



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL VALLE DE TOLUCA
DIRECCIÓN DE CARRERA DE MECATRÓNICA Y SISTEMAS PRODUCTIVOS

EMPRESA:

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES

NOMBRE DEL PROYECTO:

“Diseño de equipo para la detección de la fuente “níquel ⁶³” del detector de
captura de electrones gc-2010.”

MEMORIA:

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTA:

AARÓN LÓPEZ ORTIZ

GENERACION

SEPTIEMBRE 2014 - MAYO 2016

LERMA, ESTADO DE MÉXICO, MAYO DE 2016



GOBIERNO DEL
ESTADO DE MÉXICO



UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DEL VALLE DE TOLUCA

DIRECCIÓN DE CARRERA DE MECATRÓNICA Y SISTEMAS PRODUCTIVOS

EMPRESA:

INSTITUTO NACIONAL DE INVESTIGACIONES NUCLEARES

NOMBRE DEL PROYECTO:

"Diseño de equipo para la detección de la fuente "níquel ⁶³" del detector de captura de electrones gc-2010."

MEMORIA:

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO EN MECATRÓNICA

PRESENTA:

AARÓN LÓPEZ ORTIZ

Ing. Sergio Toral Rebolledo
ASESOR INDUSTRIAL

Dr. Carlos Eduardo Díaz Gutiérrez
ASESOR ACADÉMICO

M. en C. Bernardo Hernández Alvarado
Director de la carrera de Mecatrónica y Sistemas Productivos

LERMA, ESTADO DE MÉXICO, MAYO DE 2016

CONTENIDO

Resumen.....	5
Abstract.....	6
Agradecimientos.....	7
Introducción.....	8
Capítulo 1 Identificación de la necesidad.....	9
1.1 Información de la empresa.....	9
1.1.1 ININ.....	9
1.1.2 Misión y visión del ININ.....	10
1.1.3 Historia del instituto nacional de investigaciones nucleares.....	10
1.1.4 Calidad en el ININ.....	12
1.1.5 Ubicación.....	12
1.1.6 Organigrama.....	13
1.1.7 Líneas de investigación.....	14
1.2.- Planteamiento del problema.....	17
1.3.- Justificación.....	18
1.4.- Objetivos de estudio.....	19
1.4.1 Objetivo general.....	19
1.4.2 Objetivos específicos.....	19
1.5.-Competencia Profesional.....	20
Capítulo 2 Marco Teórico.....	21
2.1 Introducción a la física nuclear.....	21
2.1.1 Estructura nuclear.....	21
2.1.2 Reacciones nucleares.....	23
2.2 Magnitudes y unidades.....	25
2.3 Detección de radiación.....	26
2.3.1 Clasificación de detectores.....	27
2.3.1.1 Detectores gaseosos.....	27
2.3.1.2 Detectores de cámara de ionización.....	27
2.3.1.3 Detectores proporcionales.....	28
2.3.1.4 Detectores geiger-muller.....	28
2.3.1.5 Detectores de centello.....	28
2.4 Irradiación y contaminación.....	29
2.4.1 Riesgos de irradiación.....	29
2.4.2 Medidas de protección contra la radiación.....	30
2.4.3 Medidas de protección interna.....	30
2.4.4 Medidas de protección individual.....	30
2.5 Legislación y normatividad nacional.....	32
2.5.1 Marco normativo.....	32
2.6 Protección radiológica.....	32
2.6.1 Marco conceptual.....	32
2.6.2 Límite de dosis anual ICRP-26 E ICRP-60.....	33
2.7 Cromatógrafo de gases.....	35
2.7.1 Ventajas.....	35
2.7.2 Limitaciones.....	37
2.8 Sensores de movimiento.....	37
2.9 Tarjeta con microcontrolador AVR (Arduino).....	39
2.9.1 Método de programación.....	40
2.10 Fuente de alimentación.....	44
2.11 Níquel.....	46
2.12 Estado del arte.....	47
Capítulo 3 Desarrollo teórico.....	48

3.1 Diagrama de flujo.....	48
3.2 Sistema	50
Capítulo 4 Desarrollo e implementación	51
4.1 Adquisición de datos	51
4.1.1 Sensor Magnético	51
4.1.2 Acelerómetro	52
4.1.3 Sensor Ultrasónico	53
4.1.4 Sensor de límite	54
4.1.5 Sensor de Vibración	54
4.2 Alarmas	55
4.2.1 Envío autónomo de alarma.....	55
4.2.2 Alarmas definidas.....	55
4.2.3 Cambio de alarma	56
4.3 Interface detector-comunicación.....	56
4.4 Circuito impreso	58
Capítulo 5 Costo - Beneficio	60
Conclusiones	61
Referencias	62
Anexos	62
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	63

Figura 1 Centro Nuclear Nabor Carrillo	11
Figura 2 Organigrama	13
Figura 3 Esfera de cobalto 60.....	16
Figura 4 Estructura atómica	22
Figura 5 Secuencia	24
Figura 6 Esquema de un cromatógrafo de gases	35
Figura 7 Sensor HC-SR04.....	38
Figura 8 Logotipo de Arduino	39
Figura 9 IDE Arduino	40
Figura 10 IDE processing	41
Figura 11 Inicio de Processing	42
Figura 12 Inicio de Arduino	43
Figura 13 Diagrama de una fuente de voltaje continuo	44
Figura 14 Diagrama básico de una fuente conmutada.....	45
Figura 15 Modelo de energía solar.....	45
Figura 16 Niquel ⁶³	46
Figura 17 Diagrama de flujo	49
Figura 18 Diagrama del sistema de detección.....	50
Figura 19 Diagrama del sistema de detección en Fritzing	50
Figura 20 Sensor Magnético GROVE.....	51
Figura 21 Diagrama del sensor magnético GROVE	52
Figura 22 Lectura de Acelerómetro y sensor ultrasónico.....	52
Figura 23 Acelerómetro analógico	53
Figura 24 Sensor ultrasónico.....	54
Figura 25 Sensor de límite	54
Figura 26 Sensor MEAS de vibración.....	55
Figura 27 Circuito impreso, imagen de Fritzing.	59
Figura 28 Plantilla de circuito impreso	59

Resumen

Se requiere diseñar un sistema que sea capaz de detectar la presencia de la fuente radioactiva de níquel⁶³, que se encuentra dentro del detector de captura de electrones gc-2010 a través del uso de la tecnología Arduino, sensores de presencia y movimiento Este a su vez debe estar intercomunicado con un sistema de localización y rastreo, para así, en conjunto ser montado dentro del laboratorio móvil de investigación y desarrollo tecnológico de sistemas y equipos de medición de radiación, gases y partículas.

El programa cuenta con una estructura de lectura de sensores, procesamiento de los datos adquiridos y ejecución de una acción en caso de ser necesaria. El sistema lo hace mediante la recepción de datos de manera autónoma, se procesan los datos y al terminar, determina si la fuente está en condiciones de operación normales, si está sometido a movimientos que puedan comprometer su funcionamiento, si se está manipulando, o ha sido extraída.

Abstract

It is necessary to design a system that is able to detect the presence of the radioactive source níquel⁶³, located within the electron capture detector gc- 2010 through the use of Arduino technology, presence sensors and motion This in turn It must be interfaced with a system of tracking and tracing , so collectively be mounted inside the mobile laboratory for research and technological development of systems and equipment for measuring radiation , gases and particles.

The program has a structure reading sensors, processing the acquired data and execution of an action if necessary. The system does this by receiving data autonomously, the data is processed and at the end, determines whether the source is in normal operating conditions, if subjected to movements that may cause undesired operation if being handled , or has It has been extracted.

Agradecimientos

A mi asesor Sergio Toral Rebolledo, por su apoyo, comentarios y observaciones brindadas a lo largo de mi estancia en el instituto.

Al Dr. Carlos Eduardo Díaz Gutiérrez, por su ayuda brindada para la realización de esta memoria.

A todos mis amigos y compañeros de la Universidad Tecnológica del Valle de Toluca, que me han acompañado y apoyado, dándome lo mejor de ellos en todo momento.

Al Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares (ININ), por permitir desarrollar me proyecto, en especial a la gente del Departamento de Electrónica, quienes estuvieron dispuestos a ayudarme en mi estancia.

A mis padres y mis hermanos, por su gran apoyo durante toda mi formación

Introducción

El Departamento de Sistemas Electrónicos del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares lleva a cabo el desarrollo de sondas de medición de gases contaminantes y de calidad del aire con tecnología propia del instituto para operar en condiciones especiales con inversión, operación y mantenimiento más económico.

De igual manera, se utiliza equipo especializado para la detección y clasificación de los gases, tal es el caso del cromatógrafo de gases, el cual, cuenta con una fuente radioactiva de Níquel 63.

Para este caso particular, el área de sistemas, debe de asegurar la seguridad del mismo, debido a que será colocado en un laboratorio móvil, estando más expuesto a robos o accidentes, para ello se pretende realizar un detector de la fuente, el cual estará informando en tiempo real las condiciones de la fuente, es decir, si la fuente ha sido manipulada, abierta, golpeada o extraída. Para ello contará con el envío de alarmas al módulo de comunicación del remolque, el cual al contar con un seguimiento GPS, se conocerá el lugar y hora de la alerta producida por el sistema de detección.

Así mismo, este contará con un respaldo de energía, el cual se diseña para continuar emitiendo la alerta, incluso si la fuente de energía principal es desconectada.

Capítulo 1 Identificación de la necesidad

Todos los grandes proyectos y creaciones, surgen de una necesidad, solo hay que observar a nuestro alrededor para darnos cuenta de cuantas mejoras se podrían realizar. Cuando se encuentra en un ambiente laboral, de igual forma podemos notar estas necesidades y depende de nosotros solucionarlas y hacerlas realidad.

1.1 Información de la empresa

1.1.1 ININ.

El ININ realiza investigación y desarrollo en el área de la ciencia y tecnología nucleares y proporciona servicios especializados y productos a la industria en general y a la rama médica en particular. Algunas de sus principales instalaciones y laboratorios son:

- Reactor de investigación TRIGA Mark III, con flujo de 10^{13} n/cm²/seg. Acelerador de protones Tandem Van de Graaff, 100 nA y 12 MeV de energía máxima.
- Acelerador de iones Tandetrón con una energía de 2MeV en terminal.
- Acelerador de electrones Pelletron 40 a 1 MV de energía máxima.
- Irradiador industrial de ⁶⁰Co de 440 kCi y razón de dosis de 3.2 kGy/h y dos irradiadores gamma experimentales, con razones de dosis de 0.58 y 0.08 kGy/h, respectivamente.
- Laboratorio de Materiales: corrosión, mecánica de fractura y pruebas no destructivas de materiales.
- Planta de Producción de Radioisótopos: se generan 27 productos marcados con ¹³¹I y ¹²⁵I, generadores de tecnecio (^{99m}Tc), con actividades de 1 mCi hasta 1.4 Ci y 14 productos para ser marcados externamente. Los usos en medicina contemplan tratamiento, diagnóstico y radioinmunoanálisis.

1.1.2 Misión y visión del ININ

Misión

Coadyuvar, al logro de una economía nacional competitiva y generadora de empleos, a la sustentabilidad del ambiente y a la seguridad energética, mediante investigación y desarrollo de excelencia en ciencia y tecnología nucleares.

Visión

Ser el recurso científico y tecnológico más prominente del Sector Energía, con reconocimiento internacional en el desarrollo de la energía nuclear y sus aplicaciones

1.1.3 Historia del instituto nacional de investigaciones nucleares.

Las aplicaciones pacíficas de la energía nuclear en México no son una actividad nueva. Además de la utilización de los rayos X desde el último lustro del siglo XIX, existen evidencias del uso de las radiaciones y radioisótopos para actividades médicas desde la segunda década de este siglo, tarea que se fortaleció durante los años cuarenta, junto con las gammagrafías para uso industrial. Dada la importancia del rubro, las tareas de investigación y formación ciencias nucleares, dieron principio formalmente en la década de los cincuentas.

El entusiasmo de distinguidos investigadores mexicanos, donde sobresale el nombre de Nabor Carrillo Flores, culminó con la fundación el 1° de enero de 1956 de la Comisión Nacional de Energía Nuclear (CNEN) visto en la figura 1, con dos campos de interés: las aplicaciones energéticas y no energéticas y los estudios en ciencias nucleares.

Para esta Comisión, el entonces presidente Adolfo Ruiz Cortínez nombró al licenciado José María Ortiz Tirado, como presidente y a los doctores Nabor Carrillo Flores y Manuel Sandoval Vallarta, como vocales. Además de estos personajes, el Consejo Consultivo quedó integrado por los doctores

Carlos Graef Fernández, Alberto Barajas Celis, Fernando Alba Andrade, el maestro José Mireles Malpica y los ingenieros Eduardo Díaz Lozada y Jorge Suárez Díaz.



Figura 1 Centro Nuclear Nabor Carrillo

Los programas con los que inició la CNEN fueron nueve: Física nuclear, Educación y Capacitación, Seminarios, Reactores, Radioisótopos, Aplicaciones Industriales de la radiación, Agronomía, Genética y Protección radiológica.

Durante la década de los sesentas, el proyecto científico más importante de México fue la construcción del Centro Nuclear en Salazar, Estado de México, iniciada en 1964. Tan solo dos años después, se contaba ya con un acelerador de iones positivos Tandem Van de Graaff y en 1968 con un reactor TRIGA Mark III, lo que, aunado a otros laboratorios, dotó al Centro Nuclear de instalaciones únicas en el país.

