 \times 10^{-6} \text{ m}^2)(68.9 \times 10^9 \text{ N/m}^2)} = 0.067\text{ mm}(20)$$

Considerando los resultados de los cálculos se concluye que los aspectos más importantes para a tomar en cuenta son la facilidad de manufactura y costo.

4.4.3 Tapas laterales

Para las tapas laterales la forma de sujeción más adecuada es a través de tornillos. Debido a que estas tapas no soportarán ningún peso, no existe posibilidad de algún problema por el esfuerzo o la deformación (Budynas, 2015).

4.5.5 Protección contra luz

El punto más importante para el diseño es que la cubierta mantenga a oscuras el detector y la fuente por lo que se deben considerar el espesor del material a utilizar y la forma de unión con la parte inferior del ensamble.

La mejor opción es una tapa que cubra la parte superior del sistema, se acople sobre el contenedor de los componentes electrónicos y se fije por medio de dos pasadores. Para asegurar el sellado de la unión se colocará una junta de hule que se fijará por medio de presión (Klevanov, 2008).

En la Figura 58 se observa el diseño de la tapa y se indica además la posición en la que se coloca la junta de sellado.

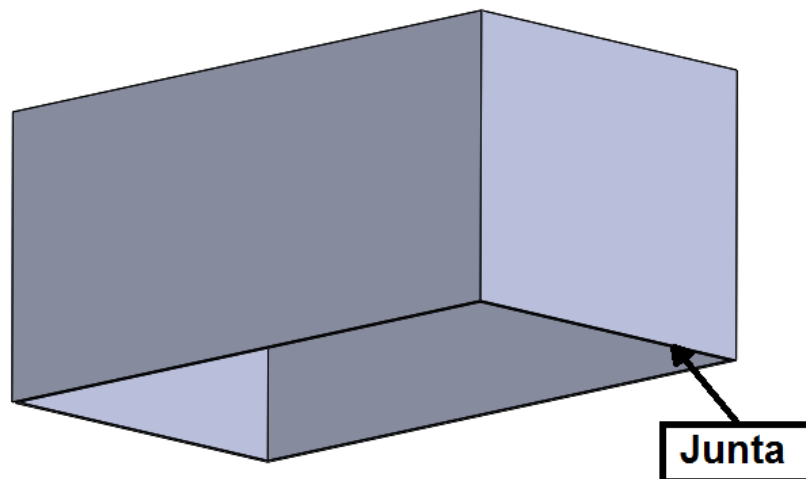


Figura 58. Tapa protectora de luz

4.5.6 Diseño final

El diseño completamente ensamblado se puede observar en la Figura 59. La estructura está planeada para fabricarse en aluminio por ser un material ligero y los prismas de ajuste serán los únicos componentes fabricados en plástico.

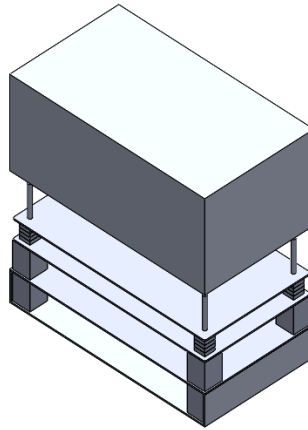


Figura 59. Estructura final

El tipo de aluminio que se utilizará será el 6061 por ser una aleación fuerte, resistente a la corrosión, versátil, comúnmente utilizada en diseño mecánico, está disponible en todas las formas comerciales y además presenta buenas características para la soldadura y maquinado. (Mott, 2004)

En el desarrollo del proyecto se elaboraron varios planos de fabricación, con la intención de no alargar el documento solo se presenta un dibujo de despiece de todos los elementos en el anexo B.

4.5.7 Soporte para mediciones verticales

En algunas ocasiones se requiere que la mesa de coordenadas se utilice de forma vertical de manera que el detector se posicione paralelo al suelo, para esta aplicación es necesario diseñar un soporte extra.

El soporte vertical debe permitir sujetar la mesa de coordenadas con cuatro tornillos, colocarla a diferentes alturas y además ser estable a pesar del movimiento y del peso de los elementos que cargará. En la Figura 60 se observa el diseño inicial de la estructura vertical.

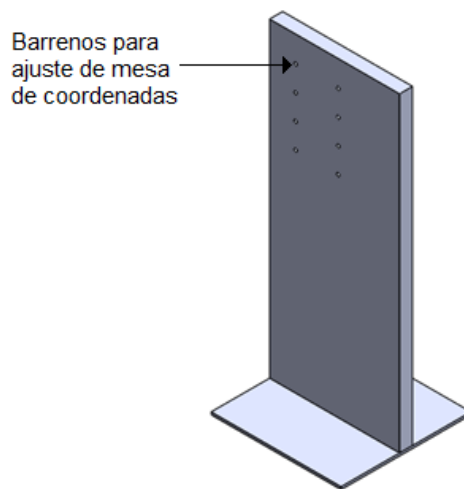


Figura 60. Estructura de soporte vertical

Las perforaciones que se observan en la Figura 60 hacen posible que la mesa de coordenadas se ubique en tres alturas diferentes, lo que le permite ajustarse a la altura del campo de radiación que se pretenda medir.

La base de la estructura proporciona la estabilidad necesaria a la mesa de coordenadas y al detector, debido a que tiene un tamaño considerable es posible colocar una gran variedad de detectores sin que se tenga algún problema.

4.6 CONSIDERACIONES EXTRAS

Debido a que las dos estructuras diseñadas tienen diferente finalidad y que resulta poco práctico transportarlas siempre juntas al lugar donde se hará la medición, se tomó la decisión de fabricar dos circuitos electrónicos como el expuesto en la sección 3.4. Uno se instaló en la caja de aluminio. El otro en una carcasa de plástico portátil la cual se utiliza con la estructura vertical.

La mesa de coordenadas se sujeta a las estructuras a través de tornillos, lo que hace fácil su desensamble y montaje, esto posibilita al usuario medir campos verticales u horizontales sin mayor dificultad.

CAPÍTULO 5. RESULTADOS

5.1 ESTRUCTURA MECÁNICA

La fabricación de la estructura metálica se realizó en los talleres del ININ. En estas instalaciones cuentan con el personal y las herramientas necesarias para la manufactura de los prototipos que requieren los proyectos internos.

En el inicio del proceso de fabricación se utilizaron placas de aluminio de aleación 6061 de 3/8 y 1/4 de pulgada con medidas de 1.2 x 1.2 m en los talleres se realizaron los cortes, las perforaciones y roscados especificados. Además, se soldó la tapa principal.

Para verificar el funcionamiento de la estructura se procedió a instalar la mesa de coordenadas y se hicieron diferentes cambios de altura, para asegurar que es posible realizar mapeos de fuentes a diferentes distancias o diferentes geometrías.

Posteriormente se comprobó que el ensamble entre la tapa principal de la estructura y el contenedor de los elementos electrónicos, impidiera la entrada de luz a la cámara de medición. En la Figura 61 se observa el gabinete fabricado.



Figura 61. Gabinete finalizado

El soporte vertical para el sistema de medición fue más sencillo de manufacturar debido a que solo se compone de dos piezas, incluso el ensamble con la mesa de coordenadas es bastante rápido pues únicamente se necesitan tornillos. El soporte vertical se utilizó para realizar mediciones en el reactor nuclear del ININ, como se explicará más adelante en este capítulo. Debido a la robustez que se requirió para el dispositivo, su peso es de 8 kg, sin

embargo, esta característica permite que se utilice con muchos tipos de detectores. En la imagen de la Figura 62 se observa el soporte vertical.



Figura 62. Soporte vertical con mesa de coordenadas y detector.

5.2 INTERFAZ DE USUARIO

Al concluir la interfaz de usuario, se generó una aplicación, en LabVIEW con la intención de ejecutar el programa en cualquier computadora con sistema operativo Windows XP o superior. En la Figura 63 se observa la pantalla inicial del programa del Sistema de posicionamiento de detectores de radiación, es importante observar que en la barra de inicio de Windows se muestra el icono del programa.



Figura 63. Pantalla principal del programa del sistema de posicionamiento de detectores de radiación.

La pantalla de puesta al origen del programa se muestra en la Figura 64, aquí se ven los indicadores de la etapa en la que se encuentran los ejes, esto es moviéndose hacia el interruptor de límite (fase 1) o avanzando hacia la posición cero (fase 2). En dicha pantalla la única forma de interactuar con el programa es detener la ejecución (botón inferior).



Figura 64. Pantalla de ida al origen

Para la pantalla de la función de posicionamiento (ver Figura 65) se utilizaron más controles e indicadores puesto que se ejecutan varias funciones. Existen controles separados para el movimiento de los ejes y la medición individual, además se puede observar que los resultados de las mediciones individuales (conteos y tiempo de ejecución) se guardan en una lista.

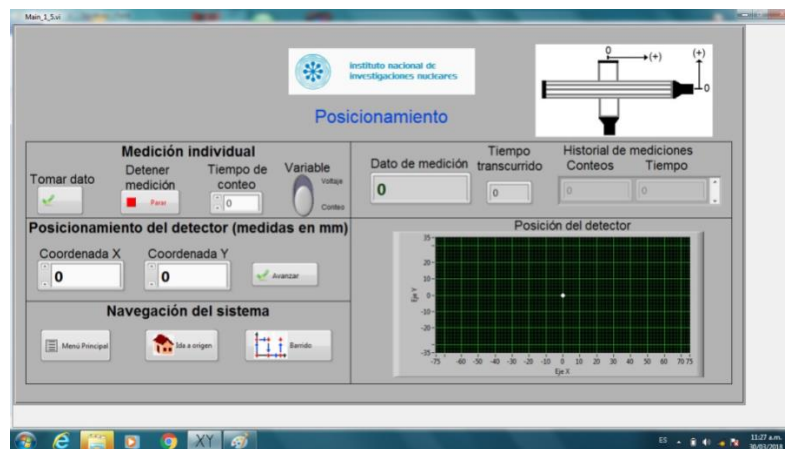


Figura 65. Pantalla de la función de posicionamiento

En la pantalla de barrido el programa cuenta con controles para que el usuario especifique las dimensiones del área a barrer, el número de puntos, el tiempo de conteo y el método de

barrido. Aquí se especifica también el nombre del archivo en el que se guardarán las mediciones, se muestra el tiempo estimado de ejecución del barrido y posteriormente se pide al usuario que dé la instrucción para iniciar o cancelar el proceso para corregir algún dato.

Mientras el barrido se está ejecutando, el usuario puede observar las mediciones que se hacen punto a punto, esto posibilita que la supervisión del proceso sea efectiva. En caso de que exista algún problema con la adquisición de los datos, se notará un comportamiento extraño de la gráfica (especialmente conteos nulos). Otra ventaja de la visualización del proceso es que se muestran los puntos por los que pasará el detector para realizar el barrido. En la Figura 66 se observa la pantalla principal en la función de barrido.

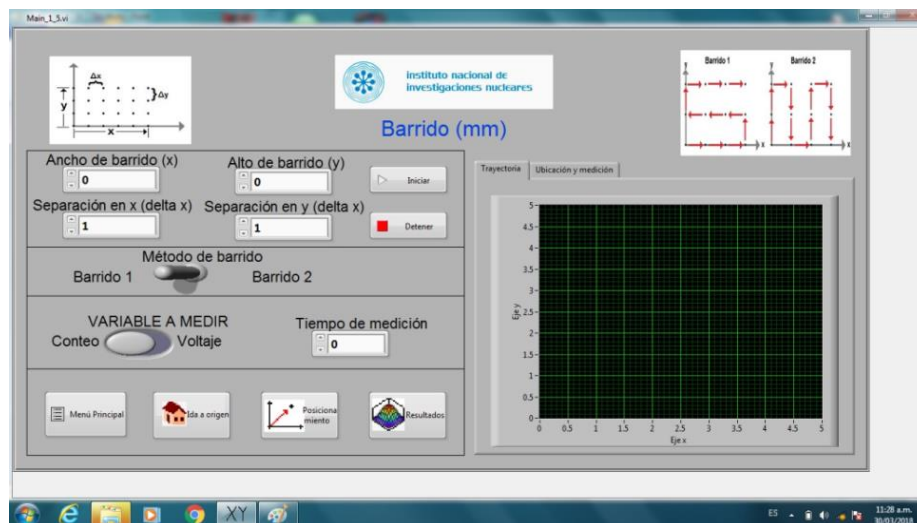


Figura 66. Pantalla de la función de barrido.

