

CIS1310GN01

SIMMA: DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDICIÓN DE
MASAS



Pontificia Universidad
JAVERIANA
Bogotá

MARIANA RIOS FLORES

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA INGENIERÍA DE SISTEMAS
BOGOTÁ D.C.
2013

SIMMA: DISEÑO Y DESARROLLO DE UN SISTEMA AUTOMATIZADO DE MEDICIÓN DE
MASAS

Autora:
MARIANA RIOS FLORES

Memoria del trabajo de grado realizado para cumplir uno de los requisitos para optar al título de
Ingeniera Industrial e Ingeniera de Sistemas

Director:
Edgar González M.Sc. Ph.D.
Físico

Página web del Trabajo de Grado
<http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS1310GN01>

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA INGENIERÍA DE SISTEMAS
BOGOTÁ D.C.
2013

PONTIFICIA UNIVERSIDAD JAVERIANA
FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA INGENIERÍA INDUSTRIAL
CARRERA INGENIERÍA DE SISTEMAS

Rector Magnífico

Joaquín Emilio Sánchez García S.J.

Decano Académico Facultad de Ingeniería

Ingeniero Jorge Luis Sánchez Téllez

Decano del Medio Universitario Facultad de Ingeniería

Padre Sergio Bernal Restrepo S.J.

Director de la Carrera de Ingeniería Industrial

Ingeniero Carlos Eduardo Muñoz Rodríguez

Director de la Carrera de Ingeniería de Sistemas

Ingeniero Germán Alberto Chavarro Flórez

Artículo 23 de la Resolución No. 1 de Junio de 1946

“La Universidad no se hace responsable de los conceptos emitidos por sus alumnos en sus proyectos de grado. Sólo velará porque no se publique nada contrario al dogma y la moral católica y porque no contengan ataques o polémicas puramente personales. Antes bien, que se vean en ellos el anhelo de buscar la verdad y la Justicia”

CONTENIDO

LISTA DE TABLAS.....	7
LISTA DE FIGURAS	9
ABSTRACT.....	11
RESUMEN.....	11
RESUMEN EJECUTIVO	12
INTRODUCCIÓN	13
1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO	14
1.1 DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO	14
1.2 Formulación de la problemática.....	15
1.3 Requerimientos de diseño	15
1.4 Justificación.....	16
2 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO.....	17
2.1 Visión Global	17
2.2 Objetivo General	17
2.3 Objetivos Específicos.....	17
2.4 Metodología	17
2.5 Alcance.....	18
3 DISEÑO SISTEMA	19
3.1 DISEÑO COMPONENTE FÍSICO	19
3.1.1 Mecanismo piezoeléctrico.....	19
3.1.2 Mecanismo magnético.....	20
3.1.3 Componentes principales de la Balanza de SIMMA.....	23
3.1.4 Diseño	32
3.1.5 Fabricación Balanza	34
3.1.6 Costo fabricación.....	39
3.1.7 Experimento de evaporación.....	40
3.2 DISEÑO COMPONENTE LÓGICO.....	43
3.2.1 Diseño	46
3.2.2 Modelo de dominio	47
3.2.3 Casos de uso.....	49

3.2.4	Requerimientos no funcionales	51
3.2.5	Elección entorno de programación.....	51
3.2.6	Estrategia de implementación	54
3.2.7	Arquitectura.....	55
3.2.8	Diagrama Entidad – Relación.....	56
3.2.9	Implementación sistema AD	59
3.2.10	Pruebas	59
3.2.11	Extensión sistema AD	59
4	CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	60
4.1	CONCLUSIONES	60
4.2	TRABAJOS FUTUROS	62
5	BIBLIOGRAFÍA.....	63
6	ANEXOS.....	67
6.1	Glosario.....	67
	Calibración:.....	67
	Exactitud:	67
	Histéresis:.....	67
	Linealidad:.....	67
	Masa:.....	67
	Precisión:.....	67
	Resolución:.....	67
	Sensibilidad.....	67
6.2	Documentación sistema AD.....	68
6.2.1	Documentación modelo de dominio del sistema AD.....	68
6.2.2	Documentación Casos de Uso sistema AD	71
6.2.3	Priorización Casos de Uso sistema AD.....	72
6.2.4	Documentación modelo Entidad-Relación sistema AD	74
6.3	Documentación extensión sistema AD.....	77
6.3.1	Documentación modelo de dominio.....	77
6.3.2	Casos de uso extensión AD	84
6.3.3	Documentación Diagrama Entidad-Relación extensión sistema AD.....	91