En 1972, la CNEN cambió su nombre a Instituto Nacional de Energía Nuclear y en 1979 con la emisión de la Ley Nuclear (reglamentaria del artículo 27 constitucional sobre la materia), la institución se transformó para crear la Comisión Nacional de Seguridad Nuclear y Salvaguardias, el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Uranio Mexicano (ya desaparecida) y la Comisión Nacional de Energía Atómica (que nunca entró en función).

Sin embargo, al cambiar de nombre, no varió el objetivo para el que fue creada nuestra institución y que hasta la fecha ha prevalecido: planear y realizar investigación y desarrollo en el campo de las

ciencias y tecnologías nucleares, así como promover los usos pacíficos de la energía nuclear y difundir los avances para vincularlos al desarrollo económico, social, científico y tecnológico del país [1].

1.1.4 Calidad en el ININ.

El Instituto debe contribuir efectivamente a las metas nacionales en ciencia y tecnología, así como ser el medio que facilite el desarrollo individual de sus integrantes. Para lograrlo, se requiere la participación comprometida de todos en un esfuerzo que permita mejorar la calidad en cada una de las acciones que realizamos y se establezca un ambiente de colaboración voluntaria que estimule el trabajo en equipo.

La Dirección General manifiesta su convicción y compromiso formal para apoyar la aplicación del Sistema de Gestión de Calidad ISO 9001: 2008, cuyo objetivo es la excelencia en las actividades institucionales y el logro de resultados que constituyan un motivo de orgullo para todos los integrantes del ININ, e invita a participar activamente en su aplicación y desarrollo a quienes más saben cómo mejorar su trabajo: los que lo realizan todos los días.

El marco normativo que rige nuestro Sistema de Calidad Institucional, constituye para el Instituto un requisito indispensable de supervivencia, en un mundo donde la competencia demanda la mejor calidad, aunada a una productividad y eficiencia que permita reducir costos para ofrecer resultados, productos y servicios no sólo satisfactorios sino también competitivos [1].

1.1.5 Ubicación.

El Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares se encuentra ubicado en el km. 36.5 de la Carretera México-Toluca s/n, La Marquesa municipio de Ocoyoacac, México

1.1.6 Organigrama.

La estructura organizacional del instituto nacional de investigaciones nucleares consta de una dirección general y cinco direcciones específicas: de administración, investigación científica, investigación tecnológica, servicios tecnológicos y el órgano interno de control. La figura 2 muestra dicha distribución interna.



Figura 2 Organigrama

1.1.7 Líneas de investigación.

Dentro de las investigaciones que se realizan en el *Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, Centro Nuclear “Nabor Carrillo Flores”*, se tienen:

- ❖ *Aplicaciones de las radiaciones a los sectores industria, salud y agropecuario:* Junto con los sectores industrial, de salud y agropecuario, el ININ desarrolla nuevas técnicas de procesamiento, producción o análisis que repercutan directamente en el beneficio de la población. Este es el caso del desarrollo de radiofármacos para la medicina nuclear, en la generación de nuevas variedades agrícolas por medio de la muta génesis, el empleo de radio trazadores para detección de fugas y en aplicaciones de preservación y tratamiento de variedades agrícolas entre otras.
- ❖ *Aplicaciones de los aceleradores de partículas:* El ININ cuenta con este tipo de instalaciones para realizar Investigación en la física de las partículas de alta energía y sus interacciones con la materia. Esto permite utilizar técnicas analíticas atómicas para identificar contaminantes, examinar piezas arqueológicas y estudiar muchos otros materiales en diferentes disciplinas científicas.
- ❖ *Ciencias nucleares:* El ININ genera nuevo conocimiento a través de investigaciones básicas y aplicadas sobre las reacciones nucleares. Se busca desarrollar nuevas técnicas o mejorar las existentes dirigidas a nuevos métodos de análisis, productos o servicios en relación con los núcleos átomos.
- ❖ *Ecología y protección del medio ambiente:* Contar con el personal capacitado, instalaciones y equipo altamente especializado para la realización de estudios relacionados con la calidad del aire y el rastreo y determinación de contaminantes en la atmósfera, en aguas y en suelos aplicando técnicas nucleares, como el análisis por activación neutrónica (AAN) o técnicas PIXE (Proton Induced X-ray Emission), RBS (Rutherford Backscattering Spectroscopy) y NRA (Nuclear Reaction Analysis).

- ❖ *Fuentes energéticas:* Investigación y desarrollo en el aprovechamiento óptimo de las fuentes de energía convencional. El ININ realiza investigación para el aprovechamiento sustentable de fuentes alternas de energía, como el hidrógeno.
- ❖ *Gestión de desechos radiactivos:* El ININ posee instalaciones para disponer en forma segura de los materiales nucleares y radiactivos sobrantes de los procesos de investigaciones, industriales y de las aplicaciones en medicina, asegurando su disposición final y la debida protección al medio ambiente.
- ❖ *Materiales nucleares y radiactivos:* Gracias al personal, conocimiento e instalaciones, el ININ se ha consolidado como centro de entrenamiento y capacitación en la manipulación, aseguramiento, estudio y resguardo de materiales nucleares y radiactivos. el manejo de dichos materiales.
- ❖ *Química y Radioquímica:* El ININ cuenta con los laboratorios equipados y con el personal calificado en el procesamiento químico de sustancias radiactivas para la realización de investigaciones acerca de las propiedades y aplicaciones tecnológicas de estas sustancias.
- ❖ *Radiobiología y genética:* El propósito es realizar investigación básica y aplicada sobre el comportamiento y afectación de los organismos biológicos sujetos a radiaciones nucleares, con el objeto de establecer los niveles de daño sufrido en las estructuras biológicas internas como, por ejemplo, en la cadena del DNA, además de estudiar los efectos en la producción de radicales libres y establecer los criterios que permitan extrapolar estos conocimientos en organismos superiores.
- ❖ *Seguridad Nuclear y radiológica:* El ININ es un referente a nivel nacional y regional en la asesoría para la implantación de las medidas adecuadas de manipulación y resguardo de materiales nucleares y radiactivos, de la seguridad para el traslado a través del país y en el manejo de contingencias para la protección a la población y medio ambiente.

- ❖ *Tecnología de reactores nucleares:* Especialistas del ININ participan activamente con la comunidad internacional en el desarrollo de los reactores nucleares de cuarta generación, así como de realizar investigación básica para el aprovechamiento de la energía nuclear de fusión, representada en el instituto con la esfera de cobalto-60 de la figura 3.



Figura 3 Esfera de cobalto 60

1.2.- Planteamiento del problema

La era nuclear, surge con la detonación de las primeras bombas nucleares en Hiroshima y Nagasaki el 6 y 9 de agosto de 1945.

Esto implicó que la gente asocie el material radioactivo, con un hecho catastrófico, y no es para menos, debido a que aún hoy en día, podemos observar que medios terroristas busquen la adquisición de dicho material, para utilizarla en sus actos.

Con ello, muchos grupos delictivos, buscan de igual manera adquirir fuentes radioactivas, con fin de herir y causar pánico, como lo menciona Forbes México el 4 de diciembre de 2014 (<http://www.forbes.com.mx/roban-camion-con-material-radioactivo-en-mexico/>), Excélsior, el 28 de febrero del 2018 (<http://www.excelsior.com.mx/nacional/2016/02/28/1077869>), para ello, al utilizar fuentes de este tipo, se desea contar con la mayor protección y esto para el Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares es indispensable. Actualmente no existe en instituto, un sistema capaz de mantener seguras las fuentes radioactivas móviles, siendo estas indispensables para la detección de algunos componentes del ambiente.

Tal es la función del cromatógrafo de gases, el cual, se encuentra dentro de un remolque y cuenta con una pequeña fuente de Níquel ⁶³, el cual desprende irradiación del tipo β

1.3.- Justificación

El Departamento de Sistemas Electrónicos del Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares lleva a cabo el desarrollo de trabajos que implican la automatización de sistemas y procesos dentro y fuera del instituto.

Actualmente se tiene autorizado un proyecto de CONACYT No. 213864 “Desarrollo de una red de medición optimizada de gases contaminantes en plantas de generación eléctrica”, como parte de este proyecto, se construirá un laboratorio móvil de investigación y desarrollo tecnológico de sistemas y equipos de medición de radiación, gases, partículas con tecnología propia. Este laboratorio estará integrado por sensores, analizadores y equipos de cromatografía de gases y acoplados a masas, para análisis de trazas de alta precisión y repetitividad utilizando un detector de captura de electrones. Dicho detector integrará una fuente de Níquel ⁶³ y necesitará contar con un sistema que permita detectarla y también será necesario ubicarla y en su caso localizarla vía GPS y prevenir casos de pérdida de la misma.

1.4.- Objetivos de estudio

1.4.1 Objetivo general

Diseñar equipo para la detección de la fuente “níquel 63” del detector de captura de electrones gc-2010 mediante el uso de una tarjeta con tecnología Arduino, con la que se pretende evitar el robo de fuentes radioactivas.

1.4.2 Objetivos específicos

- Desarrollar a través de una tarjeta de desarrollo con tecnología Arduino un sistema de detección mediante el uso de diversos sensores, para asegurar una buena confiabilidad.
- Medir el valor de los sensores
- Accionar dispositivo de alarma al mover la fuente
- Accionar alarman audible y visual (opción externa)

1.5.-Competencia Profesional

“Desarrollar proyectos de automatización y control, por medio del diseño, administración y aplicación de nuevas tecnologías para satisfacer las necesidades del sector productivo.”

Para el desarrollo del sistema, es necesario la aplicación de tecnología moderna en microcontroladores y tarjetas de desarrollo, creando un dispositivo capaz de cumplir con los requerimientos necesarios solicitados por el departamento de electrónica del instituto.

Planear el desarrollo es esencial para la correcta administración del tiempo y los recursos

Capítulo 2 Marco Teórico

Debemos tener en cuenta las capacidades de los componentes, así como conocer su funcionamiento y operatividad de cada uno de ellos

2.1 Introducción a la física nuclear

2.1.1 Estructura nuclear

“Actualmente se sabe que toda la materia conocida en la naturaleza está formada por átomos. Para los fines de protección Radiológica, será suficiente considerar que los átomos están formados por partículas subatómicas. Hasta la fecha, se ha descubierto un gran número de estas partículas, sin embargo, solo cinco de ellas son de importancia en nuestro caso: electrón, protón, neutrón, positrón, fotón. El neutrino y antineutrino tienen una importancia secundaria. Sus características se describirán posteriormente.” (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 2008)

Los átomos son partículas eléctricamente neutras que poseen un núcleo donde está concentrada la mayor parte de la masa. El núcleo está constituido por protones y neutrones (excepto el hidrogeno-1 que solo contiene un protón sin neutrones); la carga eléctrica del núcleo es positiva y se debe únicamente a los protones ya que la carga eléctrica neta de los neutrones es cero. La carga negativa necesaria para lograr que el átomo sea neutro es proporcionada por los electrones, cuya masa es mucho menor que la del protón, pero con carga eléctrica de la misma magnitud y signo opuesto. El átomo, por lo tanto, consiste de un número determinado de protones y del mismo número de electrones. Cuando hay diferencia entre ellos, es decir, si el número de electrones es mayor o menor que el de protones, al conjunto se le denomina ion negativo o ion positivo respectivamente.

Los electrones se encuentran girando en la región del espacio que rodea el núcleo, aunque su movimiento no es tan relativamente simple como el de los planetas alrededor del sol. En los modelos más simplificados se supone que los electrones hacen las veces de los planetas y el núcleo corresponde al sol, pero actualmente se sabe que esto no se apega a la realidad. No obstante, bajo ese modelo se logra tener una visión de conjunto que sirva para agrupar a los electrones en capas, donde cada una de ellas tiene un nivel de energía definido y un número máximo, también definido, de electrones que puede contener. Estas capas u orbitales se

designan con una letra de la K a la Q como se muestra en la figura. 4. Cada capa representa un diferente nivel de energía. Se requiere cierta cantidad de energía para separar a un electrón de la capa en que se encuentra, siendo mayor esta cantidad para las capas internas que para las externas, es decir, los electrones de la capa K están más ligados al núcleo que los de la capa L y estos, a su vez, están más ligados y son más difíciles de separar que los de la capa M y así sucesivamente. Por supuesto, no todos los átomos poseen capas de la K a la Q, eso depende del número de electrones que contenga. Este, a su vez, depende de un conjunto determinado de números llamado cuánticos, aunque no se profundizará en su descripción.