La pantalla de resultados es más simple puesto que solo muestra las gráficas que se generan en los recorridos recién ejecutados o bien en los que están almacenados en un archivo. Las gráficas siempre se presentan en tres dimensiones, sin embargo, se puede visualizar la superficie de forma lateral, superior e isométrica, con las cuales se puede generar funciones de la medición con respecto a la posición en el eje X o Y, con la vista superior es posible observar la gráfica en pseudocolor. En la Figura 67 se muestra la apariencia final de la pantalla de resultados, en la imagen se puede ver que existe un selector de archivos, mediante el cual se elige el archivo que se dibujará en el área de la gráfica.

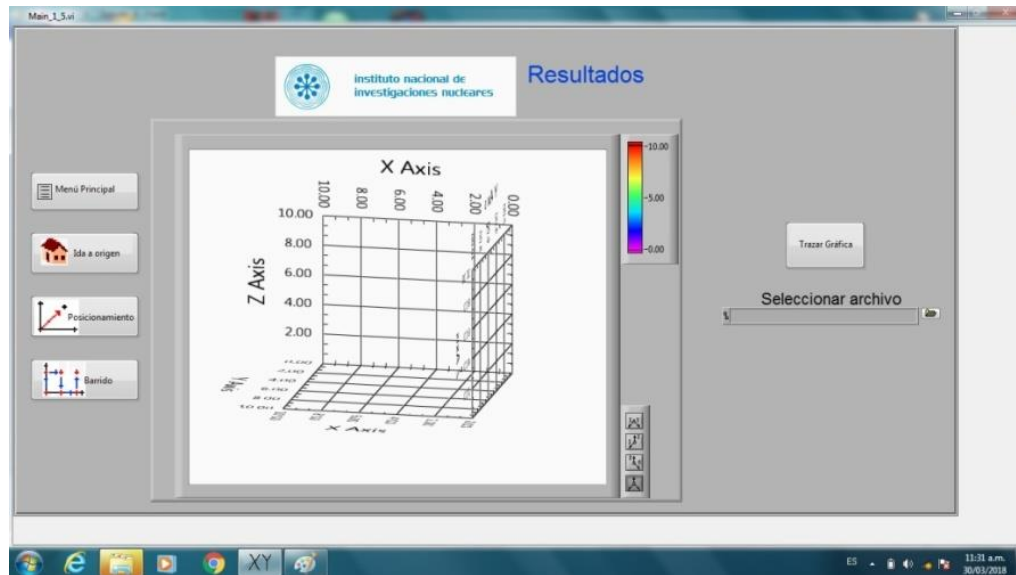


Figura 67. Pantalla de resultados

5.3 EQUIPO FINAL

Los elementos electrónicos del sistema se instalaron en una caja de plástico para las mediciones con la estructura vertical, de esta manera que se facilitará el transporte del sistema. La anterior opción es más adecuada cuando se requieran mediciones en escenarios fuera de laboratorio, como por ejemplo en los tubos de haces de neutrones del reactor nuclear del ININ. En la Figura 68 se muestra la caja que se utilizó y sus conectores. En la vista frontal se pueden observar los conectores DB9 para los motores y en la posterior el conector USB para la computadora y el conector BNC para la señal de entrada del detector.



Figura 68. Caja para los circuitos electrónicos del Sistema portátil de Posicionamiento de Detectores de Radiación, vista general (izquierda), vista frontal (derecha arriba), vista posterior (derecha abajo)

En el interior de la carcasa portátil se insertaron los dos módulos de potencia L298, la fuente de alimentación, el módulo NI 6008 y se realizaron las conexiones dejando en la parte externa los conectores de entrada y salida que son de tipo USB, DB9 y BNC. En la Figura 69 se aprecian las conexiones y la ubicación de los elementos.

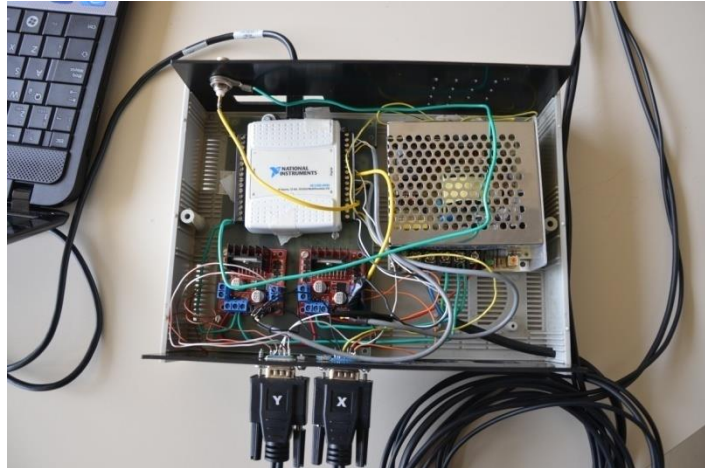


Figura 69. Conexión interna de los circuitos electrónicos dentro de la caja

En la Figura 70 se pueden observar los cables USB, los cables de los motores de la mesa de coordenadas y el cable de alimentación de los módulos electrónicos que forman el sistema portátil.



Figura 70. Equipo portátil final ensamblado

Para el presente sistema se hizo un manual de usuario que se encuentra en el anexo A, el cual tiene como propósito ayudar a las personas que inicien con el uso de este equipo a comprender su forma de uso.

5.4 APLICACIONES

5.4.1 Perfil del campo de radiación de distintas fuentes

Mediante la función de barrido del Sistema Posicionador se analizaron los campos de radiación generados por algunas fuentes radiactivas para obtener una imagen del comportamiento de la radiación.

En estas pruebas se utilizó un detector de semiconductor tipo diodo PIN con matrícula RD2014 de la marca Teviso, el cual está basado en un arreglo de diodo PIN con un preamplificador y discriminador integrados. Dicho detector es sensible a partículas beta, radiación gamma y rayos X. En la Figura 71 se observa el detector RD2014 (Teviso, 2016).

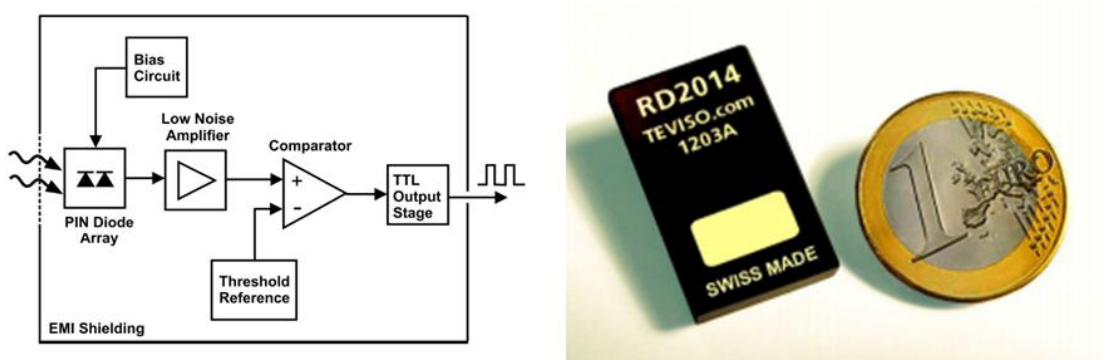


Figura 71. Detector RD2014

5.4.1.1 Conteo de pulsos

El conteo de los pulsos generados en el detector se realiza en el dispositivo multifunción DAQ NI 6008, para asegurar que los datos obtenidos fueran exactos, se conectó el detector RD2014 de manera simultánea al DAQ y a un contador de pulsos nucleares marca Ortec, modelo 1772 y se realizaron varios conteos de 60 segundos a dos fuentes radiactivas, una de Cesio-137 y otra de Americio-241.

El Cesio-137 es un radioisótopo emisor de rayos gamma que tiene una vida media de 30 años y una energía característica de 661 keV. Es un elemento radiactivo que se utiliza para la irradiación de productos industriales, material médicos y alimentos, también se usa en

sensores de espesor, nivel, densidad y humo (Bergman, 1994). La Figura 72 a) muestra una fuente de Cesio-137 utilizada para los experimentos.

El Americio es un elemento sintetizado por el hombre, cuyo número atómico es 95 y se encuentra clasificado en la tabla periódica como un actínido. El Americio-241 tiene una vida media de 432 años. Su cadena de decaimiento es a través de la emisión de partículas alfa para convertirse en Neptunio 237, el cual también es radiactivo, por lo que éste decae emitiendo un fotón gamma de 59.54keV, hasta convertirse en átomos estables de plomo o bismuto (Syracuse Research Corporation, 2001). En la Figura 72 b) se muestran las fuentes que se utilizaron en los experimentos.



Figura 72.a) Fuente de Cesio 137 b) Fuente de Americio 261

La cantidad de pulsos que llegan al detector dependen de factores como la distancia entre el detector y la fuente y el tiempo de exposición. En la tabla 3 se muestran los valores obtenidos en una serie de mediciones hechas a la fuente de ^{137}Cs .

Tabla 3. Comparación de conteos entre el contador Ortec y el módulo NI 6008 con ^{137}Cs .

Cesio (661 keV)			
Conteo	Contador ORTEC	Módulo 6008	Error (%)
1	285	281	1.40
2	299	301	0.67
3	301	306	1.66
4	322	324	0.62
5	284	277	2.46
6	276	269	2.54

7	291	287	1.37
8	295	289	2.03
9	332	318	4.22
10	291	291	0.00
11	286	281	1.75
12	263	263	0.00
13	309	305	1.29
14	289	283	2.08
15	286	275	3.85
16	307	305	0.65
17	264	257	2.65
18	282	286	1.42
19	303	300	0.99
20	289	282	2.42

La variación en los conteos obedece a la diferencia en el valor umbral de los contadores, sin embargo, se puede observar que los 20 conteos tienen un valor muy similar, la diferencia entre los pulsos contados por el DAQ y el contador ORTEC tiene un porcentaje de error entre 0 y 4%.

La misma prueba se efectuó ahora para una fuente gamma de ^{241}Am . La Tabla 4 muestra los conteos para comparar los dos instrumentos.

Tabla 4.Comparación de conteos entre el contador Ortec y el módulo NI 6008 con ^{241}Am .

Americio 241			
Cuenta	Contador Ortec	Módulo 6008	Error(%)
1	36	19	47.22
2	43	26	39.53
3	32	18	43.75
4	39	23	41.03
5	41	23	43.90
6	45	32	28.89
7	34	18	47.06
8	40	21	47.50
9	39	29	25.64
10	36	16	55.56
11	36	19	47.22

12	43	17	60.47
13	38	25	34.21
14	35	24	31.43
15	35	23	34.29
16	28	14	50.00
17	38	21	44.74
18	29	17	41.38
19	28	15	46.43
20	43	20	53.49
Promedio	36.9	21	43.09

Se puede observar que el número de cuentas entre el DAQ USB 6008 y el contador de la marca Ortec difiere bastante, el DAQ cuenta menos pulsos porque se encontró que los pulsos que salen del detector no son iguales, sino que también se obtienen pulsos con una amplitud menor al voltaje considerado como “1” lógico por el módulo NI 6008, el error en este caso es de alrededor del 40 %. En la Figura 73 se observan la diferencia en amplitud de los pulsos de salida del detector RD2014.

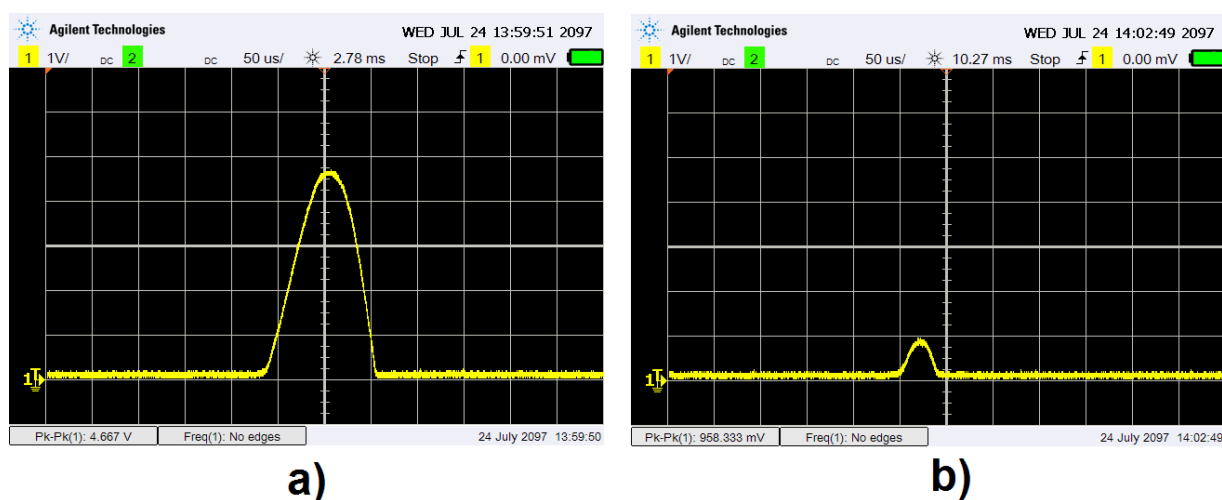


Figura 73. Pulsos de salida del detector RD2014. a) Pulso detectado por el DAQ USB 6008 b) Pulso no detectado

Para que el resultado en ambos contadores sea similar y minimizar el error, se utilizó un acondicionador de señal entre la salida del detector y el contador DAQ USB 6008 y se volvió a hacer la prueba. El resultado se muestra en la Tabla 5.

Tabla 5. Comparación de conteos entre el contador Ortec y el módulo NI 6008 para fuente de ²⁴¹Amy con discriminador a la salida del detector.

Americio 241			
Conteo	Contador Ortec	Módulo 6008	Error (%)
1	51	47	7.84
2	27	28	3.70
3	28	28	0.00
4	36	31	13.89
5	45	47	4.44
6	48	47	2.08
7	24	22	8.33
8	51	50	1.96
9	48	50	4.17
10	30	30	0.00
11	39	37	5.13
12	33	33	0.00
13	33	34	3.03
14	45	43	4.44
15	54	53	1.85
16	33	33	0.00
17	51	53	3.92
18	33	31	6.06
19	66	66	0.00
20	36	36	0.00

Se puede observar que el error disminuye sustancialmente, aunque todavía existe, es posible que lo anterior sea porque el voltaje de referencia para discriminar debe ser menor para esta prueba.

5.4.1.2 Perfiles Radiactivos

5.4.2.2.1 Cesio-137

Se ejecutó una prueba de barrido para determinar la distribución de la radiación proveniente de una fuente de Cesio 137. El material radiactivo está contenido en una cápsula de 4 cm de diámetro como se muestra en la Figura 72 a). Se determinó un área de trabajo de 7 x 6 cm, la distancia entre puntos consecutivos (ΔX , ΔY) de 4 mm y el tiempo de conteo de 60 segundos. Para esta prueba se utilizó el detector RD 2014. En la Figura 74 se observa el perfil obtenido.

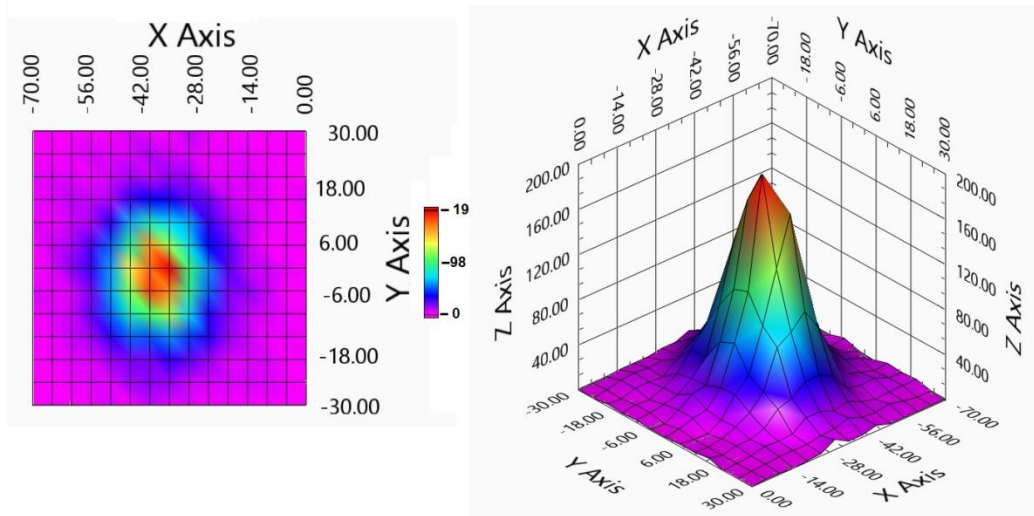


Figura 74. Perfil radiactivo de la fuente de Cesio-137. Mapa 2D (izquierda) y superficie (derecha)

Como era de esperarse, el conteo mayor ocurrió en el centro de la fuente radiactiva, mientras que en los extremos hubo una disminución paulatina de los pulsos detectados.

5.4.2.2.2 Americio-241

Se analizó una fuente de Americio-241 contenida en una capsula como se muestra en la Figura 72 b). Se estableció un área de barrido de 40 x 35 mm, el tiempo de muestreo por posición de 60 segundos y la distancia entre puntos consecutivos (ΔX , ΔY) de 4 mm por lo que el tiempo de barrido fue de 1 hora con 50 minutos, tiempo en el que el equipo trabajó sin inconveniente. En la Figura 75 se observa el resultado del perfil.

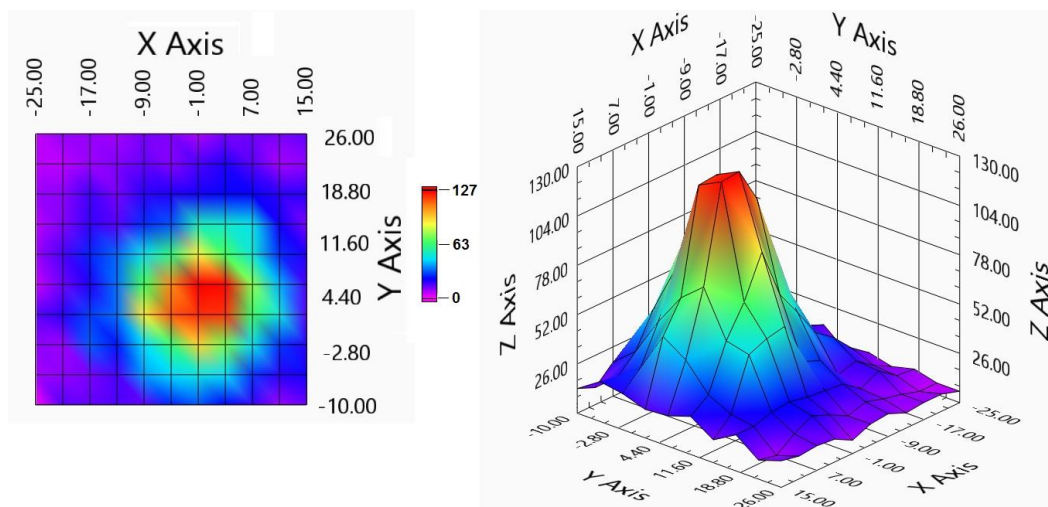


Figura 75. Perfil radiactivo de la fuente de Americio-241. Mapa 2D (izquierda), superficie generada (derecha)

Se puede observar en la gráfica que el barrido no está centrado pero aun así se logró distinguirla zona con mayor actividad de la fuente de Americio. En la gráfica se aprecia que la concentración de material radiactivo es mayor en el centro del contendor.

5.4.2 Medición de neutrones en el reactor TRIGA MARK III

Con la intención de analizar el flujo de neutrones presente en un puerto de irradiación del reactor TRIGA MARK III del ININ, se colocó el equipo desarrollado en este proyecto como se muestra en la Figura 76.



Figura 76. Instalación del equipo para medir el perfil del haz de neutrones en uno de los puertos del reactor TRIGA MARK III del ININ.

La primera parte del experimento fue para certificar que los conteos realizados por el sistema de posicionamiento coincidieran con los conteos de un analizador multicanal (MCA), marca Ortec. Esto dio la certeza de que el sistema funcionaba de manera correcta. En la Figura 77 se muestra una gráfica del comparativo entre el multicanal y el DAQ NI 6008 y en la Tabla 6 se exponen los resultados numéricos.

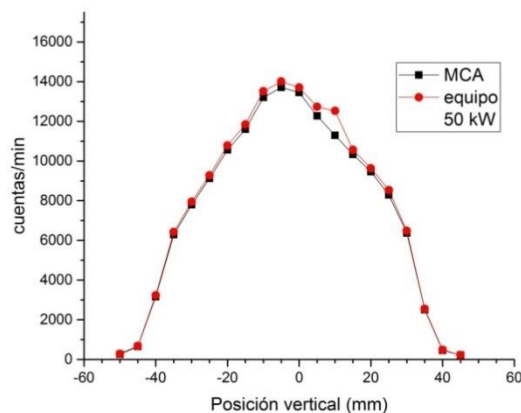


Figura 77. Gráfica del conteo comparativo entre el MCA y el DAQ

Tabla 6. Valores obtenidos en conteo comparativo entre el MCA y el DAQ

Posición	MCA	DAQ NI 6008	Diferencia (%)
-50	262	285	8.78
-45	659	685	3.95
-40	3160	3235	2.37
-35	6293	6421	2.03
-30	7792	7948	2.00
-25	9122	9282	1.75
-20	10562	10785	2.11
-15	11604	11847	2.09
-10	13207	13516	2.34
-5	13705	14008	2.21
0	13448	13700	1.87
5	12276	12733	3.72
10	11296	12521	10.84
15	10337	10565	2.21
20	9461	9637	1.86
25	8293	8530	2.86
30	6366	6481	1.81
35	2505	2551	1.84
40	457	487	6.56
45	216	224	3.70

En el puerto del haz de neutrones se encuentra un colimador, para observar el funcionamiento de este, se hizo una prueba de barrido, en la que se midió el flujo de neutrones en toda el área de trabajo del sistema Posicionador. Inicialmente no se conocían las medidas exactas del colimador, pero se sabía que el diámetro del orificio de salida estaba entre 5 y 10 centímetros. El perfil generado por la prueba se presenta en la Figura 78.

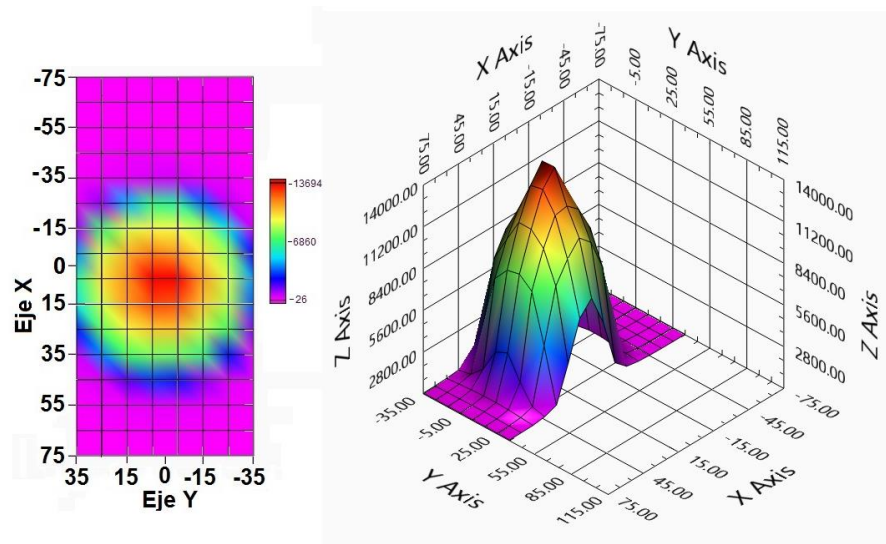


Figura 78. Perfil del haz de neutrones con el colimador original

Posteriormente se fabricó otro colimador con la intención de concentrar aún más el haz de neutrones y tratar de que el flujo fuera constante en toda el área. El nuevo colimador tiene un orificio de salida de alrededor de 4 cm. En la Figura 79 se muestra el perfil del haz de neutrones con el nuevo colimador.