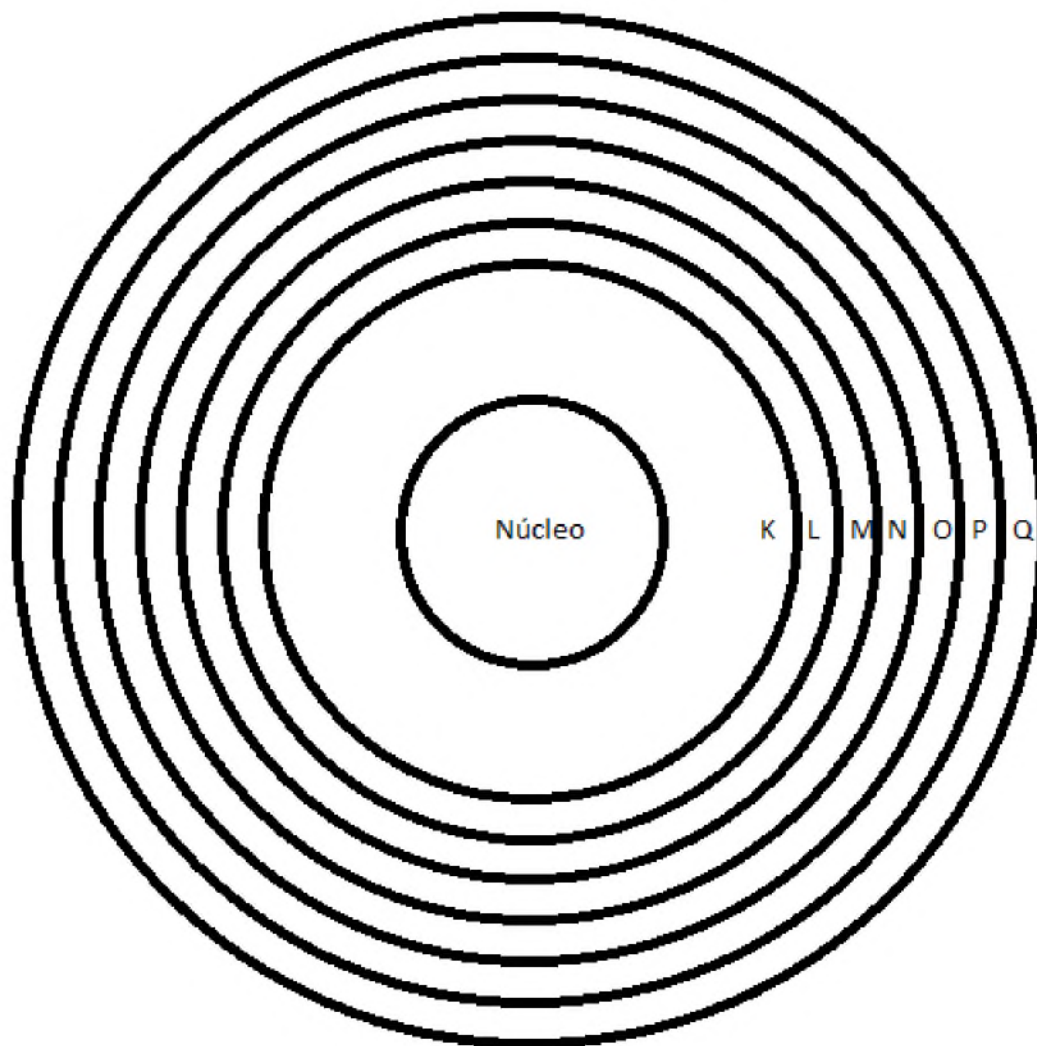


Figura 4 Estructura atómica

“Los electrones se encuentran colocados en su posición en estados de energía característicos de cada elemento. Esto significa que para separar un electrón de un átomo de un nivel u orbital determinado se requiere siempre la misma cantidad de energía y así para cualquier átomo del mismo elemento.” (OIEA, 1977)

Los electrones se mantienen unidos al núcleo por medio de fuerzas de atracción electromagnéticas entre los electrones y los protones.

Las variadas formas que presenta la materia, se deben únicamente a que los átomos que la constituyen son diferentes. Tomemos como ejemplo al agua y al aire: el agua está formada por dos átomos de hidrogeno y uno de oxígeno mientras que el aire es una mezcla de átomos de oxígeno y nitrógeno y otros en menor cantidad. Pero aún más, existen variedades dentro de un mismo tipo de átomos, ya que por ejemplo, para el hidrogeno se conocen tres variantes: el propio (hidrogeno-1, el deuterio (hidrogeno-2) y el tritio). Cuando una molécula de agua contiene deuterio se denomina agua pesada y algunas de sus propiedades son diferentes a las del agua común llamada agua ligera.

Por lo tanto, todas las propiedades y características de la materia se deben a diferentes combinaciones de átomos que la componen. Las moléculas se forman simplemente cuando dos o más átomos se unen compartiendo electrones.

2.1.2 Reacciones nucleares

“Cuando un núcleo radioactivo emite algún tipo de radiación se dice que sufre una reacción nuclear espontanea, pero existen reacciones nucleares inducidas por medio de un bombardeo con partículas o fotones; cuando un núcleo se transforma en otro debido a la interacción con alguna partícula o fotón se dice que sufre una transmutación y es un tipo de reacción nuclear muy importante ya que el núcleo producto de la reacción puede ser radioactivo y las partículas o fotones emitidas pueden causar otras reacciones.” Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 2005

En una reacción nuclear típica tenemos un núcleo blanco que interactúa con una partícula o fotón llamado proyectil; la reacción está formada por tres etapas fundamentales e

involucrando cinco componentes por lo menos, de acuerdo con la siguiente secuencia de la figura 5:



Figura 5 Secuencia

El núcleo blanco es cualquier núcleo, desde uno de hidrogeno hasta los más pesados como uranio.

La partícula proyectil puede ser una partícula alfa, beta o bien fotones gama, un protón, un deuterón o un neutrón. Como fuentes de partículas proyectil se tienen a los aceleradores de partículas, al decaimiento radioactivo o una reacción de fisión.

El núcleo compuesto está constituido por el núcleo blanco más la partícula proyectil y tiene una insistencia muy corta, aproximadamente 10^{-12} segundos. La energía en exceso debido a la partícula proyectil se distribuye uniforme mente en todo el núcleo blanco. El núcleo o núcleos producto son las especies nucleares que se forman por la ruptura de núcleo compuesto.

La partícula o partículas producto pueden ser cualquier tipo de partículas subatómicas como neutrones, protones, etc. Y se pueden incluir también a los fotones gamma.

En la mayoría de las reacciones nucleares que involucren cambios de energía del orden de unos cuantos MeV se puede aplicar tres principios fundamentales:

- a) Conservación del número de masa. El número total de nucleótidos incluso en el sistema inmediatamente de la reacción es igual al número de nucleótidos inmediatamente después de la reacción.
- b) Conservación del número atómico. El número de protones se mantiene constante ya que no hay transformación de protón a neutrón ni de neutrón a protón; como consecuencia, el número de neutrones también permanece constante.
- c) Conservación de la energía. La energía total del sistema antes es igual a la energía después de la reacción. Es necesario hacer la observación de que la masa y la energía son equivalentes de acuerdo con la ecuación de Einstein y que las reacción nucleares siempre existe una liberación o absorción de energía, la cual es denotada por el termino Q y se añade del lado derecho de la reacción junto con los productos; el termino Q es llamado energía de la reacción y comúnmente se le nombra como Q de la reacción. Si al calcular el término Q este resulta positivo significa que hubo liberación de energía y si Q es negativa entonces hubo una absorción de energía. El valor de Q se puede calcular a partir del cambio en la masa de los reactivos con respecto a los productos y aplicando la equivalencia de masa a energía obtenida a partir de la ecuación de Einstein.

2.2 Magnitudes y unidades

“La realización de mediciones, además de constituir una necesidad, ha sido un factor importante en la evolución de la humanidad. Sin las mediciones no habría sido posible lograr el avance y desarrollo de las ciencias y la tecnología, de la industria y la agricultura, etc. y, en forma general, de multitud de actividades humanas.” (IAEA, 1985)

El desarrollo científico y tecnológico, además de aumentar cada vez más la cantidad de magnitudes a medir, requiere también de cada vez mayor exactitud y precisión en su cuantificación. Es necesario medir magnitudes tales como tiempo, longitud, masa, presión, dureza, energía, potencia, concentración, voltaje, etc. y podrán agregarse muchas más. En consecuencia la importancia de las mediciones en diversas áreas de actividad, no solo se mantendrá, si no que habrá de incrementarse.

Aun cuando la cantidad de magnitudes a medir es muy extensa y su naturaleza y los métodos correspondientes de medición son muy diversos, tal medición en cualquier magnitud física se reduce a la determinación experimental de la relación entre la magnitud dada y otra semejante admitida y definida como unidad. Por lo tanto, el resultado de una medición constara de un número y una unidad; esta nos indica la referencia con la cual se compara la magnitud física mientras que el numero indica cuantas veces es este mayor, menor o igual que la unidad. Por ejemplo, el resultado de medir la distancia entre dos puntos dados podría escribirse como 0.95m o 1.0389 yardas. En el primer caso la unidad de referencia es el metro y en el segundo es la yarda. Para transformar una unidad en la otra es necesario conocer la relación entre ambas, como en este caso, donde se sabe que 1yarda = 0.9144 metros.

“Aun en la actualidad y por diferentes razones, entre ellas históricas o de comodidad, se continua utilizando un gran número de unidades que no forman parte del sistema internacional algunas de importancia son las indicadas en la siguiente tabla.” (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 2008)

Tabla 1 de magnitudes físicas más utilizadas (ININ, 2008)

<i>MAGNITUD FÍSICA</i>	<i>UNIDAD</i>	<i>EQUIVALENCIA SI</i>
<i>Tiempo</i>	<i>Minuto(min)</i>	$1min = 60s$
<i>Tiempo</i>	<i>Hora(h)</i>	$1h = 3600s$
<i>Tiempo</i>	<i>Día (d)</i>	$1d = 86400s$
<i>Tiempo</i>	<i>Año(a)</i>	$1a \approx 3.169 \times 10^7 s$
<i>Energía</i>	<i>Erg</i>	$1erg = 1 \times 10^{-7} J$
<i>Potencia</i>	<i>Caballo de potencia (hp)</i>	$1hp = 746W$
<i>Temperatura</i>	<i>Grados Centígrado (°C)</i>	$T(K) = T(^{\circ}C) + 273.15$ $1^{\circ}C = 1K$
<i>Cantidad de sustancia</i>	<i>Kilogramo-mol(kg mol)</i>	$1kgmol = 1000mol$

2.3 Detección de radiación

El trabajo con radiación invariablemente involucra la determinación de varias magnitudes. Cuando se requiere determinar la presencia de radiación en un lugar, la intensidad, el tipo

específico de radiación, su energía y algunas otras que se estudiaran posteriormente se necesita un detector y algún equipo adicional.

Una vez definido el objetivo que se persigue, se debe elegir y utilizar el equipo adecuado, además de interpretar correctamente los resultados obtenidos. Para esto se necesita, entre otras cosas, conocer los principios y fundamentos de los detectores y algunos de los aspectos básicos y más simples de la electrónica asociada.

Cualquier detector basa su funcionamiento en la interacción de la radiación con la materia y, en consecuencia, existe una multitud de tipos de detectores que satisfacen las más diversas necesidades.

2.3.1 Clasificación de detectores

2.3.1.1 Detectores gaseosos

La idea fundamental en la que se basan su funcionamiento estos detectores es la siguiente: entre dos electrodos (que pueden ser dos placas planas paralelas, dos cilindros concéntricos, etc.), a los cuales se les aplica una diferencia de potencial V_0 , existe un gas a cierta presión y todo el arreglo está contenido en un recipiente apropiado. La incidencia de radiación puede provocar en el gas, de manera directa o indirecta, procesos de ionización y movimientos de cargas hacia los electrodos de tal forma que al colectarse las cargas o iones generados pueden obtenerse señales que indican la presencia de dicha radiación.

De acuerdo con la magnitud de la diferencia de potencial aplicada, estos dispositivos presentan comportamientos diferentes, los cuales de manera simplificada se analizan a continuación aplicados fundamentalmente a una geometría cilíndrica.

2.3.1.2 Detectores de cámara de ionización

Este tipo de detectores funciona en la región de la saturación en una de sus características es que la señal que producen es pequeña por lo que se requiere de equipo electrónico adecuado para su utilización. Para medir exposición se usa aire como gas de trabajo, pero en otros casos se emplea argón u otro gas. La presión puede ser aproximadamente igual a una atmósfera. La geometría del dispositivo puede ser la de placas paralelas, la cilíndrica u otras. En general,

el tipo de gas la presión y la geometría son dependientes de la aplicación y a su vez, la diferencia de potencial utilizada en función de estas variables.

2.3.1.3 Detectores proporcionales

Funciona en la región proporcional y la señal de salida es mayor que para la cámara de ionización. Permite detectar tanto la incidencia individual de radiaciones, como su energía. Los gases de trabajo, la presión son dependientes del uso que se dé y el valor de la diferencia aplicada en función de estas variables. Pueden ser de utilidad para detectar alfas, betas o fotones de bajas energías, así como para mediciones de bajos niveles de radiación alfa.

2.3.1.4 Detectores geiger-muller

Funcionan en la región del mismo nombre y la señal de salida es aún menor que para los proporcionales debido a los efectos de amplificación producidos por las avalanchas. Permite detectar radiaciones individuales pero no determinar sus energías ya que las señales de salida poseen aproximadamente la misma amplitud. Los gases de trabajo son generalmente gases nobles, la presión y las geometrías son dependientes del uso que se persigan y el valor de la diferencia de potencial aplicada en función de estas variables. Estos detectores son multipolares debido a su simplicidad, facilidad de manejo y bajo costo y son utilizados como contadores o monitores para alfa, betas y fotones así como para mediciones de rapidez de exposición.

2.3.1.5 Detectores de centello

Cualquier detector de centelleo consta de dos componentes básicos: un centellador y un tubo fotomultiplicador, los cuales están contenidos en cubiertas adecuadas. A partir de esto se puede entender la idea fundamental de su funcionamiento que consiste en lo siguiente: al incidir una radiación sobre el centellador pueden ocurrir interacciones, tales como las estudiadas con anterioridad, que provocan que la energía de aquella sea transformada en fotones de energías de alrededor de las de la luz visible dichos fotones son guiados hacia el fotocátodo, donde, al interaccionar por efecto fotoeléctrico, producen electrones libres o fotoelectrones, los que son atraídos, enfocados y aumentados en número por una serie de elementos llamados dinodos sometidos a un potencial cada vez más positivo. Finalmente son colectados y se emite una señal positiva.