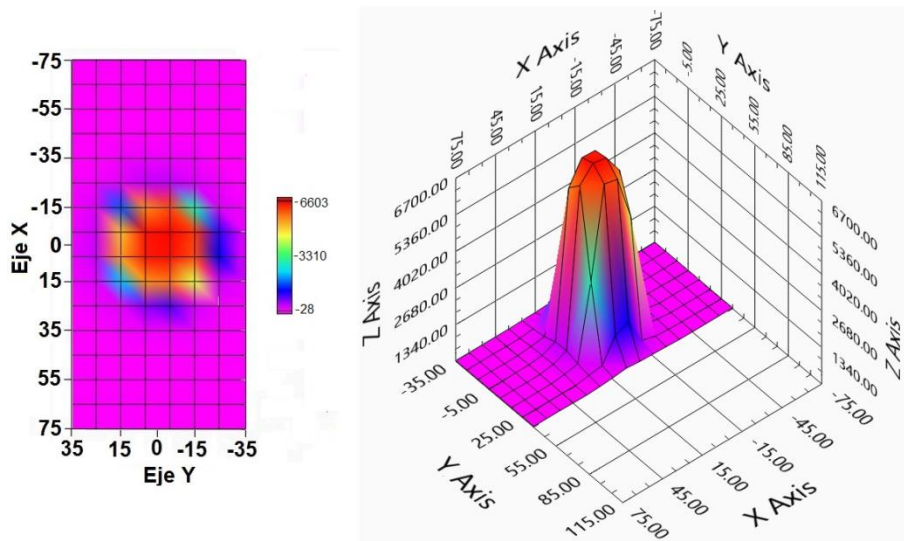


Figura 79. Perfil del haz de neutrones con el segundo colimador

En la gráfica se observa un haz está mejor colimado y homogéneo, por lo se comprueba el beneficio de haber agregado otro colimador al mismo tiempo que se utiliza el sistema posicionador de detectores.

CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES

Como en el desarrollo de cualquier proyecto la planeación es una parte fundamental, específicamente en este sistema se revisaron las necesidades de cada etapa del equipo para proponer una solución, ejecutarla y posteriormente evaluar el funcionamiento. El anterior método funcionó principalmente en el desarrollo de la interfaz de usuario. Para el diseño de la parte mecánica y electrónica, se utilizó software especializado además de programas de simulación.

Haciendo una evaluación de las etapas que conforman el sistema, se puede encontrar que los diferentes elementos cuentan con características particulares que permitieron la integración. En el caso de la mesa de coordenadas KT 70, la característica más importante es que el mecanismo es robusto y preciso lo que asegura el posicionamiento.

El uso del DAQ NI 6008 fue una decisión acertada porque cuenta con los puertos (de entrada y salida) digitales y contadores necesarios para el proyecto, además posee entradas analógicas pueden adicionar funciones al sistema como la adquisición de datos de otro tipo de variables como son temperatura, presión, humedad, voltaje y corriente.

LabVIEW es una herramienta muy útil para la elaboración de la interfaz de usuario pues cuenta con las facilidades para diseñar todas las etapas del programa, desde la estructura (máquina de estados) hasta la generación de la aplicación. Además, la programación gráfica permite visualizar los procesos, ciclos, instrucciones, operaciones y reduce al mínimo la cantidad de código.

Para este proyecto algunos circuitos electrónicos se diseñaron y fabricaron y otros fueron comprados. La conveniencia de esta decisión fue tomada en base al tiempo a utilizar en el diseño y fabricación, el precio del dispositivo comercial y la asignación de tiempo para todas las fases del proyecto.

El uso de un sistema analizador multicanal para comparar la eficiencia de conteo en el equipo diseñado en relación con un sistema comercial, reveló la necesidad de conectar un discriminador a la salida del detector para acondicionar los pulsos menores a 2 volts, esta prueba de funcionamiento mejoró el desempeño del sistema.

Las estructuras mecánicas diseñadas en este trabajo se idearon para ser fáciles de construir, con un peso y volumen óptimo, para ensamblar y desensamblar de manera sencilla, para funcionar con mecanismos simples y para construirse con materiales comerciales y de fácil adquisición. Por lo tanto, es posible decir que se cumplió con todos los requisitos.

El diseño mecánico también contempló el dispositivo de sujeción vertical, el cual se utilizó en las mediciones del haz de neutrones del reactor. En estas pruebas se ajustó la altura de la mesa de coordenadas para asegurar que el detector quedara centrado en el área de medición, con esto se comprobó que el diseño de la estructura vertical y la estabilidad de la mesa durante los barridos eran adecuados.

El gabinete portátil que se fabricó permite mover fácilmente el Posicionador puesto que puede trasladarse a otros laboratorios sin ningún problema. Como todos los componentes del sistema de medición están dentro del gabinete, el usuario solo requiere alimentar el equipo desde un tomacorriente y conectar una computadora para empezar a utilizarlo.

Generar una aplicación del programa de control que se instale en cualquier computadora con sistema operativo Windows XP o versión más reciente, permite utilizar el equipo en una gran cantidad de aplicaciones, pues únicamente se requiere instalar la aplicación y el controlador del módulo DAQ NI 6008.

El programa de control actualmente funciona para la obtención de perfiles y mediciones individuales de fuentes radiactivas, aun así, tiene la característica de ser un programa modular por lo que puede modificarse para agregar nuevas tareas y funcionalidades, lo anterior permite adaptarlo a cualquier aplicación donde se requiera el Posicionador.

Las pantallas utilizadas en la interfaz de usuario coinciden con los diferentes estados que hay en el programa, esta situación hace que el programa sea amigable para el usuario y el programador.

Los perfiles de radiación generados por el Posicionador de detectores aportarán información importante de la fuente radiactiva o el campo de radiación que se esté revisando, a través de estos perfiles se reconocerán los puntos por los cuales pasan más partículas o fotones, la

concentración de radiación y algunas otras características. Este proyecto contribuye a modificar el paradigma de que la radiación no se ve, porque contribuye a obtener perfiles de modelos y comportamientos de la radiación.

Con el desarrollo de las mediciones se apreció el valor que el sistema automatizado puede tener para un investigador, pues en algunos experimentos se requiere medir muchos puntos en un plano o bien por la baja actividad de las fuentes son necesarios tiempos de conteo largos en cada punto. En estos casos si se hace una medición manual, el personal involucrado debe estar presente y ejecutando todas las actividades además de que no se asegura la precisión de la medición. Por otro lado, con el Posicionador es posible iniciar un barrido y dejar que el sistema trabaje solo y posteriormente regresar solo a consultar los datos de la medición.

En las mediciones realizadas en el haz de neutrones del reactor se inició la prueba de barrido y se dejó el Posicionador trabajando el tiempo que estimó el programa mientras tanto los investigadores usaron el tiempo en otras actividades aunado a lo anterior se evitó la exposición del personal a radiación innecesaria. Este es un ejemplo de las ventajas que el Posicionador de detectores de radiación aportará a la comunidad científica del ININ.

El equipo es capaz de adaptarse a la medición de otras variables, la única consideración que debe hacerse para que haya compatibilidad es acondicionar la señal de salida del sensor que se pretenda instalar. El DAQ acepta señales de entrada analógicas, digitales o pulsos.

A través de los experimentos realizados en el reactor nuclear y en la medición de fuentes, se ha demostrado la utilidad del equipo en condiciones reales de operación en los laboratorios del ININ, por lo que su aplicación ayudará a mejorar los arreglos experimentales y así obtener mejores resultados.

Para utilizar el sistema aquí presentado como un medidor de la atenuación de la radiación punto por punto en un material, se podría adaptar al equipo un elemento mecánico capaz de mantener la fuente de excitación y el detector alineados, mientras que la mesa de coordenadas realiza el barrido o la medición en cierta posición.

Una manera de continuar con el proyecto, dar nuevas funcionalidades y encontrar nuevas aplicaciones sería agregar un eje adicional, perpendicular al plano actual. Esta nueva condición daría la posibilidad de generar mapas de campos radiactivos en el espacio, con los cuales se podría observar la distribución de la radiación en el espacio que rodea la fuente.

Otra opción de mejora sería la posibilidad de agregar otro tipo de sensores al sistema para poder medir diferentes variables simultáneamente, con esta opción se podrían generar planos con múltiples variables.

BIBLIOGRAFÍA

- (Aahori, 2017) Aahori, S. (2017). USA. US 2016/028796A1. U.S. Patent and Trademark Office.
- (Becerril, 2012) Becerril R, P. "Sistema Posicionador para cámara monocular utilizando motores de paso y microcontroladores para implementarse en una plataforma de celda de manufactura experimental" (Tesis de Maestría). Universidad Nacional Autónoma de México. Ciudad de México, México, 2012. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/handle/132.248.52.100/5243>
- (Bergman, 1994) Bergman, C, Pettersson, B.G. "Aplicaciones de las radiaciones y gestión de los desechos: Adopción de medidas definitivas", Boletín OIEA 1-1994, pp.36-40, Recuperado de https://www.iaea.org/sites/default/files/36104683640_es.pdf
- (Budynas, 2015) Budynas B, Nisbett J. "Shigley's Mechanical Engineering Design". Mc Graw Hill Education, USA, 2015.
- (Cabrera, 2017) Castro C, R. "Diseño de un módulo electrónico e interfaz para el control de un posicionador 3D" (Tesis de licenciatura). Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México, México, 2017. Recuperado de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/12855/Tesis.pdf?sequence=3>
- (Childs, 2004) Childs P. Mechanical Design. Elsevier Ltd, United Kingdom, 2004
- (Fadler, 2016) Fadler, F. (2016). USA. US 2016/028796 A1. Patent and Trademark Office
- (Favorite, 2016) Jeffrey A. Favorite, "The solid angle (geometry factor) for a spherical surface source and an arbitrary detector aperture", Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment, Volume 813, 21 March 2016, pp. 29-35
- (Fiset, 2009) Fiset J. "Human-Machine Interface for Process Control Applications", ISA, USA, 2009.

- (Fuentes et. al, 2015) Fuentes R, J.D, Méndez M, M. A, et al. "Diseño y construcción de un prototipo de máquina tipo cartesiano para corte y grabado láser en papel" (Tesis de licenciatura). Universidad de San Buena Aventura, Bogotá, Colombia, 2015. Recuperado de <http://biblioteca.usbbog.edu.co:8080/Biblioteca/BDigital/137798.pdf>
- (Hernández, 2015) Hernández R, F. J. "Movimiento automatizado en tres dimensiones para aplicación de tratamientos en cultivo" (Tesis de licenciatura). Universidad Autónoma del Estado de México, Texcoco, Estado de México, México, 2015. Recuperado de <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/59269/Tesis%204-split-merge.pdf?sequence=3>
- (Hibbeler, 2011) Hibbeler H. C. "Mechanics of Materials". Prentice Hall, USA, 2011.
- (Jenkins, 2018) Jenkins, J. (2018). USA. US 9872659B2. Patent and Trademark Office.
- (Klebanov, 2008) Klebanov B M, Barlam D M, Nystrom F E. "Machine Elements: Life and Design". CRC Press. USA,2008.
- (Knoll, 2010) Knoll G.F. "Radiation Detection and Measurement", Wiley, Fourth edition, USA, 2010.
- (L'Annunziata, 2007) L'Annunziata M. F. "Radioactivity Introduction and History", Elsevier, USA, 2007.
- (Landsberger, 2015) Lansberger S. "Measurement and Detection of Radiation", Hemisphere Publishing Corp. 4a Ed. USA, 2015
- (Lutz, 2001) Lutz G. "Semiconductor Radiation Detectors", Springer, Alemania, 2001.
- (Mott, 2004) Mott R. "Machine Elements in Mechanical Design". Prentice Hall, USA, 2004.
- (Naeem, 2007) Naeem A. S. "Physics and Engineering of Radiation Detection", Elsevier, USA, 2007.
- (National Instruments, 2003) National Instruments. LabVIEW User Manual,USA 2003.
- (Overby, 2011) Overby A. "CNC Machining Handbook. Building, Programming and Implementation". McGraw Hill, USA, 2011.