2.4 Irradiación y contaminación

2.4.1 Riesgos de irradiación

“La radiación se puede definir como la acción de recibir radiación ionizante. Se entiende por irradiación externa la que recibe el organismo por fuentes exteriores al mismo. El riesgo dependerá de la dosis, del tipo de radiación y de su energía o su poder de penetración. Por esto, los fotones X o gamma y los neutrones son los tipos de radiación que constituyen el peligro más común de irradiación externa.” (Instituto Nacional de Investigaciones Nucleares, 2008)

Para la radiación alfa no se considera riesgo, ya que es completamente absorbida por la capa muerta de la piel. Las partículas beta pueden o no representar peligro externo, dependiendo de su energía, ya que como son absorbidas por espesores relativamente pequeños de tejido, la dosis que producen afectara la piel y a los órganos externos fundamentalmente, pues la mayoría de los emisores beta que se utilizan con mayor frecuencia producen partículas de no muy alta energía. Los fotones X o gamma, cuando tienen energía suficiente, penetran profundamente en el organismo irradiando cualquier órgano y por su tan ampliamente difundido requieren de especial atención. Los neutrones se consideran el tipo de radiación más peligrosa, tanto por ser los más difíciles de detectar como por su efecto sobre los tejidos, ya que al interactuar con los átomos de hidrogeno producen protones cuyo elevado poder de ionización causa un daño muy localizado.

Las fuentes radiactivas, de acuerdo con el uso que se les vaya a dar se les pueden clasificar como fuentes selladas y fuentes abiertas o no selladas.

En el primer caso, el material radiactivo esta contenido dentro de una capsula con la resistencia mecánica suficiente para impedir que haya contacto entre él y el medio o que se disperse. De este tipo son las fuentes utilizadas en radiografía industrial.

Las fuentes no selladas son aquellas que bajo las condiciones normales de uso pueden producir contaminación, pues existe el riesgo de que el material radiactivo tenga contacto directo con materiales del medio que lo rodea.

2.4.2 Medidas de protección contra la radiación

Las medidas de protección se inician desde la planeación de los trabajos con las fuentes radiactivas, es decir, desde su elección y diseño. Dichas fuentes deben estar encerradas en recipientes con suficiente resistencias mecánica, térmica y química para soportar el uso al que se destinara. Su actividad debe ser la adecuada, la energía de la radiación no debe exceder a la necesaria para ejecutar el trabajo planeado. De ser posible, la naturaleza física y química de las sustancias radiactivas contenidas en la fuente deben ser tales que se reduzca al mínimo la posibilidad de dispersión y los riesgos por ingestión en caso de rotura del recipiente.

2.4.3 Medidas de protección interna

Los riesgos de irradiación interna se presentan cuando, durante el manejo de una fuente, esta sufre un deterioro que provoca la pérdida de hermeticidad y su consecuente fuga de material radiactivo. La contaminación inadvertida del contenedor que almacena la fuente originara una contaminación de manos y posteriormente una contaminación interna. Esto puede evitarse con la realización de una prueba de fuga periódica, tanto de la fuente como del contenedor. Toda fuente que presente fuga, debe reportarse al Encargado de Seguridad Radiológica para que tome las medidas pertinentes para la reparación o el desecho de la fuente. Toda fuente con fuga debe dejarse de usar inmediatamente.

2.4.4 Medidas de protección individual

“Las medidas elementales de protección individual son aquellas que nos previenen el riesgo de irradiación. La medida que se debe observar es que jamás se deben tocar las fuentes radiactivas con la mano, sino utilizar manipuladores o pinzas largas y en todo momento, la persona que realice estas acciones debe portar un dosímetro personal. Previo a estas actividades, se debe hacer un levantamiento de niveles para estimar la posible dosis que pueda recibir el operador.” (OIEA, 1986)

Con ello, aseguramos, que las dosis recibidas por personal no sean excesivos, tomando en cuenta los datos de la Tabla 2.

Tabla 2 de niveles de contaminación removible

TRABAJO/ ACTIVIDAD	NIVELES DE CONTAMINACIÓN REMOVIBLE		
	BAJA² De 1 a 10 veces los valores del Apéndice A	MODERADA De más de 10 a 100 veces los valores del Apéndice A	ALTA Mayor a 100 veces los valores del Apéndice A
Trabajo ligero ⁵	Conjunto completo de ropa Anti-C ³	Conjunto completo de ropa Anti-C	Doble conjunto completo de ropa Anti-C
Trabajo pesado ⁶	Conjunto completo de ropa Anti-C (en caso necesario, utilizar guantes de uso rudo)	Doble conjunto completo de ropa Anti-C ⁴ (en caso necesario, utilizar guantes de uso rudo)	Doble conjunto completo de ropa Anti-C (en caso necesario, utilizar guantes de uso rudo)
Trabajo con líquidos presurizados, apertura de sistemas cerrados o en ambientes húmedos	Conjunto completo de ropa Anti-C impermeable	Doble conjunto completo de ropa Anti-C (el conjunto exterior debe ser impermeable), botas de hule	Doble conjunto completo de ropa Anti-C (el conjunto exterior debe ser impermeable), botas de hule

1: Utilizar equipo de protección respiratoria en cualquiera de las situaciones establecidas en el numeral 5.13.

2: Para recorridos de observación o inspecciones en zonas con contaminación removible a niveles de 1 a 10 veces los valores del Apéndice A, pueden usarse batas de laboratorio, cubrezapatos y guantes en lugar del conjunto completo de ropa Anti-C, cuando el permisionario lo considere necesario.

3: Un conjunto completo de ropa Anti-C consiste de: cubretodo, guantes de algodón, guantes de hule, cubrezapatos de hule; botines, cubrepelo y capucha de tela.

4: Un doble conjunto de ropa Anti-C consiste de: un par de cubretodo, guantes de algodón, dos pares de guantes de hule, un par de cubrezapatos de hule, botines, cubrepelo y capucha de tela.

5: Trabajo ligero. Actividad de poca duración (menor que una hora) que no requiere un esfuerzo físico demandante.

6: Trabajo pesado. Actividad de larga duración (mayor ó igual que una hora) que requiere un esfuerzo físico demandante.

2.5 Legislación y normatividad nacional

2.5.1 Marco normativo

El marco normativo en el cual se basa la legislación mexicana en materia de seguridad y protección radiológica es el siguiente:

Ley Reglamentaria del Artículo 27 Constitucional en Materia Nuclear (Ley Nuclear)

Reglamento General de seguridad radiológica (RGSR)

Normas Oficiales Mexicanas (NOM)

PUBLICACIÓN No. 26 DE COMITÉ INTERNACIONAL DE PROTECCIÓN RADIOLÓGICA (ICRP-26)

La normatividad mexicana está basada en las recomendaciones de los organismo internacionales en materia de protección y seguridad como son: el Organismo Internacional de Protección Radiológica (ICRP), la Comisión Nacional de Protección Radiológica (NCRP), Organismo Internacional de Energía Atómica (OIEA), etc.

2.6 Protección radiológica

2.6.1 Marco conceptual

La utilización creciente de las radiaciones ionizantes en diferentes campos han hecho necesario incrementar las medidas de protección radiológica; por lo que la ICRP, que en adelante llamaremos Comisión, ha recomendado que se tenga un sistema de protección radiológica que logre hacer más beneficio que daño, además de exigir los arreglos y condiciones de protección que permitan lograr el máximo beneficio neto y debe limitar la desigualdad que pueda derivarse de un conflicto de intereses entre individuos y la sociedad como conjunto.

Objetivos de la Protección Radiológica

La Comisión en el año de 1957, estableció como “límite” 5 rems por año. Esta misma comisión dos décadas después (1977) mantiene el límite anterior, pero agregando que las

dosis se mantuvieran “Tan bajas como razonablemente pueda lograrse” que es el concepto ALARA y lo deja plasmado en su documento conocido como ICRP-26.

En las recomendaciones de 1977 se indica que la protección radiológica tiene como objetivo “Proteger a los individuos, sus descendientes, el medio ambiente de los efectos nocivos de las radiaciones ionizantes”.

La ICRP realizó algunas modificaciones en el transcurso de los años en materia de la protección radiológica (1987) y redefinió el objetivo de la misma, basándose en los efectos biológicos que produce la radiación, quedando ahora como: “deben evitarse los efectos determinísticos y reducir la probabilidad de los estocásticos a un nivel que se considere aceptable, sin limitar indebidamente las practicas benéficas con radiación”.

Las recomendaciones dadas por la ICRP-60 en el año de 1990, establecen que el objetivo de la protección radiológica es establecer, para un conjunto definido de prácticas y para exposición regular continua, un nivel de dosis por encima del cual las consecuencias para los individuos serian consideradas como inaceptables.

2.6.2 Límite de dosis anual ICRP-26 E ICRP-60

Los límites de dosis son necesarios como parte de la exposición ocupacional, tanto para imponer un límite a la variedad de restricciones a las dosis, como para proporcionar una protección contra errores de juicio en la aplicación de la optimización.

Al fijar los límites de dosis, el objetivo de la ICRP-26 e ICRP-60 es establecer, para un conjunto definido de prácticas y para exposición regular continua, un nivel de dosis por encima del cual las consecuencias para los individuos serian ampliamente consideradas como inaceptables.

En esta sección se comparan los límites propuestos para el P.O. E. y para el público.

En la Tabla 3, se tiene un resumen de los límites recomendados en distintos tiempos por la ICRP-26 e ICRP-60 para el personal ocupacionalmente expuesto a radiaciones.

Tabla 3 de límites de dosis ocupacional

ZONA EXPUESTA	LIMITE POR AÑO	
	ICRP-26	ICRP-60
	mSv(rem)	mSv(rem)
Cuerpo total	50(5)	20(2)
Órganos y tejidos	500(50)	500(50)
Cristalino	150(15)	150(15)

Por lo que respecta a los miembros del público la misma Comisión recomienda límites indicados en la tabla 4:

Tabla 4 límites de dosis para el público

ZONA EXPUESTA	LIMITE POR AÑO	
	ICRP-26	ICRP-60
	mSv(rem)	mSv(rem)
Cuerpo total	5(0.5)	1(0.1)
Órganos y tejidos	50(5)	50(5)
Cristalino	15(1.5)	15(1.5)

2.7 Cromatógrafo de gases

Un cromatógrafo de gases consiste en varios módulos básicos ensamblados para:

- 1.- Proporcionar un gasto o flujo constante del gas transportador (fase móvil)
- 2.- Permitir la introducción de vapores de la muestra en la corriente de gas que fluye
- 3.- Contener la longitud apropiada de fase estacionaria
- 4.- Mantener la columna a la temperatura apropiada(o la secuencia del programa de temperatura)
- 5.- Detectar los componentes de la muestra conforme fluyen de la columna
- 6.- Proveer una señal legible proporcional en magnitud a la cantidad de cada componente.

En la Figura 6 podremos observar las partes básicas del cromatógrafo.

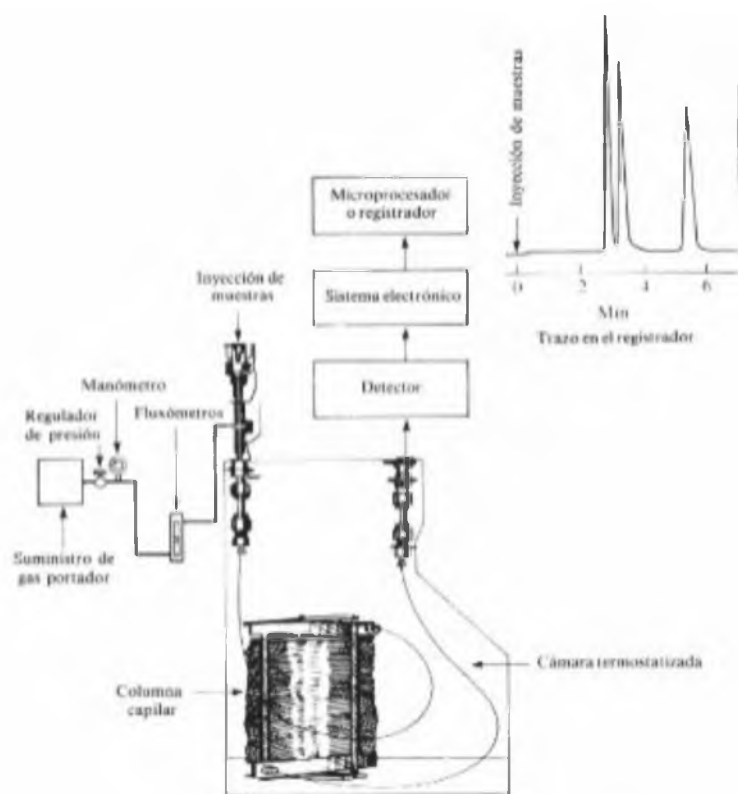


Figura 6 Esquema de un cromatógrafo de gases

2.7.1 Ventajas

Las principales ventajas de la cromatografía de gases son: alta resolución, velocidad, sensibilidad, sencillez y resultados cuantitativos.

Alta Resolución: la CG puede generar miles de platos teóricos en unos pocos minutos. Los isómeros con puntos de ebullición muy próximos que no pueden separarse por destilación se separan fácilmente mediante la cromatografía de gases.

Además la CG se presta a usos más variados que la mejor columna de destilación, ya que la columna cromatografía puede sustituirse fácilmente. Esto permite la separación selectiva debido a solubilidades diferentes, aun cuando los puntos de ebullición estén muy cercanos. Como hay numerosas columnas, se puede escoger entre ellas, lo que confiere variedad a la gamma de muestras que puede manejarse.

Velocidad: normalmente, el análisis por CG tarda unos minutos; muchas separaciones útiles se completan en 10min. Con altas presiones se han terminado análisis completos en apenas unos segundo. Sin embargo, en la mayoría de los análisis de laboratorio este ahorro en tiempo no reduce apreciablemente el tiempo total involucrado en la toma de la muestra, el análisis cromatográfico y el cálculo de los resultados. En consecuencia no se ha destacado mucho la rapidez de estos análisis. Basta señalar que la CG permite lograr rápidamente buenos datos analíticos.

Sensibilidad: una de las razones principales por las que se usa ampliamente la CG en los análisis es la sensibilidad conseguida. El detector de conductividad térmica puede fácilmente medir microgramos. El detector de ionización de llama fácilmente mide nano gramos (10^{-9} g), y los detectores más selectivos como el de captura de electrones y el detector fotométrico de llama alcanzan los pico gramos (10^{-10} g). Debido a esta sensibilidad, la CG es un método preferido para el análisis de trazas, particularmente plaguicidas, herbicidas y contaminantes orgánicos en el aire y del agua. Otra ventaja de esta extrema sensibilidad es la pequeñez de la muestra requerida. Para completar un análisis bastan un micro litros.

Sencillez: tanto las técnicas como el instrumental de la cromatografía de gas son relativamente sencillos y fáciles de comprender.

Resultados cuantitativos: una ventaja importante de la CG es que permite obtener muy buenos resultados cuantitativos. Sin embargo, la exactitud es función de muchos factores. Se

puede obtener buena exactitud en una amplia gama de concentraciones de la muestra, desde miligramos hasta nano gramos.

2.7.2 Limitaciones

Las principales limitaciones de la cromatografía de gases son: solo pueden manipularse muestras volátiles; a menudo es necesario eliminar interferencias en la muestra; es una técnica “deficiente” para análisis cualitativos.

Solo Muestras volátiles: todas las muestras deben ser volátiles; de lo contrario, no pasaran a través de la columna. Con la CG es difícil tratar compuestos iónicos, compuestos de elevada polaridad y compuestos de peso molecular superior a 600.

Necesario Eliminar interferencias: muestras directas como la orina, grasa animal o agua de río no pueden inyectarse directamente en una columna de CG. Estas muestras deben purificarse con disolventes o mediante cromatografía en columna, para eliminar las sales y los compuestos de peso molecular elevado, si se inyectaran estas muestras en una columna de CG, no tardarían en obstruir la columna y disminuiría la velocidad de flujo.

Técnica Cualitativa Deficiente: La CG es un buen método cuantitativo, pero un método cualitativo deficiente. Por lo general, para identificar la muestra se comparan los tiempos de retención de patrones y muestras conocidas. Así no es posible confirmar la identidad de una muestra debido a que varios compuestos pueden tener los mismos tiempos de retención.

2.8 Sensores de movimiento

Un sensor de movimiento, es aquel que cuenta con la capacidad de detectar una distancia 1, y una distancia 2, comprobando si existe cambio alguno en esta. Para ello encontramos una amplia variedad de sensores, en los que predominan los laser, y los ultrasónicos.

Dentro de los sensores ultrasónicos, podemos encontrar los de cambio de entorno, y los medidores de distancia, siendo estos últimos los más precisos, manejando distancias de entre 2cm a 400cm, con una precisión dependiente del tipo de sensor.

Para uso dentro de un equipo se prefiere colocar un medidor de distancia, el cual será monitorizado, por un micro controlador, la que se encargará de comprobar cambios en la distancia.

El sensor ultrasónico a Utilizar es un sensor HC-SR04 (Figura7)



Figura 7 Sensor HC-SR04

Para este tipo de sensor, se cuenta con un margen de error de $\pm 3\text{mm}$. De acuerdo a su hoja de datos del proveedor, y su fabricante.

Con el se puedes asegurar que el resguardo se encuentre confiable y estable en todo momento, sin importar la temperatura, presión atmosférica, que nos podremos encontrar en un uso común.

Con ayuda de otros sensores de movimiento, como lo son los sensores magnéticos, sensores de posición o límite, además de acelerómetros, podemos garantizar una gran confiabilidad en el momento de activación de la alarma de robo, esto debido a que funcionan en conjunto, esperando el cambio de estado de alguno de ellos, para complementar y detectar un movimiento común, como podría ser el de un gran brinco, que ocasione la activación de algún sensor, de algún tipo de extracción o robo del artefacto.

2.9 Tarjeta con microcontrolador AVR (Arduino)



Figura 8 Logotipo de Arduino

“El Arduino es una pequeña tarjeta con un micro controlador, el cual lo hace una poderosa herramienta para el desarrollo, encontramos diferentes tipos de tarjetas las cuales se adaptan a tus necesidades.” (Massimo, 2007)

Arduino es diferente a otras plataformas porque es compatible con Windows, Macintosh y Linux, además de tener un entorno de programación fácil de usar, tanto que puede ser usado por artistas, diseñadores e ingenieros, es programable vía USB y tanto el software como el hardware son considerados open source, lo único registrado de Arduino, es su nombre y logotipo (Figura 8) no debemos olvidar que se cuenta con una gran comunidad de usuarios, dispuestos a ayudar a desarrolladores interesados, ya sea por entorno educativo o laboral y todo esto a un bajo costo

La forma en que Arduino trabaja es mediante sensores capaces de percibir nuestro medio, los cuales mandan las señales al microcontrolador, el cual las interpretara para decidir qué hacer, es decir que actuador poner a funcionar

Al ser dispositivos open source la filosofía de Arduino es crear y compartir, así otras personas pueden tomar nuestro código y modificarlo para tener una constante evolución

2.9.1 Método de programación

“The Arduino Philosophy is based on making designs rather than talking about them. It is a constant search for master and more powerful ways to build better prototypes. We have explored many prototyping techniques and developed ways of thinking whit our hands” (Banzi, 2012)

Para los microcontroladores con tecnología Arduino es utilizado un método de programación propio, el cual es conocido por la comunidad como IDE (Integrated Development Environment), este software puede ser instalado en casi cualquier sistema operativo como Linux Windows (Figura 9) Macintosh y también en dispositivos móviles con OS Android

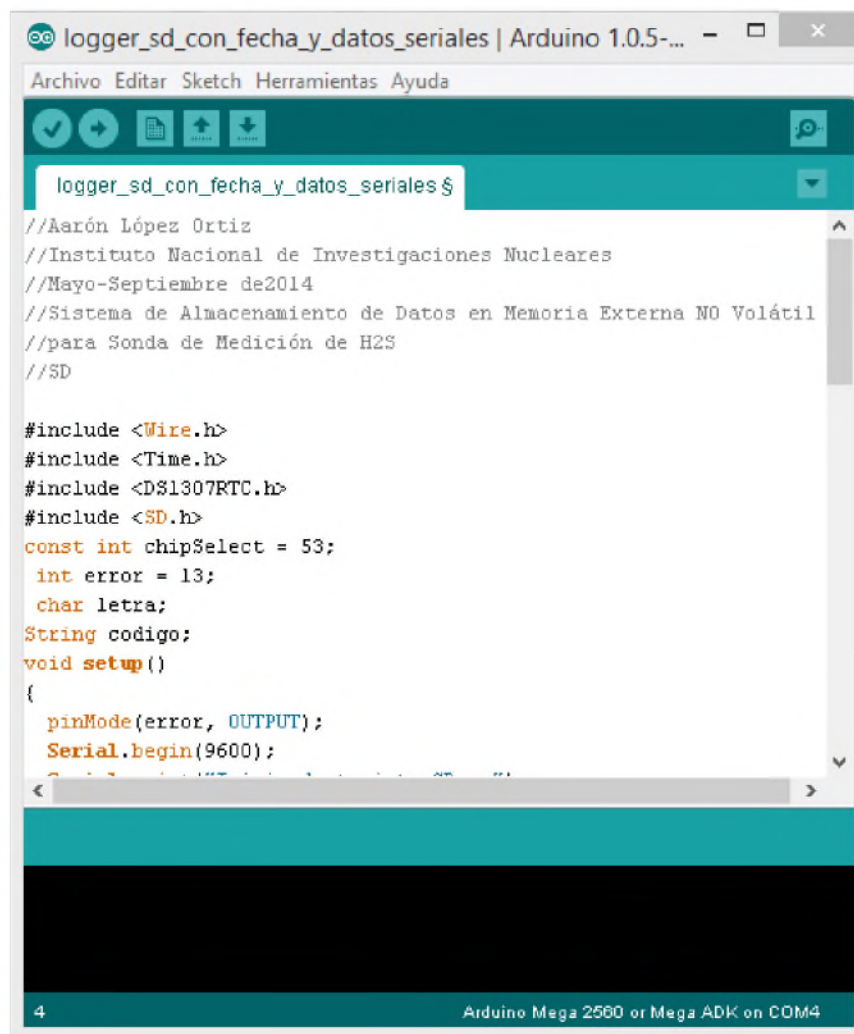
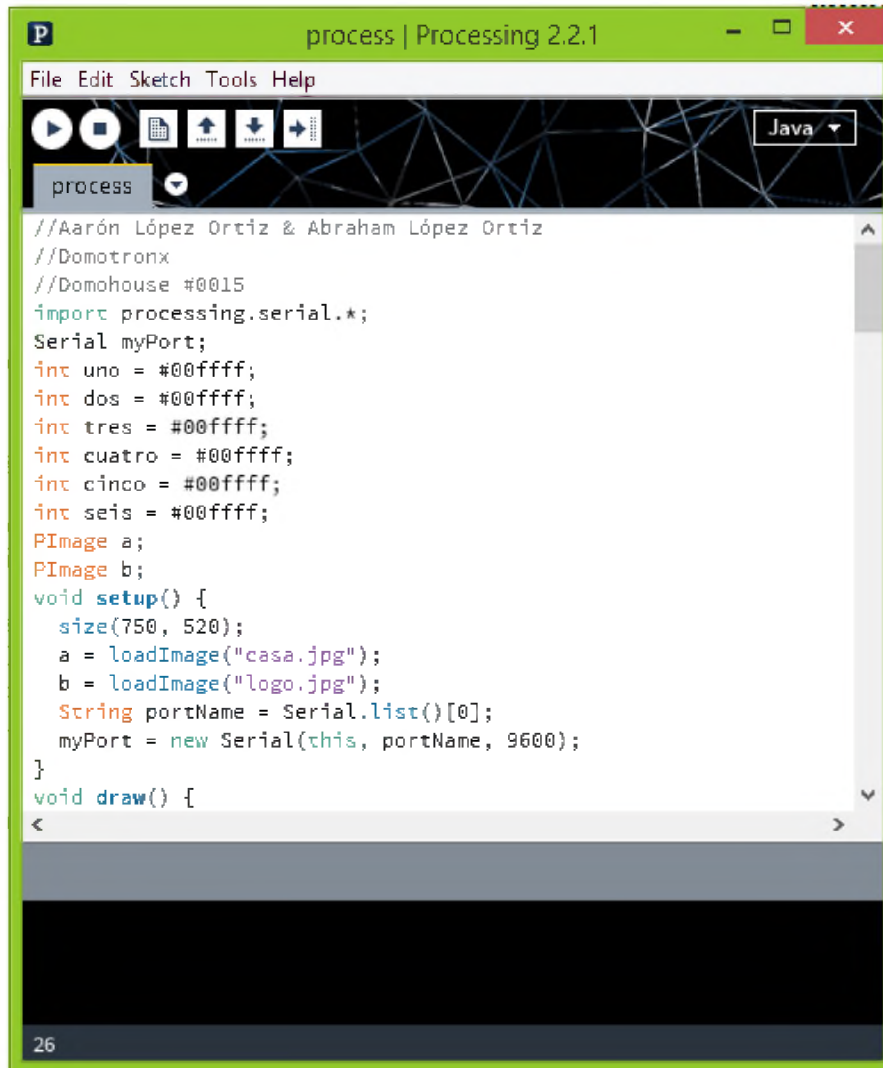


Figura 9 IDE Arduino

Es un programa fácil de utilizar por artistas, desarrolladores e ingenieros, está basado en la plataforma de programación Processing lo que permite un entorno amigable

Processing es un lenguaje que combina dos tipos de programación, siendo el principal el lenguaje JAVA y por secundario el lenguaje C como se puede notar en la Figura 10, el cual es un programa del IDE de processing

The image shows a screenshot of the Processing 2.2.1 IDE. The window title is "process | Processing 2.2.1". The menu bar includes "File", "Edit", "Sketch", "Tools", and "Help". Below the menu bar is a toolbar with icons for running, stopping, and other functions. A dropdown menu shows "process" and a language selector is set to "Java". The main text area contains the following code:

```
//Aarón López Ortiz & Abraham López Ortiz
//Domotronx
//Domohouse #0015
import processing.serial.*;
Serial myPort;
int uno = #00ffff;
int dos = #00ffff;
int tres = #00ffff;
int cuatro = #00ffff;
int cinco = #00ffff;
int seis = #00ffff;
PImage a;
PImage b;
void setup() {
  size(750, 520);
  a = loadImage("casa.jpg");
  b = loadImage("logo.jpg");
  String portName = Serial.list()[0];
  myPort = new Serial(this, portName, 9600);
}
void draw() {
<
```

The status bar at the bottom left shows the number "26".