- (Ramírez, et al, 1998) Ramírez-Jiménez, FJ, Cerdeira, A, Aceves, M, Díaz, A, Estrada, M, Rosales, P, Cabal, A.E.; "Avances en el Proyecto sobre Detectores de Radiación de Silicio Tipo PIN", 1998. Recuperado de <http://www.iaea.org/inis/collection/NCLCollectionStore/public/32/030/32030506.pdf>
- (Ramírez, 2005) Ramírez J, F. J. "Instrumentación Electrónica para la Medición de la Radiación Nuclear" (Tesis de doctorado). Instituto Tecnológico de Toluca. Metepec, México, 2005.
- (Ramírez, 2010) Ramírez-Jiménez FJ. "Contribuciones del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares al avance de la ciencia y la tecnología de México: Instrumentación electrónica nuclear", 2010. Recuperado de: <http://www.inin.gob.mx/documentos/publicaciones/contridelinin/Capitulo%2022.pdf>.
- (Rashid, 1995) Rashid M H "Electrónica de Potencia: circuitos, dispositivos y aplicaciones", Prentice Hall, México, 1995.
- (Scarpino, 2016) Scarpino M. "Motors for makers a guide to steppers, servos, and other electrical machines" Pearson Education, USA 2016.
- (Smid, 2003) Smid P. "CNC Programming Handbook: A Comprehensive Guide to Practical CNC Programming", Industrial Press Inc, USA, 2003.
- (Sommers, 2006) Sommers C. H, Fan X. "Food Irradiation Research and Technology", Blackwell Publishing, Reino Unido, 2006.
- (Syracuse Research Corporation, 2001) Syracuse Research Corporation, "Draft toxicological profile for Americium", Atlanta, USA. 2001.
- (Teviso, 2016) Teviso, RD2014 2016. Recuperado de <https://www.teviso.com/file/pdf/rd2014-dataspecification.pdf>.
- (Travis, 2009) Travis J, Wells L. "LabVIEW for everyone: graphical programming made even easier", Prentice Hall, USA, 2009.
- (Turner, 2007) Turner J. E. "Atoms, Radiation and Radiation Protection" WILEY-VCH, Alemania, 2007.
- (Wagner 2006) Wagner F, Schmuki R, Wagner T, Wolstenholme. "Modeling Software with Finite State Machines". Auerbach Publications, USA, 2006.

ANEXOS

ANEXO A. Manual de usuario

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES

Sistema de Posicionamiento para Detectores de Radiación

Manual de usuario

Contenido

1. Introducción	3
1.1 Descripción General.....	3
1.2 Especificaciones	3
2. Partes del equipo.....	3
3. Instalación	4
4. Funcionamiento	4
5. Control	6
5.1 Menú Principal	6
5.2 Desplazamiento a origen.....	7
5.3 Posicionamiento.....	8
5.4 Barrido	9
5.5 Resultados.....	11
6. Ejemplos de Funcionamiento.....	11
6.1 Ejecutar desplazamiento al origen	11
6.2 Ejecutar Posicionamiento.....	12
6.3 Ejecutar Barrido	13
6.4 Consultar resultados	15
7. Guía de solución de problemas.....	17

1. Introducción

El sistema de posicionamiento para detectores de radiación es un equipo diseñado para obtener perfiles de campos de radiación. El equipo requiere de una computadora para controlar su funcionamiento y visualizar resultados. También es necesario equipar al Posicionador con el detector adecuado dependiendo que tipo de radiación se decida medir.

El instrumento ayuda a analizar las características espaciales de un campo de radiación. Además, es posible realizar mediciones de otros parámetros físicos si se cambia el detector.

1.1 Descripción General

El Posicionador es un instrumento versátil capaz de tomar mediciones en un campo de radiación de forma manual o automática. Se puede utilizar dentro de su gabinete para realizar mediciones en forma horizontal o para proteger la medición de factores ambientales. También es posible utilizarlo montado en su estructura vertical para tomar mediciones en un plano externo.

1.2 Especificaciones

Eléctricas.

Voltaje de alimentación: 85~234 VAC

Frecuencia de alimentación: 47-63 Hz

Corriente en espera: 200 mA

Corriente en operación: 3.8 A

Mecánicas.

Dimensiones del gabinete: 55 x 32 x 40 cm

Peso del gabinete:

Dimensiones de la estructura vertical: 60 x 25 x 25 cm

Peso de la estructura vertical: 8 kg

Desempeño.

Espacio de trabajo del Posicionador: 150 x 75 mm

2. Partes del equipo

Gabinete

Mesa de coordenadas

3. Instalación

4. Funcionamiento

Los ejes móviles usan un sistema de referencia para poder ubicar el detector en cualquier punto del espacio de trabajo. Para fijar este sistema se establece el origen cuando ambos ejes están a la mitad de su recorrido, esto causa que el espacio de trabajo esté dividido en cuatro cuadrantes como se muestra en la Fig. 1.

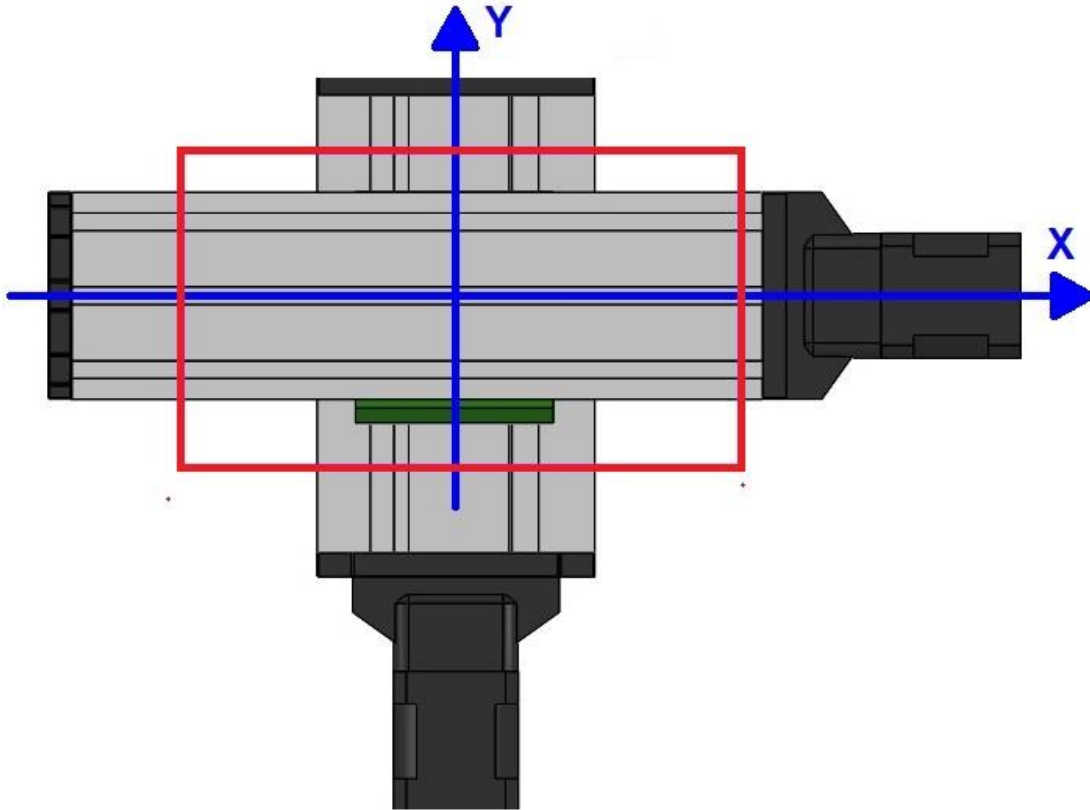


Fig. 1 Sistema de coordenadas ubicado sobre los ejes móviles.

Para posicionar el detector se utiliza la coordenada del punto al que se quiere llevar. Las coordenadas están asignadas por cada milímetro, por lo tanto, se tiene un rango en el eje x de $(-75, 75)$ y en el eje y es $(-35, 35)$. Los objetivos principales del barrido es conocer el dato en un solo punto o establecer el punto inicial para realizar un barrido.

El barrido es la medición automática de un área definida por el usuario, en este proceso el sistema mueve el detector y toma la medición de cada coordenada situada en el área de medición. Para realizar un barrido se deben especificar las dimensiones del área a medir, los parámetros a especificar son el ancho de barrido (x), alto de barrido (y) y los espacios entre

mediciones tanto en dirección x (Δx), como en dirección y (Δy). En la Fig. 2 se observa un esquema de los parámetros.

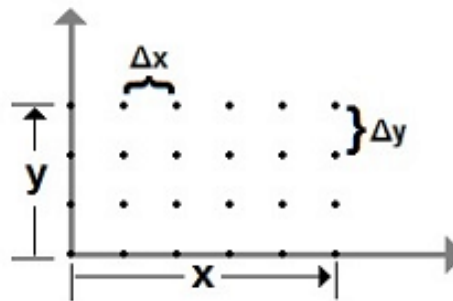


Fig. 2 Parámetros necesarios para el barrido.

Dado que el sistema es capaz de hacer mediciones en planos horizontales como verticales existen dos tipos de movimiento (ver Fig. 3) en el barrido. El Barrido 1 mejor para barridos en un plano vertical porque el esfuerzo mecánico es menor.

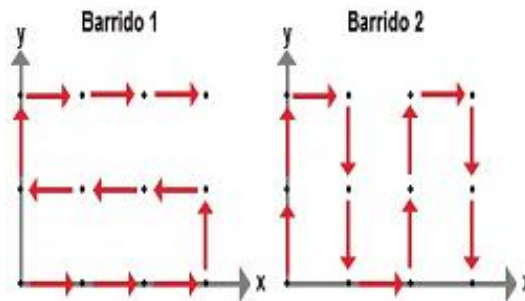


Fig. 3 Movimientos posibles para el barrido.

Los resultados de barrido se pueden visualizar en forma gráfica (ver Fig. 4), también es posible obtener el archivo de coordenadas y mediciones, esto hace posible que el usuario analice los datos como lo crea más adecuado.

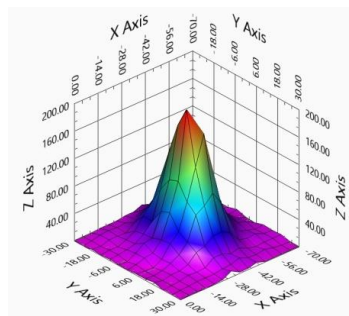


Fig. 4 Gráfica de superficie generado por el Posicionador.

5. Control

5.1 Menú Principal

En esta pantalla se puede ingresar a cada una de las funciones que componen el sistema. El menú principal tiene la función de mostrar al usuario las funciones del sistema, en la Fig. 5 se observa este menú.



Fig. 5 Menú principal

Botón “**Salir**” (1): Termina los procesos y la ejecución del programa.

Botón “**Desplazamiento a origen**” (2): Ejecuta la función de llevar al sistema al origen.

Botón “**Posicionamiento**” (3): Traslada el programa a la función de posicionamiento.

Botón “**Barrido**” (4): Ingresa a la función de barrido.

Botón “**Menú principal**” (5): Regresa al menú principal.

Indicador “**Ida a origen realizada**” (6): Indica al usuario si se ha realizado la ida a origen en la sesión de trabajo.

Los botones del 2 al 5 y el botón de “**Menú Principal**” (ver Fig. 6) son llamados botones de navegación y tienen la tarea de navegar en las diferentes pantallas de la interfaz. Estos botones aparecen en cada una de las funciones (Posicionamiento, Barrido, Resultados) excepto en Desplazamiento al origen.



Fig. 6 Botón de navegación.

Nota. Los botones de navegación aparecen sin texto en la mayoría de las pantallas, pero su icono es siempre el mismo.

5.2 Desplazamiento a origen

El desplazamiento al origen se encarga de llevar los ejes móviles hacia el punto de referencia. Con respecto a este punto se establece el origen de los ejes de coordenadas, necesarios para ubicar el detector en cualquier punto del espacio de trabajo, en la Fig. 7 se observa la posición de los ejes al llegar al punto de referencia.

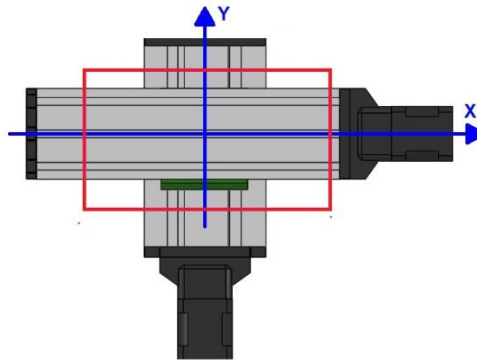


Fig. 7 Ejes ubicados en el origen

El desplazamiento es realizado desde el menú principal, posicionamiento y barrido. Después de realizarse regresa a la función que lo invocó.

La ida al origen consiste de dos fases. La fase uno mueve los ejes hacia los interruptores de límite, hasta que estos son presionados por el eje, indicando así el final de su movimiento y de la fase uno. La segunda fase hace avanzar los motores en la dirección contraria, hasta llevarlos a su posición central. En esta fase recae la necesidad de conectar los motores de manera adecuada, debido a que los ejes tienen diferente desplazamiento, si se conectan de manera inversa, no quedarán centrados al finalizar la ida al origen.

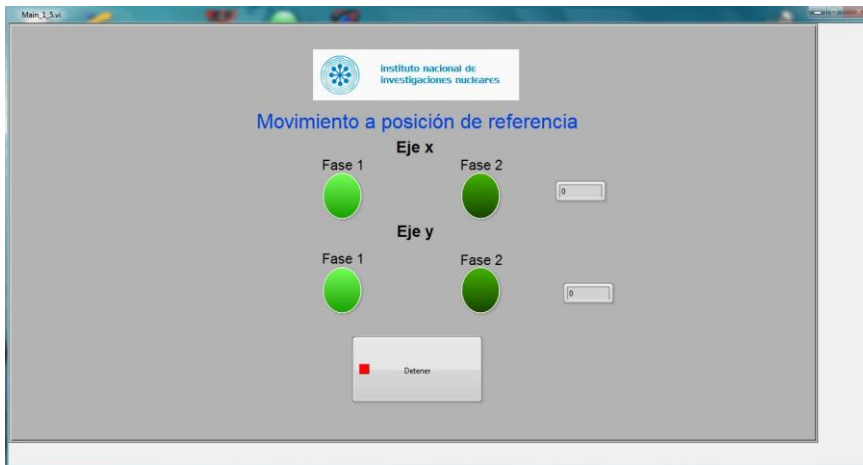


Fig. 8 Pantalla de la función ida al origen.

Indicadores LED: Muestran en qué fase se encuentra el desplazamiento al origen, hay dos LEDs por cada eje.

Botón “**Detener**”. Detiene la ejecución de ida a origen. Sirve como paro de emergencia del proceso. Cuando este botón es pulsado se envía un mensaje de advertencia.

Nota. Es importante que se deje concluir el procedimiento al inicio de una sesión de trabajo pues esto evita problemas en el funcionamiento del equipo.

5.3 Posicionamiento

El posicionamiento permite tomar una medida individual en algún punto del plano o establecer el punto inicial en que se hará un barrido. La pantalla de barrido ofrece varios controles para ajustar los parámetros de medición o para mover el detector. Para el posicionamiento, el punto central de los ejes se establece como origen y se toman los ejes cartesianos convencionales como referencia para mover el detector. La Fig. 9 muestra los controles e indicadores que la componen.

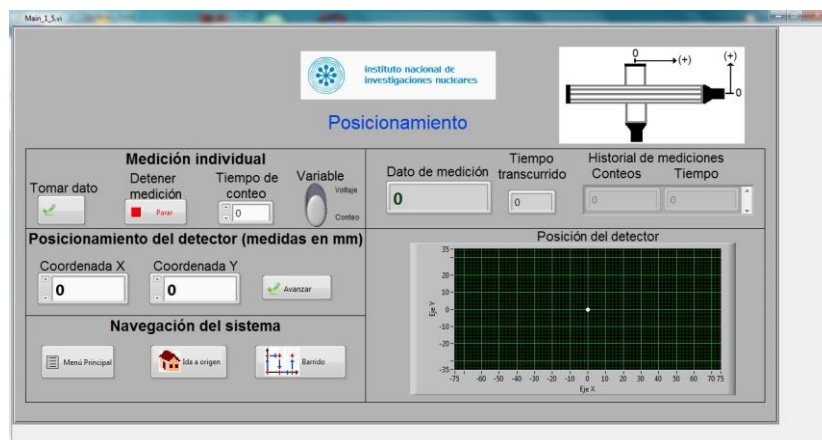


Fig. 9 Pantalla de Posicionamiento

Control de movimiento

Campo numérico “**Coordenada X**”: En este espacio se debe escribir la coordenada X a la que se desea trasladar el detector, tomando en cuenta que los ejes de coordenadas están orientados como se indica en la imagen superior derecha.

Campo numérico “**Coordenada Y**”: En este espacio se debe escribir la coordenada Y a la que se desea trasladar el detector, tomando en cuenta que los ejes de coordenadas están orientados como se indica en la imagen superior derecha.

Botón “**Avanzar**”: Al pulsar este botón se inicia el movimiento de los ejes de coordenadas para mandar el detector hacia la coordenada (X,Y) que se especificó en los campos numéricos (“Coordenada X y Coordenada Y”).

Medición

Botón “**Tomar dato**”: Al pulsarlo se inicia la medición de conteo o se toma instantáneamente el dato de voltaje.

Botón “**Detener medición**”: Solo es funcional cuando el sistema está ejecutando un conteo y es utilizado para detener dicha medición. Es útil cuando el tiempo requerido es incorrecto o cuando existe algún problema con el detector.

Campo numérico “**Tiempo de conteo**”: Aquí se especifica el tiempo en el que se realizará el conteo. Si se eligió la opción de voltaje, este tiempo es ignorado.

Indicador numérico “**Tiempo transcurrido**”: Mientras se está realizando una medición de conteo este indicador muestra el tiempo que ha transcurrido. Se detendrá en el valor que se especificó en el campo numérico “Tiempo de conteo”.

Selector “**Variable**”: A través de este se elijé que tipo de variable se medirá, puede ser el número de pulsos en un conteo a realizar o un voltaje.

Indicador “**Dato de medición**”: Muestra el valor de la medición realizada o de la última.

Tabla “**Historial de mediciones**”: Funciona como un almacén de las mediciones realizadas durante una sesión de trabajo. Estas mediciones no se guardan al salir del programa por lo que solo sirven de apoyo.

Gráfica “**Posición del detector**”: Representa el área de trabajo y muestra la posición en donde se encuentra el detector.

5.4 Barrido

Esta función se encarga de realizar una medición de radiación en forma automática sobre un plano bidimensional. Para que el funcionamiento sea el ideal se deben conocer las

dimensiones del plano donde se hará el barrido. En la Fig. 10 se observan los controles de la función de barrido.

Nota: Antes de realizar el barrido se debe posicionar el detector en la parte inferior izquierda del área rectangular a barrer (coordenada menor en X y Y).

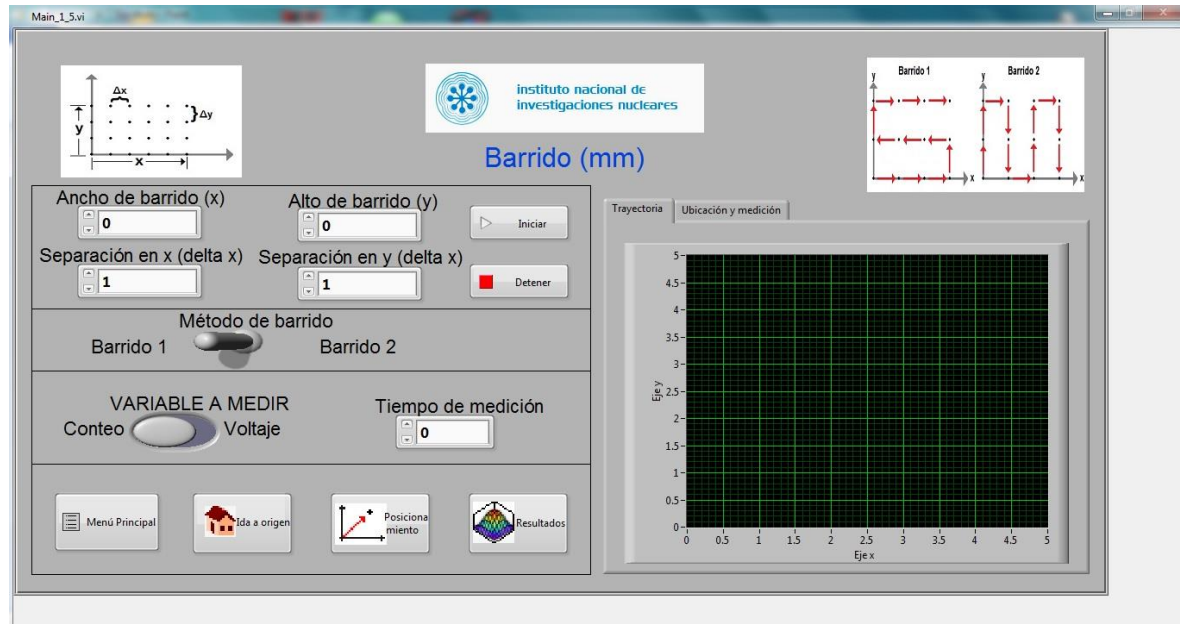


Fig. 10. Pantalla de Barrido

Configuración de barrido

Campo numérico “**Ancho de barrido (X)**”: Aquí se especifica el ancho del área a medir, debe ser especificado en milímetros.

Campo numérico “**Alto de barrido**”: La medida del alto del área a medir se especifica en este campo.

Campo numérico “**Separación en X (delta X)**”: En este campo se ingresa el valor de la distancia entre puntos consecutivos en dirección X.

Campo numérico “**Separación en Y (delta Y)**”: Su valor determina la distancia entre puntos consecutivos en dirección Y.

Nota. Una ilustración de estas medidas se encuentra en la parte superior izquierda de la pantalla de barrido.

Botón “**Iniciar barrido**”: Inicia la ejecución del barrido.

Botón “**Detener barrido**”: Detiene la ejecución del barrido.

Selector “**Variable a medir**”: Elije que variable se medirá, voltaje o pulsos.

Gráfica “**Trayectoria**”: Muestra la trayectoria por la que pasará el detector. Es útil para verificar que los datos del barrido fueron introducidos de manera correcta. Se muestra automáticamente cuando se pulsa el botón iniciar barrido.

Grafica “**Ubicación y medición**”: Sirve para monitorear el barrido, en esta gráfica se muestra la ubicación actual del detector y se pueden observar los puntos ya medidos.

Campo numérico “**Tiempo de medición**”: Si se ha elegido la opción de conteo de pulsos, aquí se especifica el tiempo de conteo para cada punto.

5.5 Resultados

Es la función que hace posible visualizar los datos de manera gráfica, tanto de barridos recién realizados como de archivos de mediciones anteriores, la función de barrido tiene su interfaz como se observa en la Fig. 11.

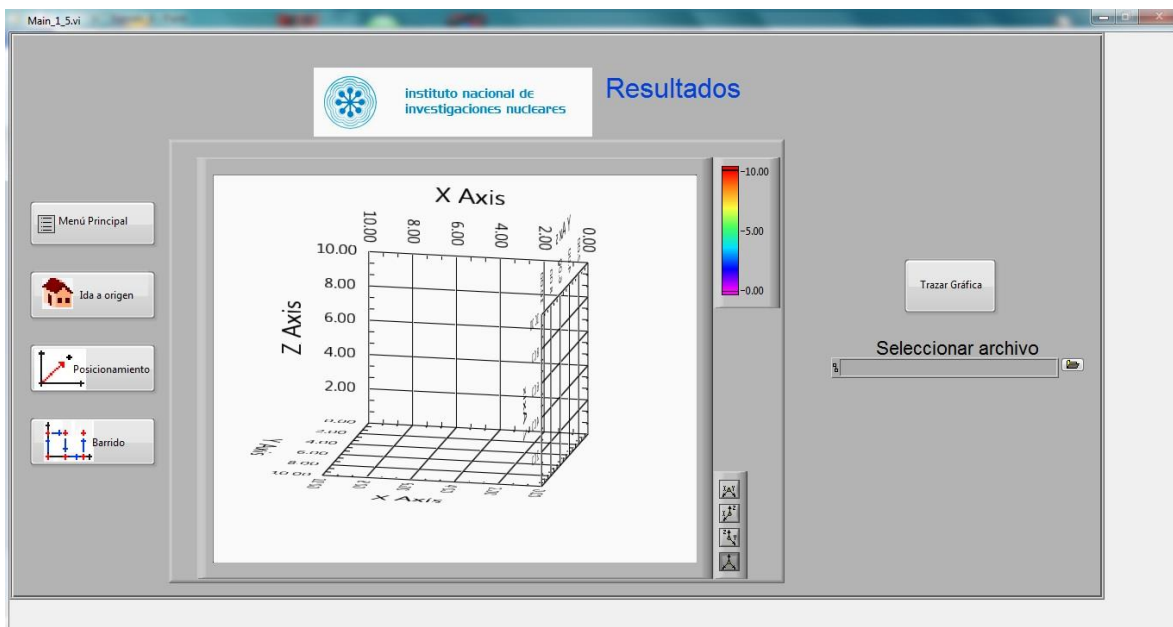


Fig. 11 Pantalla de la función de Resultados

Botón “**Trazar**”: Muestra la gráfica del archivo seleccionado en el campo “ruta de archivo”.