Figura 10 IDE processing

Processing comienza en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) como un proyecto del alumno Ben Fry logrando crear dibujos interactivos, así como poder generar graficas interactivas y pantallas



Figura 11 Inicio de Processing

Posteriormente cuando Arduino toma como base el lenguaje Processing como en la Figura 11, se unen mediante comunicación serial y así se puede lograr crear una interfaz gráfica entre Arduino y Processing

“Lo interesante del IDE de Arduino comienza cuando al finalizar nuestro programa presionamos el icono de “Cargar” el cual hace que nuestra creación sea transformada a lenguaje C y este a su vez se convierte en un lenguaje que el compilador AVR-GCC reconoce y puede de esa forma comenzar a cargarlo en nuestra tarjeta directo al AVR con el que cuenta esta tarjeta”

(Banzi, 2012)

Es un entorno totalmente amigable, y esto se nota desde su inicio (Figura 12) y con el podemos aprender al mismo ritmo que se va haciendo el programa requerido

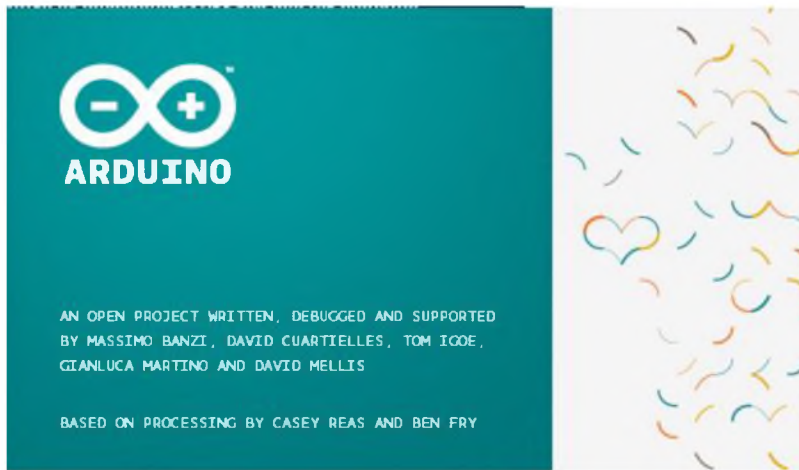


Figura 12 Inicio de Arduino

Una de las cosas más interesantes es que nosotros podemos ver nuestro programa ejecutándose en esa pequeña tarjeta de una manera muy sencilla y fácil, permitiendo casi cualquier persona hacer realidad sus ideas.

2.10 Fuente de alimentación

La fuente de alimentación, es el sistema que permite controlar la energía eléctrica para usarla de una forma segura y correcta en nuestros circuitos, dependemos de ellas para el correcto funcionamiento de nuestros sistemas

Las fuentes de alimentación las encontramos de diferentes maneras, podemos tener una fuente directa y fuente conmutada

Para las fuentes directas se cuenta con un transformador de entrada, un puente de diodos, un capacitor y un regulador siendo estas las más simples aunque poco eficaces, como la mostrada en la Figura 13

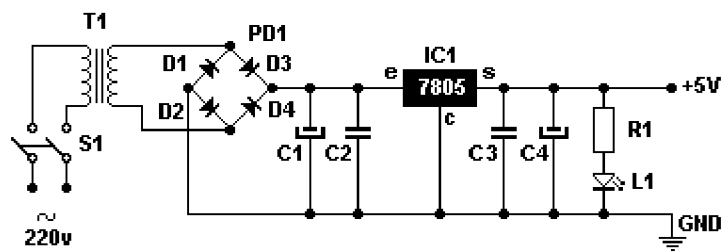


Figura 13 Diagrama de una fuente de voltaje continuo

Por otra parte las fuentes conmutadas son más eficaces debido a su método de regulación

“las fuentes conmutadas fueron creadas para uso militar y aeroespacial, debido a su inaceptable peso y volumen de las lineales”

(Damaye, Cajine, Fuentes de Alimentación Electrónica, 1995)

Debido a que una fuente lineal crece en volumen de la mano a sus capacidades y tolerancias, las fuentes se pudieron reducir de tamaño, conservando las capacidades de corriente

Gracias a esto hoy en día podemos tener fuentes de alimentación de 50W que caben en nuestra mano, y las podemos encontrar en los cargadores de nuestros equipos móviles, ordenadores, además de un sinfín de usos

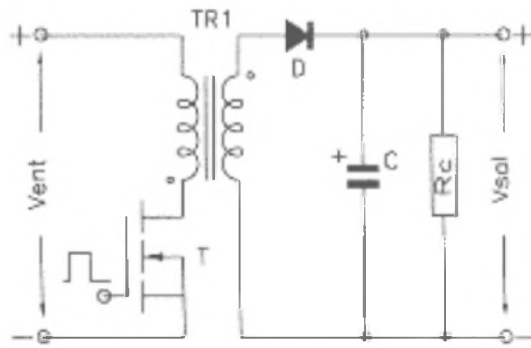


Figura 14 Diagrama básico de una fuente conmutada

Como podemos observar en la Figura 14, es más simple su diseño, lo que permite reducir los componentes que a su vez reducen el tamaño y peso de esta,

Como fuentes alternativas podemos encontrar las baterías, comúnmente usadas en sondas de medición en compañía de paneles fotovoltaicos, las cuales deberán tener un sistema de carga, podemos depender de ellos de igual manera.

Para una fuente conmutada tenemos como componentes, un conmutador para la entrada, un transformador, un diodo y regulador.

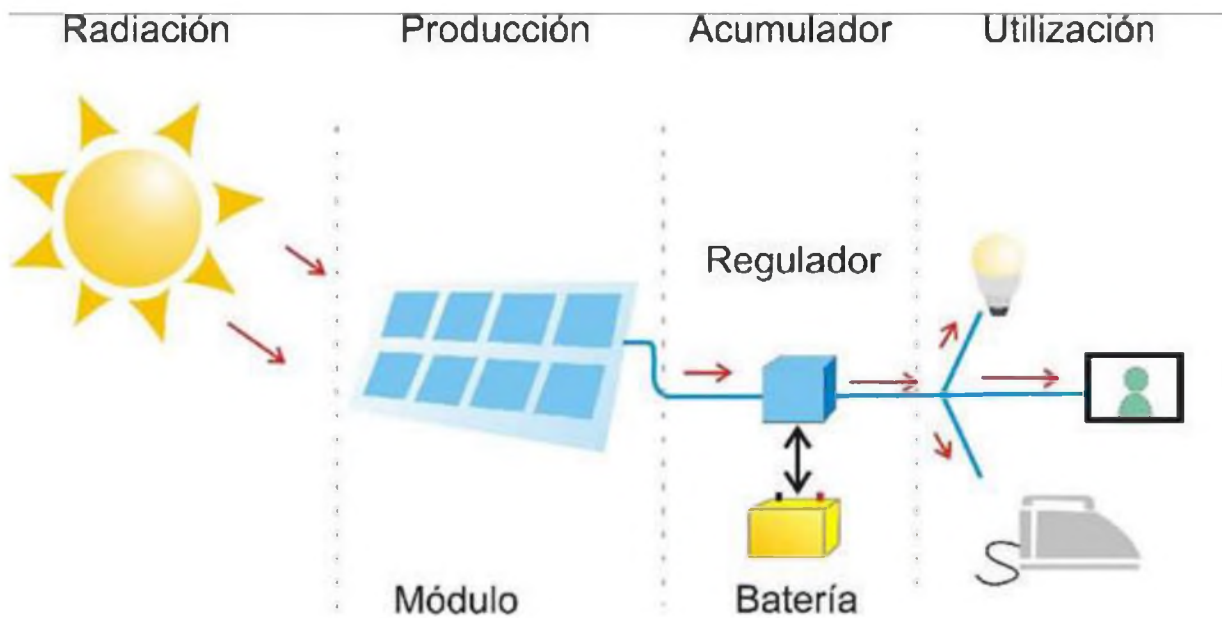


Figura 15 Modelo de energía solar

Otra fuente de alimentación alternativa son las baterías, las cuales a su vez pueden estar conectados a un sistema de carga fotovoltaico como el de la Figura 15, de forma que obtendremos energía en zonas poco accesibles.

2.11 Níquel

“El níquel⁶³ es un isótopo radioactivo estable, con un periodo de desintegración de 100.1 años” (Desmet, 1990)

Al ser uno de los radio isótopos más estables, se utiliza frecuentemente en equipos de detección de gases. Este cuenta con características mostradas en la Figura 16.

RADIONUCLIDE SAFETY DATA SHEET	
NUCLIDE: NI-63	FORMS: SOLUBLE
PHYSICAL CHARACTERISTICS:	
HALF-LIFE: 96 Years	TYPE DECAY: beta ⁻
maximum energies: Beta ⁻ 0.0659 MeV	
Energies of photons (intensity %/d): no photons	
Hazard category: C- level (low hazard) : .010 to 1.0 mCi	
B - level (Moderate hazard) : > 1.0 mCi to 100 mCi	
A - level (High hazard) : greater than 100 mCi	
EXTERNAL RADIATION HAZARDS AND SHIELDING:	
The beta dose is not a significant problem, because the maximum range of the betas in air is only 2.14 inches. The maximum ranges of the various beta particles in various materials is as follows:	
Air	2.14 inches
Water	0.0026 inches
Polyethylene	0.0024 inches
Disposable gloves will totally stop the beta particles.	
HAZARDS IF INTERNALLY DEPOSITED:	
Internal deposition is more of a hazard with this nuclide than the external dose. Gloves and periodic monitoring, using smears, while working are important.	
The campus maximum permissible body burden for this nuclide, based upon 10 % of the dose limit to bone is 20 uCi. The annual limit of intake is 62 uCi via inhalation of vapors.	
DOSIMETRY AND BIOASSAY REQUIREMENTS:	
Film badges and finger dosimeters are not useful for monitoring beta radiations for NI ⁶³ .	
Urine assays may be required after spills or contamination incidents.	
SPECIAL PROBLEMS AND PRECAUTIONS:	
1. Always wear protective gloves to keep contamination from skin. Change gloves often.	
2. Survey work areas at conclusion of work. Smear surveys are required.	
3. Segregate wastes to those with half-lives of greater than days (but not with H3 and/or C14).	
4. Limit of soluble waste to sewer to 10 microcuries/ day per lab.	
E/90	

Figura 16 Níquel⁶³

2.12 Estado del arte

Según la IAEA (International Atomic Energy Agency), no existe un sistema autónomo capaz de salvaguardar fuentes radioactivas que por uso se vean en la necesidad de estar en constante movimiento.

Se deben de acatar las regulaciones para poder evitar la pérdida de las mismas, por ello, lo más cercano que se ha creado al sistema de detección, es un sistema de recuperación de fuentes desechadas, desarrollado por la misma IAEA, el cual se encarga de buscar dentro de desechos industriales, posibles fuentes huérfanas, como son llamadas por la agencia, para poder evitar la contaminación que estas pudiesen provocar.

Sistemas de localización cercanos, se encuentran los que ofrecen compañías como “SIS Technologies” el cual ofrece un sistema llamado “Control track” el cual es comúnmente utilizado en vehículos de transporte.

Capítulo 3 Desarrollo teórico

3.1 Diagrama de flujo

El sistema de detección de la fuente, funciona con base en la lectura de sensores y su interpretación, para ello, toma los datos de los sensores al momento de encender el sistema, calibrándose de esta manera para su uso, posteriormente, este se encarga de leer constantemente el estado de los sensores, para poder tomar la decisión de acuerdo a criterios programados, con ello, en caso de existir una variación en alguno de los sensores, el sistema pondrá en marcha una alerta interna, en caso de que otro sensor presente actividad anormal, este encenderá otra alarma interna, y así sucesivamente con todos los sensores. En caso de encender una serie de alarmas en específico, el sistema es capaz de dar aviso y mandar toda la información necesaria, tal como lo vemos en el diagrama de la figura 17, para su localización y su pronta recuperación.

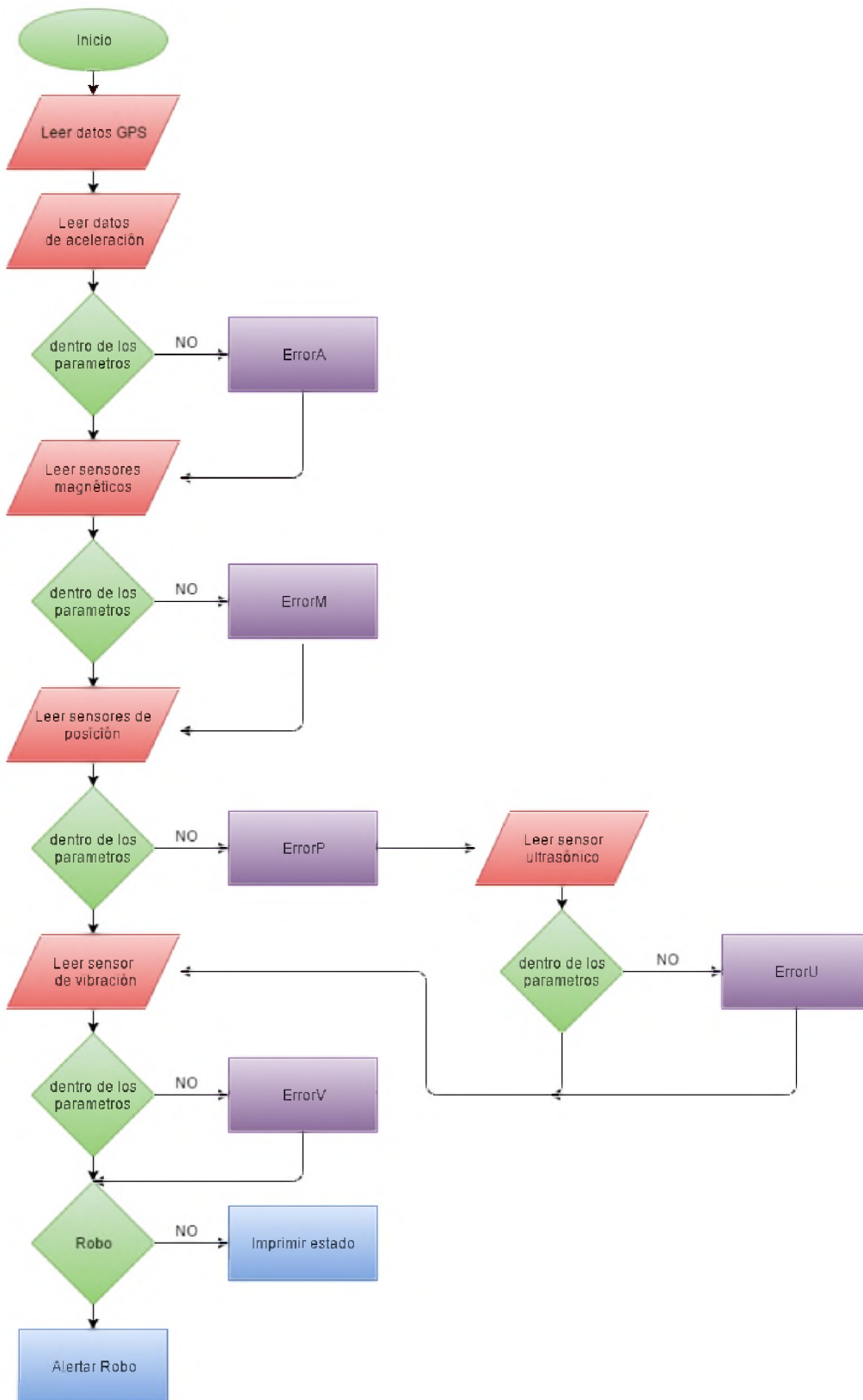


Figura 17 Diagrama de flujo

3.2 Sistema

El diagrama eléctrico del sistema consta en la interconexión entre nuestra tarjeta Arduino pro mini y los diferentes sensores, como se muestra en la figura 18.