Campo de ruta “**Ruta de archivo**”: En este se puede escribir la ruta del archivo que se quiere graficar o seleccionar cierto archivo dando clic en la carpeta junto al campo de ruta.

6. Ejemplos de Funcionamiento

6.1 Ejecutar desplazamiento al origen

Los ejes de coordenadas tienen un interruptor de límite, que es presionado por el cuerpo del sistema móvil cuando se llega al extremo del espacio de trabajo.

Para llevar el sistema al punto de referencia, los ejes avanzan en la dirección del interruptor de límite hasta presionarlo, lo que se conoce como primera fase. Posteriormente los ejes se

mueven en dirección contraria hasta establecerse en el centro de su recorrido, lo que es conocido como segunda fase. Con este proceso se establece el origen de los ejes de coordenadas para las mediciones.

NOTA. ES INDISPENSABLE REALIZAR EL DESPLAZAMIENTO AL ORIGEN AL INICIAR UNA SESIÓN DE TRABAJO PARA EVITAR FALLAS Y DETERIORO EN EL EQUIPO.

Los pasos para realizar un desplazamiento al origen son:

1. Verificar que el espacio de trabajo de los ejes no esté obstruido.
2. Pulsar cualquier botón de desplazamiento al origen (Se distinguen por el icono de una casa como el que se muestra en la Fig. 12).



Fig. 12 Botón de ejecución de ida al origen.

3. Esperar a que las dos fases (ver fases en Fig. 13) de cada eje concluyan.



Fig. 13 Imagen de los indicadores durante las fases de la ida al origen.

Nota. Es posible detener el desplazamiento al origen en caso de cualquier emergencia, sin embargo, no es recomendable hacerlo. Al detener el desplazamiento al origen el sistema le advierte.

6.2 Ejecutar Posicionamiento

1. Ir a la función de posicionamiento
2. Ingresar la coordenada en los campos numéricos (ver la Fig. 14) y dar clic en el botón Avanzar

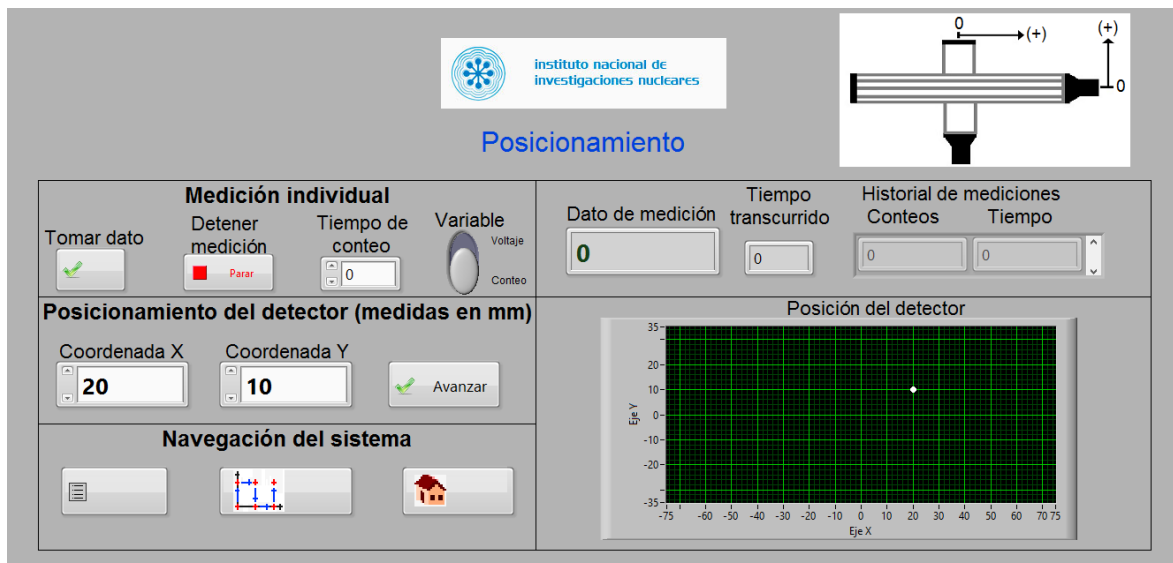


Fig. 14 Ejemplo de ingreso de coordenada a la función posicionamiento

6.3 Ejecutar Barrido

1. Ingresar a la pantalla de barrido (colocar el detector en el punto de inicio previamente con la función posicionamiento)
2. Ingresar las características del barrido a ejecutar y dar clic en el botón iniciar barrido (ver la Fig. 15)

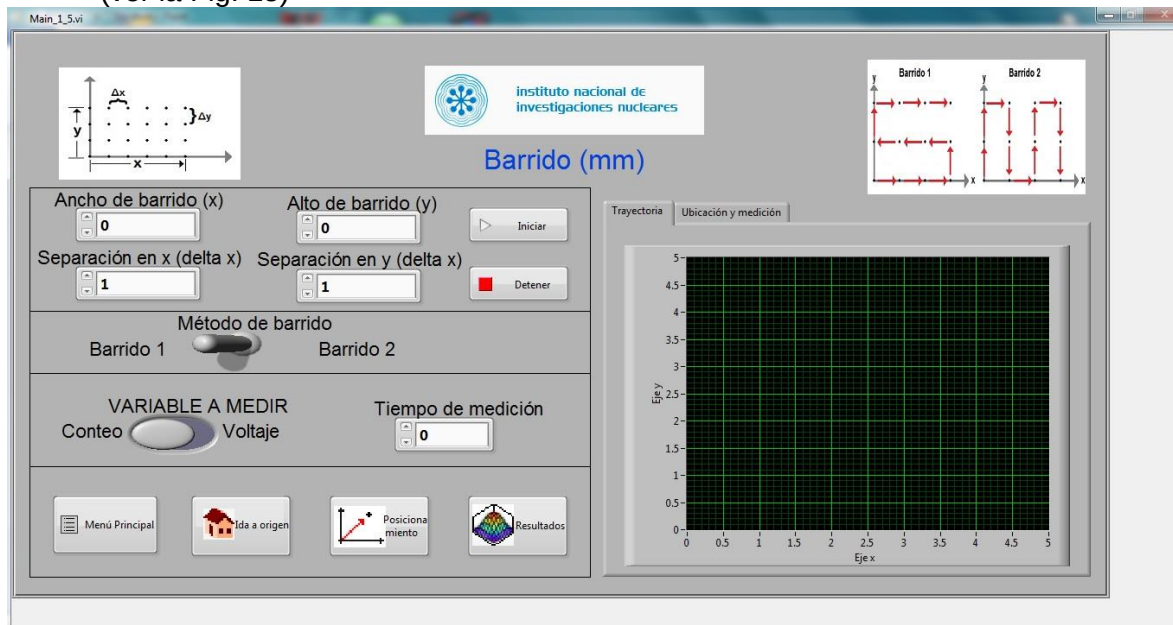


Fig. 15 Ejemplo de ingreso de parámetros al barrido

- Se mostrará un cuadro de dialogo (ver Fig. 16) con el tiempo de barrido estimado y botón de confirmación o cancelación.

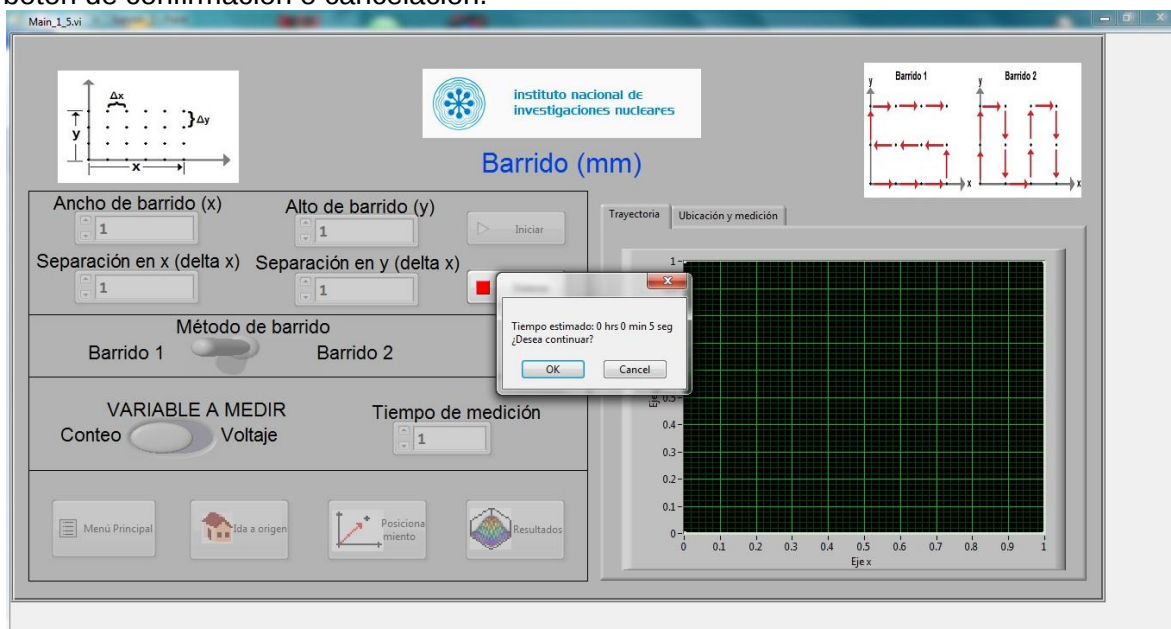


Fig. 16. Estimación de tiempo e iniciación del barrido

- Dar clic en OK. El barrido iniciará y conforme el tiempo pase se mostrarán los puntos medidos en la gráfica 'Ubicación y medición' (ver Fig. 17).

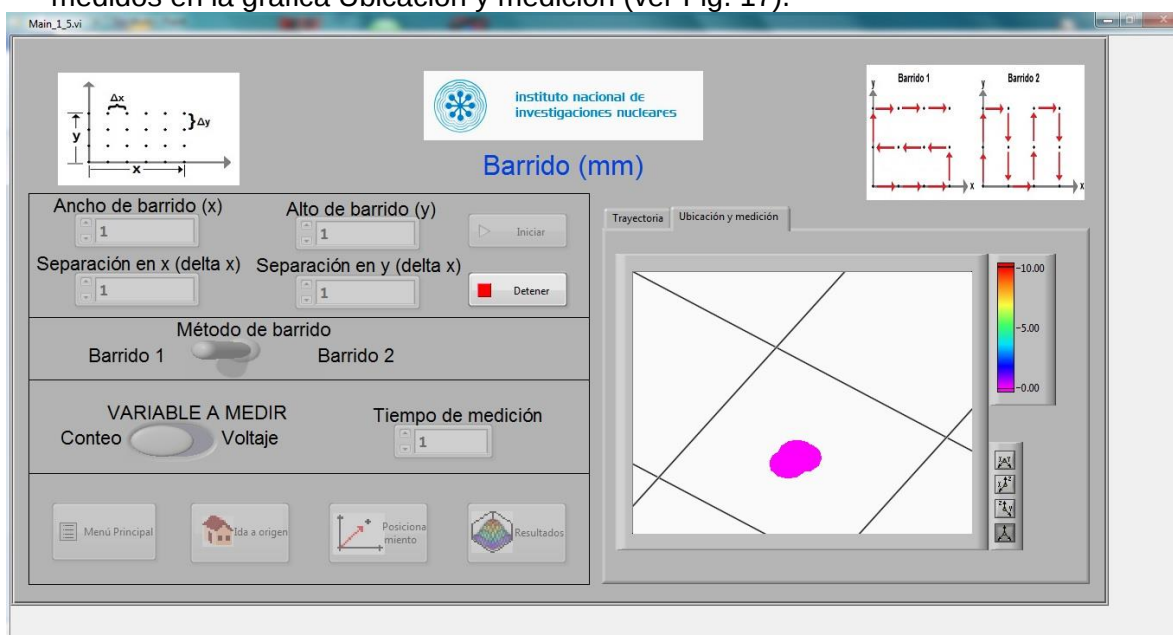


Fig. 17 Interfaz de Barrido durante la ejecución del mismo.