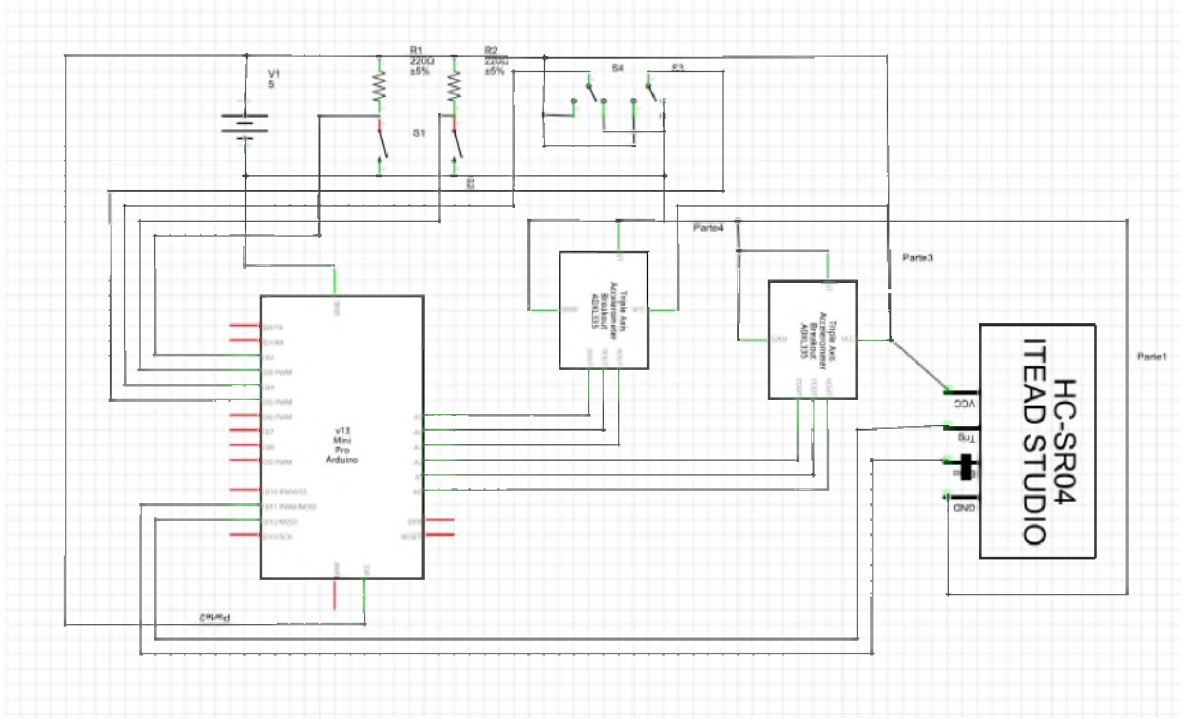


Figura 18 Diagrama del sistema de detección

Dejando físicamente una red similar a la de la figura 19, la cual se guiará mediante cable plano, para evitar el exceso de espacio del alambrado común

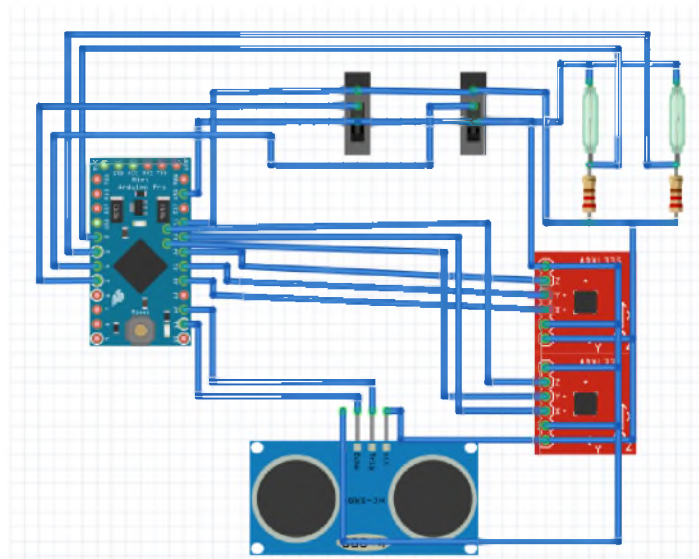


Figura 19 Diagrama del sistema de detección en Fritzing

Capítulo 4 Desarrollo e implementación

4.1 Adquisición de datos

Para la adquisición de datos, se optó por el uso de algunos sensores, como son sensores magnéticos, acelerómetros, de vibración y ultrasónicos de proximidad. Cada uno de ellos cuenta con un reconocimiento propio, el cual es reconocido por la tarjeta de adquisición de datos (Arduino), e interpretado para reconocer movimientos comunes, y diferenciar un posible robo.

4.1.1 Sensor Magnético

Para los sensores magnéticos, se ha optado por los sensores en modulo con interfaz “grove” de la figura 20, debido al tamaño del componente. Este tipo de sensor, cuenta con un reed switch como se muestra en la figura 21, el cual es activado con un campo magnético generalmente proveniente de un imán de neodimio, el cual es un pequeño y potente imán.

Para este sensor en especial, al estar cerca de la fuente tenemos un estado lógico ‘bajo’ que permite ser identificado por la tarjeta, como un estado estable. Cuando el campo magnético es alejado del sensor, este cambia a un estado lógico ‘alto’ y permite de igual manera ser interpretado por la tarjeta como una activación o perturbación en el dispositivo.



Figura 20 Sensor Magnético GROVE

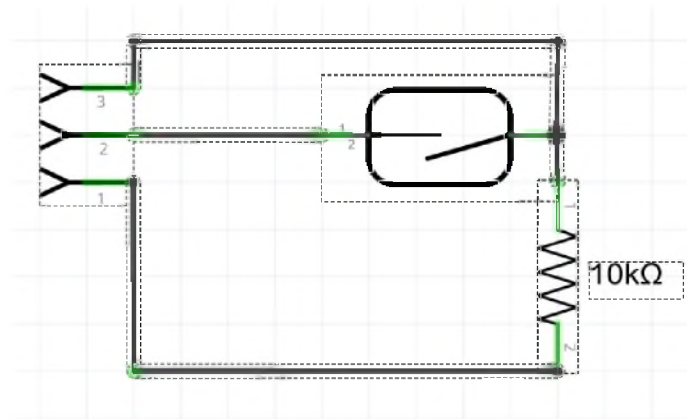


Figura 21 Diagrama del sensor magnético GROVE

4.1.2 Acelerómetro

En el caso de los acelerómetros, se opta por el uso de acelerómetros analógicos como los de la figura 23, para los cuales, el funcionamiento se basa en mandar una señal analógica por eje (X,Y,Z). Para el caso de este sensor, podemos obtener un valor de entre 0V y 2.5V. En este caso, el sensor es capaz de medir aceleraciones de entre ± 5 G. Obteniendo un valor de 1.25V en cada eje al momento de tener 0G. Incrementando o decrementando 0.25V por cada G, Estaremos utilizando dos sensores de este tipo, para poder comparar las aceleraciones, de un punto fijo, estable y constante, y la fuente a resguardar, permitiendo reconocer el movimiento común, de un movimiento forzado por medio de la tarjeta. Podemos obtener las lecturas tal y como se ven en la figura 22.

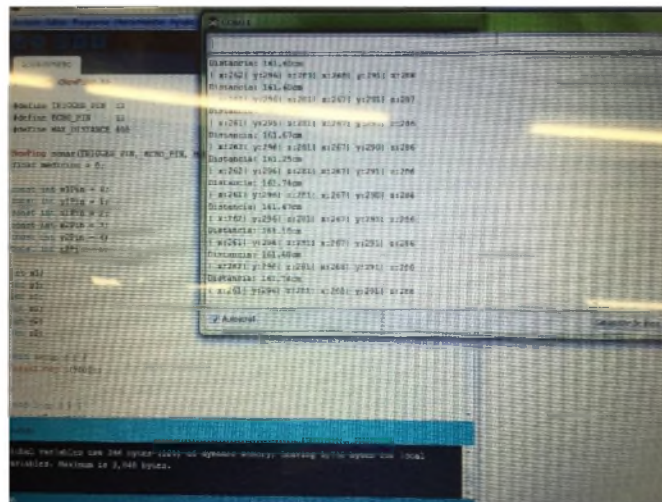


Figura 22 Lectura de Acelerómetro y sensor ultrasónico

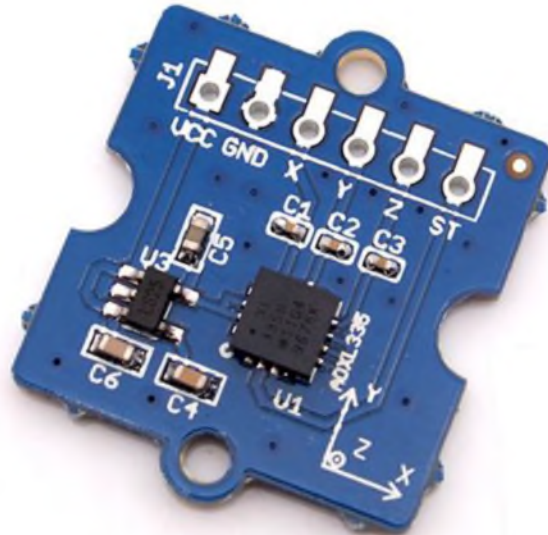


Figura 23 Acelerómetro analógico

4.1.3 Sensor Ultrasónico

Para sensor de proximidad, se utiliza el sensor HC-SR04 (figura 24), el cual tiene una alta precisión, y confiabilidad. Este sensor cuenta con un elemento de transmisión, y otro de recepción. Siendo capaz de detectar distancias de entre 2 cm y 400 cm. Produciendo un estado lógico en alto por unos instantes. La tarjeta se encarga de contar el tiempo del estado, e interpretarlo para conocer una distancia certera. Las lecturas se han mediante la fórmula $T/58$, lo que nos genera un criterio de tiempo en segundos, como se puede apreciar en la figura 23. En este caso, al encender tomará una distancia de inicio, y posteriormente, solo comparará la nueva lectura con la anterior, y en caso de encontrar una diferencia significativa, esto indicará que la fuente a proteger, ha sido cambiada de lugar



Figura 24 Sensor ultrasónico

4.1.4 Sensor de límite

Los sensores de límite (limit switch) son dispositivos de activación mecánica como el mostrado en la figura 25, los cuales permiten tomar datos de un estado físico de presencia. En este tipo de sensores, el dispositivo debe estar en contacto para activarlo, permitiendo interpretar el pulso recibido por la tarjeta de control. En este caso, este tipo de sensores se colocan para asegurar que la puerta esté completamente cerrada y garantizar el resguardo del dispositivo a proteger.



Figura 25 Sensor de límite

4.1.5 Sensor de Vibración

Los sensores de vibración, generalmente de material piezoeléctrico (figura 26), el cual funciona de manera que al tener una pequeña deformación causada por una onda proveniente

de alguna vibración, este genera un pequeño flujo eléctrico entre sus terminales, siendo mayor en caso de una vibración de gran magnitud. Para nuestro propósito, el sensor estará fijo en una pared, y al generar una corriente eléctrica, la tarjeta lo interpretará y desplegará los datos.



Figura 26 Sensor MEAS de vibración

4.2 Alarmas

El equipo contará con alarmas del tipo audible, visible y de comunicación, con ello se pretende estar siempre al tanto del equipo.

4.2.1 Envío autónomo de alarma

Cuando el equipo detecta una variación de los sensores, interpretado por el sistema como un robo, se encenderá un indicador luminoso, audible, y se comunicará de inmediato con el sistema de comunicación, para enviar la alerta.

Esta condición, reacciona al cambio de estado y variantes de los sensores con los que cuenta el sistema, y mediante una calibración, el sistema autónomo de detección establece un punto a partir del cual, al sobrepasar los rangos de operación normales, procederá a enviar por comunicación serial un comando, el cual será recibido por el sistema de transmisión de datos

4.2.2 Alarmas definidas

Para las alarmas utilizadas, encontramos alarmas de baja importancia, como puede ser:

Una aceleración excesiva en el sistema de detección, pudiéndose interpretar como un gran salto de la unidad móvil, o una colisión.

Vibraciones excesivas que se interpretan igualmente como un salto de la unidad móvil.

Cambio de distancia entre el sensor de detección y la fuente a proteger, la cual implica un cambio físico causado por un desacomodo del artefacto.

Apertura de tapa, en este caso, debemos estar alerta, debido a que puede ser un movimiento previo al robo de la fuente.

Para la lectura de estos datos, es suficiente con que el sistema de comunicación, le mande a nuestro detector un byte, y el detector, regresará una cadena con los datos solicitados, y en caso de contar con una alerta menor, hacerla notar

4.2.3 Cambio de alarma

Las alertas interpretadas por el sistema, como un aviso, pasará a guardarse para su posterior lectura por el usuario, de manera similar a lo que ocurre cuando un automóvil presenta una falla y se enciende un testigo en el tablero, de igual manera en nuestro sistema, contamos con un indicador luminoso

4.3 Interface detector-comunicación

“La comunicación serie o comunicación secuencial, en telecomunicaciones e informática, es el proceso de envío de datos de un bit a la vez, de forma secuencial, sobre un canal de comunicación o un bus.” Ortega Escalona, 2005

Para la comunicación de nuestro sistema, se usará el principio de la comunicación serial, apegándonos a una comunicación UART, la cual maneja voltajes de operación de 0-5V, convirtiéndolo en una comunicación serial TTL

Para llevar a cabo este enlace solo son requeridas 3 líneas (Emisión, Recepción, Referencia) Es necesario esta comunicación entre los dispositivos, para poder crear un vínculo y poder proporcionar la información del estado y resguardo, para posteriormente agregar a estos datos, otros datos importantes, como la hora, fecha, ubicación, entre otros.

El sistema está preparado para la comunicación mutua, permitiendo dar solo los datos correspondientes en caso de ser requeridos, de acuerdo a la siguiente tabla, que corresponde a la respuesta del sistema ante una solicitud de acuerdo a los parámetros preestablecidos mostrados en la tabla 5.

Tabla 5 de comandos para sistema de detección

Comando	Respuesta
---------	-----------

E	Estado del sistema
I	Información general
A	Información de los acelerómetros
M	Estado de los sensores magnéticos
P	Estado de los sensores de limite
D	Distancia proveniente del sensor ultrasónico
L	Coordenadas del dispositivo
V	Vibración actual

- Estado del sistema: para esta respuesta, se considerarán posibles errores almacenados, en caso de contar con alguno, se responderá con su respectivo error como lo muestra la tabla 6.

Tabla 6 de errores del detector

Error	Respuesta
Cuando un eje de los acelerómetros, indica una aceleración distinta en alguno de los sensores, nos indica que se mueven de forma dispareja. Esto puede ser ocasionado por un movimiento rotatorio violento, o el retiro del artefacto en resguardo.	"Aceleración variante"
Cuando alguno de los sensores magnéticos cambian de estado. Esto puede ser debido a alguna deformación en la estructura, como puede ser en caso de algún siniestro o algún trato forzado de desarme.	"Retiro de artefacto"
Cuando alguno de los sensores de limite cambian de estado. Este puede ser causado por el retiro de la tapa principal e acceso o por alguna deformación estructural que puede ser	"Retira de tapa"

causado por algún siniestro o algún trato forzado de	
Cuando cambia de posición la el artefacto resguardado. Se puede interpretar como una perturbación dentro de la estructura, que puede significar el desacomodo de la fuente o una extracción.	"Cambio de lugar del artefacto"
Cuando el dispositivo completo, presenta vibraciones de gran magnitud. Pudiendo interpretar como un siniestro o deformación intencional	"Vibración severa"
Cuando no se cuenta con ningún tipo de error y todo está trabajando bajo condiciones normales	"OK"

4.4 Circuito impreso

El circuito impreso, fue desarrollado mediante un programa de código abierto (Fritzing), el cual permite crear un diseño de una manera sencilla como el de la figura 27, pudiendo exportar en un archivo GERBER extenden, el cual puede ser interpretado por una ruteadora de circuitos impresos, con la que cuenta el instituto.

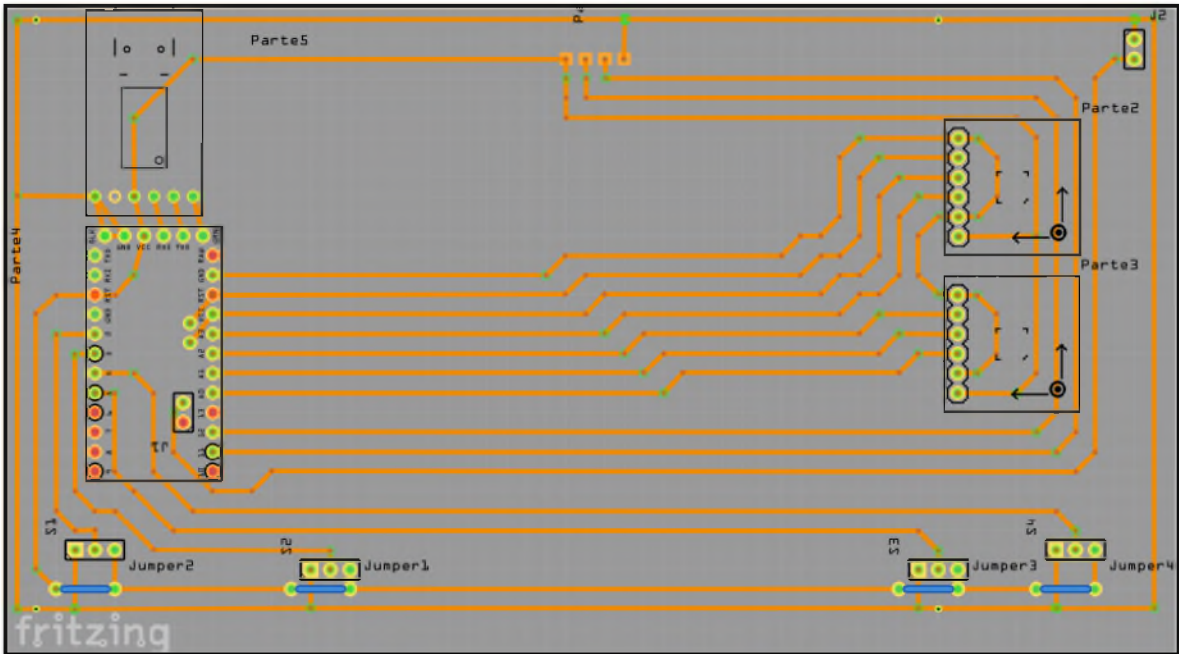


Figura 27 Circuito impreso, imagen de Fritzing.

Al circuito se le añaden rótulos del instituto para su identificación como el mostrado en la figura 28, con ello en un futuro, si algún componente llega a fallar, se identifica de donde provino el circuito para su correcta sustitución o reparación.

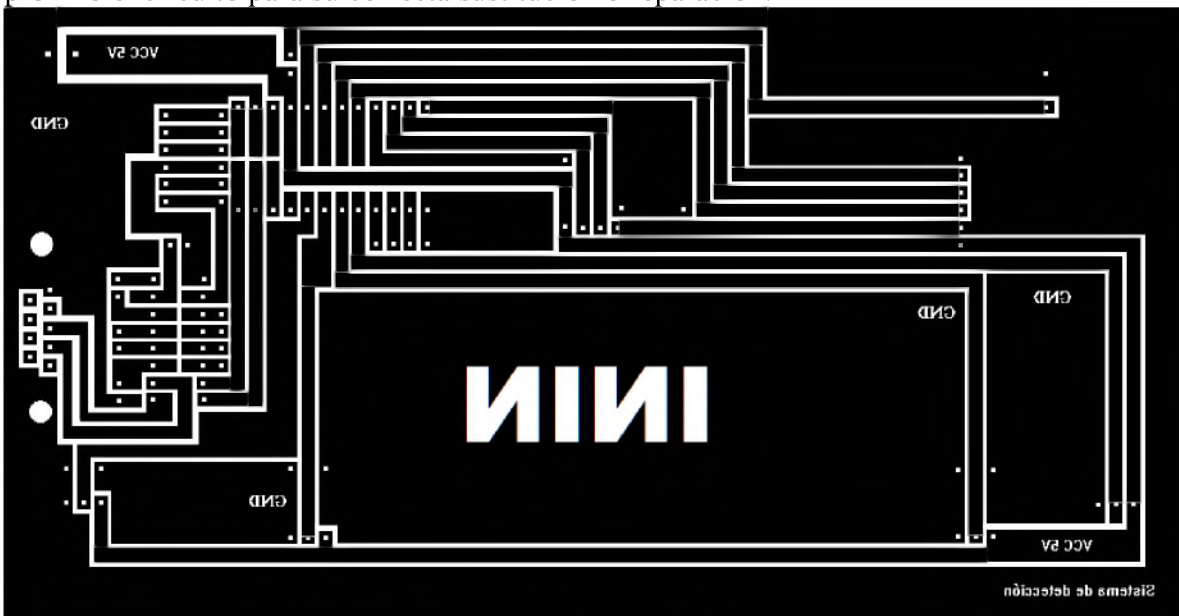


Figura 28 Plantilla de circuito impreso

Para el sistema de detección, se optó por la creación del circuito impreso por el método químico de transferencia, debido a la simplicidad del mismo.

Capítulo 5 Costo - Beneficio

Descripción	Desarrollo externo (SIS technologies)	Equipo propio	Beneficio
Costo total	\$35700	\$1800	\$33900
Compatibilidad con equipo local	No	Si	ventaja
Cuenta con seguimiento GPS	Si	Si	equidad
Capacitación del personal	Requerido	Requerido	equidad
Dimensiones del equipo	30cm x 25cm x 10cm	10cm x 15cm x 3cm	ventaja
Alarma Audible	Si	Compatible con alarma central	desventaja
Indicador visual	Si	Si	equidad
Costo mensual	Dependiendo contrato	Consumo de transmisión de datos vía celular	Ventaja, disminución de costos mensuales

Conclusiones

Se diseñó un equipo capaz de detectar la presencia del detector de captura de electrones gc-2010 mediante el uso de una tarjeta con tecnología Arduino, Pro mini, basada en un microcontrolador AVR at mega 328.

El sistema es confiable, gracias al uso de diversos sensores, el sistema es capaz de detectar que tipo de movimiento esta ocurriendo, si es un movimiento de traslado, o una manipulación no contemplada.

En caso de crear algún movimiento fuera de lo común en el equipo, el sistema acciona la alarma.

El sistema acciona una transmisión de datos en caso de robo, para alertar del robo y localización del mismo, asimismo, se acciona una alarma visual y cuenta con una salida de pulso para conectarse una alarma audible en caso de ser necesaria

Referencias

I. N. d. I. Nucleares, «<http://www.inin.gob.mx>,» 23 07 2013. [En línea]. Available: <http://www.inin.gob.mx/plantillas/opcionesmenuprincipal.cfm?idopc=1>. [Último acceso: 14 10 2013].

D. WOBSCHELL, CIRCUIT DESIGN FOR ELECTRONIC INSTRUMENTATION : ANALOG AND DIGITAL DEVICES FROM SENSOR TO DISPLAY, NEW YORK, E.E.U.U.: MCGRAW-HILL, 1979.

I. S. Corporation, «INDUSTRIAL SCIENTIFIC,» 2013. [En línea]. Available: <http://www.indsci.es/servicios/capacitacion/educacion-general-sobre-gas/sensor-electroquimico/>. [Último acceso: 05 11 2013].

A. Cabello, Tesis: Diseño de un sistema experto para el enderezado de chasis en frío., Puebla, Puebla.: Universidad de las Américas, 2009.

J. M. Tirabasso, «INTRODUCCIÓN A LA PROGRAMACIÓN DE PLC'S,» 2006.

E. I. Anywhere, «User Guide: GSM1308UG001.,» *Enfora GSM1308 Quad-Band SA-G+ User Manual*, nº 1.02, pp. 2 - 37, 2008.

P. DANERI, PLC: AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL, HASA, 2008.

UNITRONICS, *VISILOGIC SOFTWARE MANUAL*.

R. I. M. AP., «Introducción al monitoreo atmosférico,» ECO, 1997.

C. G., *Colorimetric Determination of Elements (principles and methods)*, 1964.

Anexos

CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

ACTIVIDAD	MESES					
	1o.	2o.	3o.	4o.	5o.	6o.
1 Recopilar normativa y bibliografía vigente en México con respecto al manejo y localización de fuentes radiactivas.	*					
2. Se realizará un estudio sobre las características radiológicas, físicas y mecánicas de la fuente de níquel 63 del detector de captura de electrones del CG-2010.	*	*				
3. Se realizará un estudio sobre diferentes dispositivos lógicos programables existentes, se analizarán las ventajas y se selecciona el que satisfaga mejor con las necesidades que debe cumplir el equipo detector de la fuente níquel 63 del Detector de captura de electrones GC-2010.	*	*				
4 Diseño y programación de los dispositivos y los sensores.		*	***	*	*	
5. Se elegirá e implementarán los protocolos de comunicación y envío de datos del equipo detector de la fuente níquel 63 del Detector de captura de electrones GC-2010				**	*	
6. Se realizarán pruebas del equipo y se diseñará su envoltente y soporte para fijar el equipo.					*	*
7. Se realizarán las conclusiones						*
8. Se redactará la tesis	*	*	*	*	*	**

OBSERVACIONES

*Representa una semana de trabajo