Note que los controles se inhabilitan para evitar conflictos con el barrido que se está ejecutando, solo se puede interactuar con el botón detener.

5. Al terminar el barrido o detenerlo se pedirá que el nombre y la ubicación del archivo, también se puede optar por no guardarlo, ver Fig. 18. **Es recomendable guardar el archivo, aunque no se haya finalizado, en caso de no guardarse en este momento ya no existe la posibilidad de recuperarlo.**

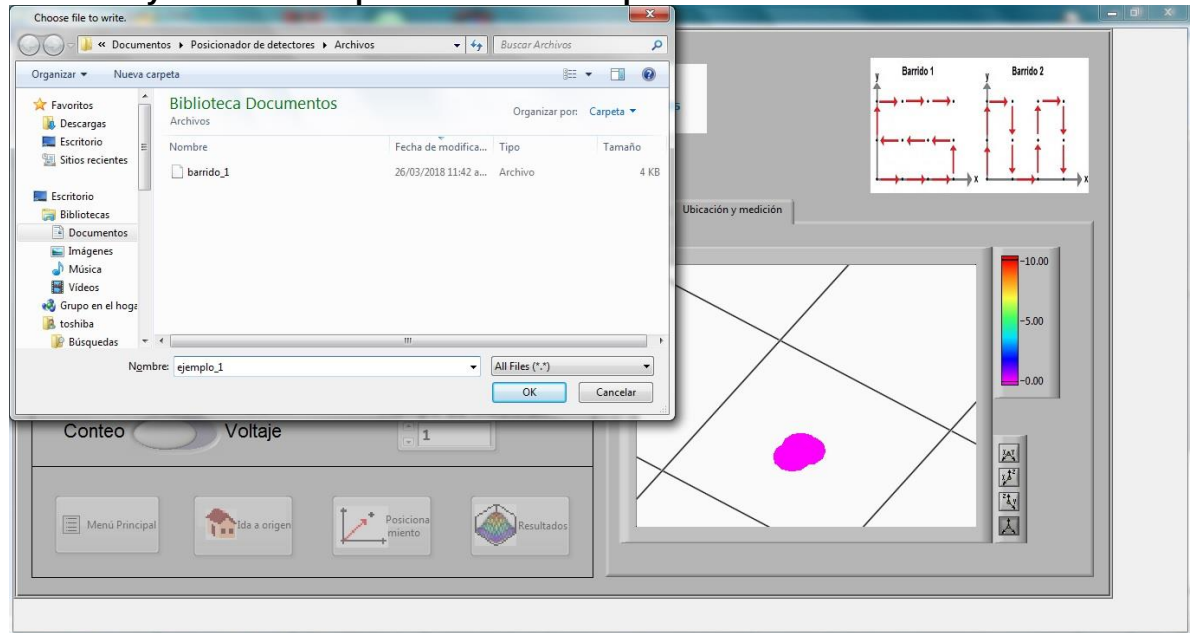


Fig. 18 Ventana para guardar archivo

6.4 Consultar resultados

1. Ir a la pantalla de resultados
2. Elegir el archivo a graficar en el "Seleccionar archivo" y dar clic en "OK" (Ver Fig. 19)

Nota. Para mayor facilidad dé clic en el botón de la carpeta, así saldrá la ventana de navegación.

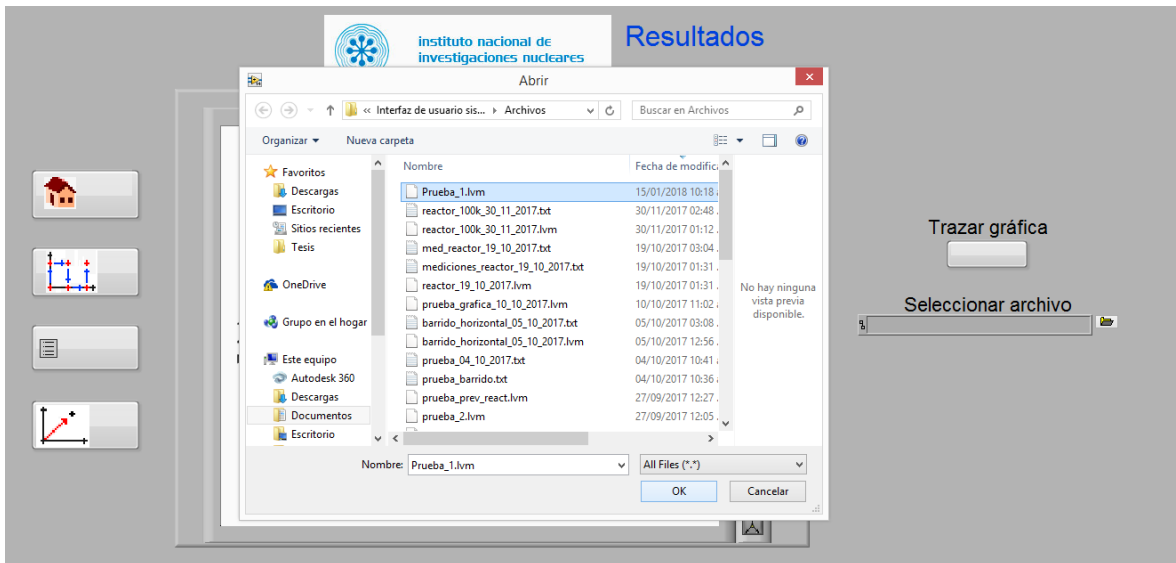


Fig. 19 Selección de archivo para graficar.

3. Dar clic en el botón trazar.

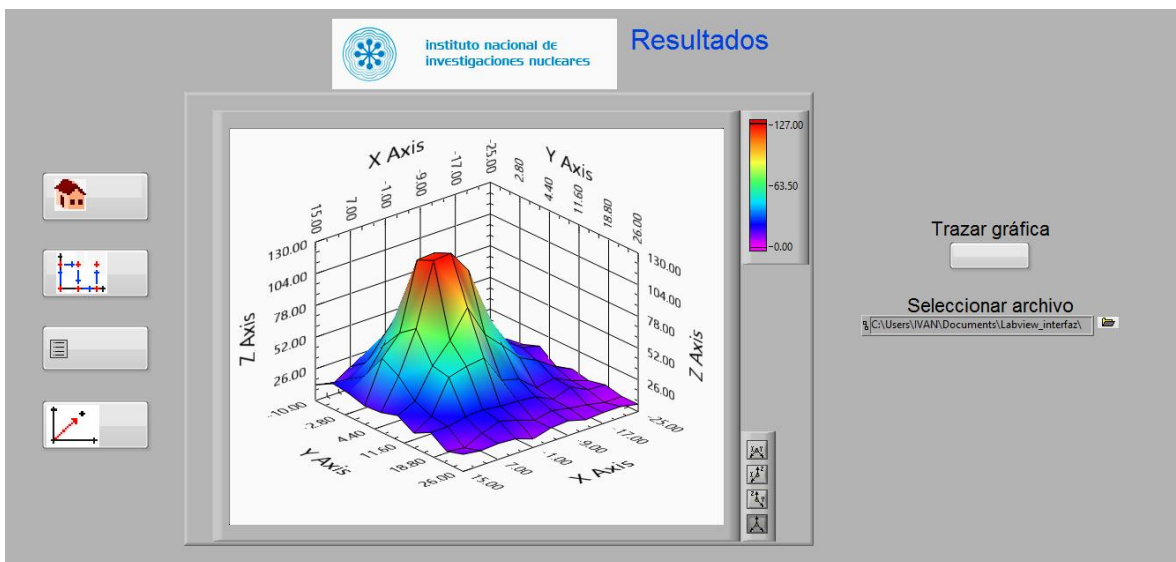


Fig. 20 Superficie graficada del archivo seleccionado

6.5 Cerrar el programa.

1. Desde cualquier lugar de la aplicación dar clic en el botón menú principal. Si se está ejecutando algún proceso (barrido, ida a origen o posicionamiento) el programa activa los botones hasta que se finaliza o el usuario lo cancela.
2. Dar clic en el botón Salir que se encuentra en la parte inferior derecha como se observa en la Fig. 21.



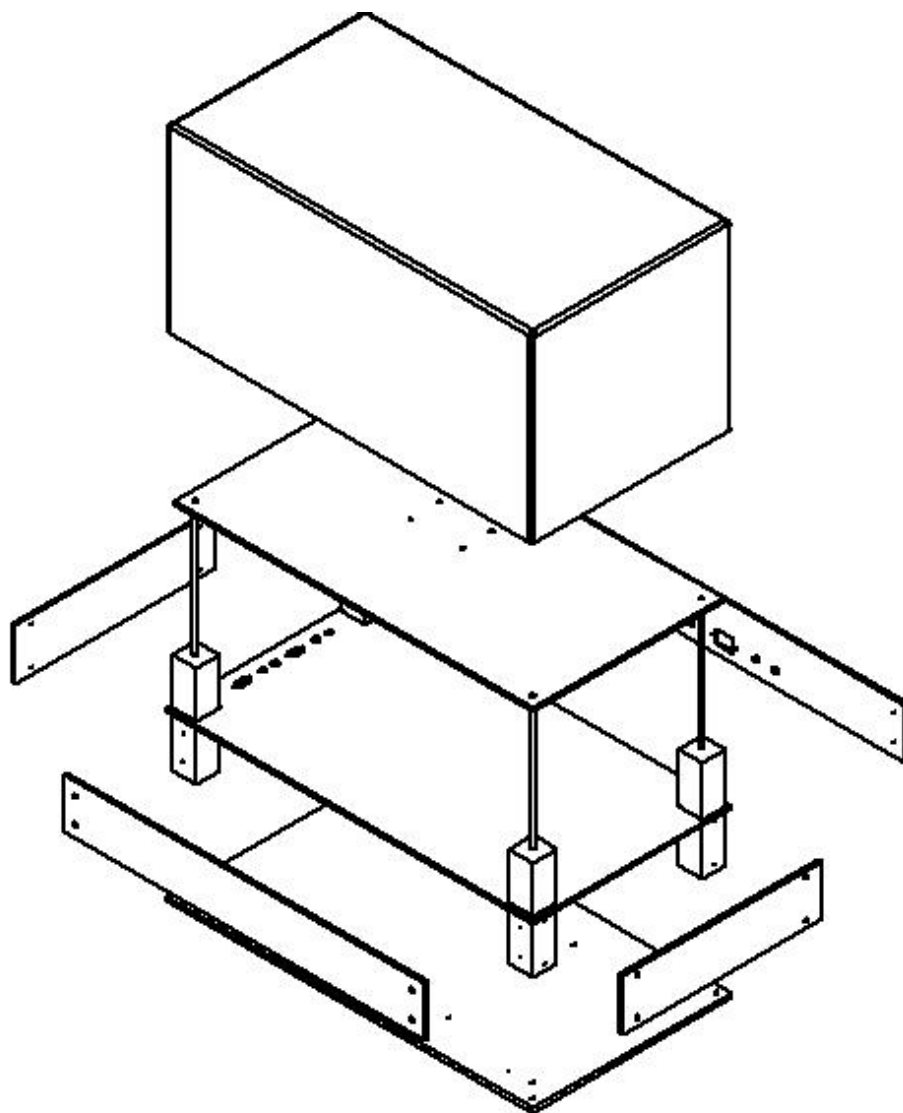
Fig. 21 Menú principal, listo para cerrar el programa

7. Guía de solución de problemas.

PROBLEMA	POSIBLE CAUSA	SOLUCIÓN
No inicia el programa	No está conectado el DAQ USB 6008	Verificar que el DAQ NI 6008 está conectado
El sistema no reconoce el módulo NI	Los controladores del DAQ USB 6008 no están instalados en la computadora	Descargar el controlador del DAQ NI 6008 de la web de National Instruments e instalarlo.
No se mueven los ejes	No están conectados los ejes al controlador de potencia	Verificar la conexión entre los ejes y el sistema
La gráfica de barrido tiene valor nulo en el eje z (medidas)	El detector no se encuentra conectado al sistema	Asegurarse de que el detector esté conectado a la entrada de señal del sistema
El eje X no alcanza el centro en al ir a	Los ejes están conectados en forma inversa	Cambiar la conexión de los motores con los conectores DB9

home y el eje Y queda en un extremo		
---	--	--

ANEXO B. Ensamble de la estructura



ANEXO C. Diagrama de flujo de la generación de coordenadas para barrido