LISTA DE TABLAS

Tabla 1: Cálculo de la relación entre la masa (gr) y desplazamiento (rd) en el galvanómetro de la balanza de SIMMA	27
Tabla 2: Propiedades materiales analizados para fabricación de la balanza de SIMMA	33
Tabla 3: Proceso de fabricación de la carcasa de la balanza de SIMMA	38
Tabla 4: Costo materiales utilizados para la fabricación de la balanza de SIMMA.....	40
Tabla 5: Requerimientos no funcionales	51
Tabla 6: Comparación PHP Frameworks – Adaptado de [28]	53
Tabla 7: Documentación entidad Usuario	68
Tabla 8: Documentación entidad Proyecto	68
Tabla 9: Documentación entidad Experimento	69
Tabla 10: Documentación entidad Característica.....	69
Tabla 11: Documentación entidad Iteración	69
Tabla 12: Documentación entidad Variable.....	70
Tabla 13: Documentación Casos de Uso sistema AD.....	72
Tabla 14: Priorización Casos de Uso sistema AD.....	73
Tabla 15: Documentación entidad Usuario	74
Tabla 16: Documentación entidad UsuarioxProyecto.....	74
Tabla 17: Documentación entidad Proyecto	74
Tabla 18: Documentación entidad Experimento	75
Tabla 19: Documentación entidad Característica.....	75
Tabla 20: Documentación entidad Iteración	75
Tabla 21: Documentación entidad VariablexIteracion.....	76
Tabla 22: Documentación entidad Variable.....	76
Tabla 23: Documentación entidad Usuario	79
Tabla 24: Documentación entidad Proyecto	79
Tabla 25: Documentación entidad Experimento	80
Tabla 26: Documentación entidad Laboratorio.....	80
Tabla 27: Documentación entidad Equipo	81
Tabla 28: Documentación entidad Característica.....	81
Tabla 29: Documentación entidad Parámetro	81
Tabla 30: Documentación entidad Iteración	82
Tabla 31: Documentación entidad Variable.....	82
Tabla 32: Documentación entidad Fin	83
Tabla 33: Documentación entidad TipoFin.....	83
Tabla 34: Documentación Casos de Uso extensión sistema AD.....	89
Tabla 35: Documentación entidad Usuario	93
Tabla 36: Documentación entidad UsuarioxProyecto.....	93
Tabla 37: Documentación entidad Proyecto	93
Tabla 38: Documentación entidad Experimento	94
Tabla 39: Documentación entidad Laboratorio.....	94

Tabla 40: Documentación entidad EquiposxExperimento	95
Tabla 41: Documentación entidad Equipo	95
Tabla 42: Documentación entidad Característica.....	95
Tabla 43: Documentación entidad Iteración	96
Tabla 44: Documentación entidad VariablexIteracion.....	96
Tabla 45: Documentación entidad Variable.....	97
Tabla 46: Documentación entidad Fin	97
Tabla 47: Documentación entidad TipoFin.....	97

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Componentes del Sistema Automatizado de Medición de Masas, SIMMA.....	15
Figura 2: Sensor de una microbalanza de cristal de cuarzo. Tomado de [10].....	19
Figura 3: Mecanismo de una balanza magnética magnético.].....	20
Figura 4: Cálculo masa pesante con un electroimán [Autor].....	21
Figura 5: Comparación balanza convencional y galvanómetro en sus puntos cero [Autor].....	21
Figura 6: Comparación balanza convencional y galvanómetro con masa a medir [Autor].....	22
Figura 7: Comparación balanza convencional y galvanómetro con contrapeso [Autor].....	22
Figura 8: Componentes galvanómetro.].....	23
Figura 9: Funcionamiento galvanómetro con una muestra muy liviana (hilo corto).....	24
Figura 10: Balanza analítica con el hilo utilizado en la Figura 9.	24
Figura 11: Galvanómetro utilizado para el mecanismo de la balanza de SIMMA.....	25
Figura 12: Radio y desplazamiento en el galvanómetro de la balanza de SIMMA.....	26
Figura 13: Relación entre el desplazamiento angular, el radio y el arco que barre la aguja.....	26
Figura 14: Relación entre la masa (gr) y el desplazamiento provocado (rd).....	27
Figura 15: Relación entre la corriente (mA) y el desplazamiento provocado (rd).....	28
Figura 16: Mecanismo de operación para medición de masa a partir de la corriente [Autor].....	29
Figura 17: Lector CD computador de escritorio utilizado para el posicionamiento automático.....	30
Figura 18: Circuito y bandeja del Lector de CD de un computador de escritorio.....	30
Figura 19: Circuito y bandeja del Lector de CD de un computador de escritorio.....	31
Figura 20: Mecanismo de carga y descarga de la muestra en modo automático [Autor].....	31
Figura 21: Diseño carcasa de la balanza de SIMMA.....	32
Figura 22: Componentes balanza de SIMMA.....	33
Figura 23: Galvanómetro sobre bandeja de CD.....	39
Figura 24: Experimento de pérdida de masa utilizando acetona.....	41
Figura 25: Experimento de pérdida de masa utilizando alcohol.....	41
Figura 26: Arquitectura SIMMA [Autor].....	43
Figura 27: Tarjeta de captura de referencia NI-USB 6009.....	44
Figura 28: Proceso obtención datos.....	44
Figura 29: Programa en Labview.....	45
Figura 30: Código Labview s.....	45
Figura 31: Metodología de desarrollo iterativa e incremental junto con el Ciclo de Deming.....	46
Figura 32: Modelo de Dominio.....	48
Figura 33: Diagrama casos de uso.....	50
Figura 34: Google PHP Framework Trends Abril 08, 2013.....	53
Figura 35: Dependencias casos de uso.....	55
Figura 36: Modelo de despliegue.....	56
Figura 37: Diagrama Entidad-Relación.....	58
Figura 38: Modelo de Dominio extensión AD.....	78
Figura 39: Permisos actores extensión sistema AD.....	84
Figura 40: Diagrama Casos de Uso extensión sistema AD.....	86

Figura 41: Dependencias Casos de Uso extensión sistema AD	90
Figura 42: Diagrama Entidad-Relación extensión sistema AD.....	92

ABSTRACT

In the process of nanomaterials production the manipulation of reagents is really important. However, when working with small masses of these reagents (in the order of milligrams) weighing equipment of high accuracy is costly and requires direct manipulation operation. This work illustrates the design of an automated measurement system that consists of a mass scale and software that stores and manages this data, contributing to the solution of small mass measurement in environments absent of contamination and direct manipulation.

RESUMEN

En los procesos de producción de nanomateriales resulta de gran importancia la manipulación de reactivos. Sin embargo, al momento de trabajar con masas pequeñas de estos reactivos (del orden de los miligramos) los equipos de pesaje de gran precisión son costosos y requieren la manipulación directa para su funcionamiento. Este trabajo reporta el diseño de un sistema automatizado de medición de masas compuesto por una balanza y un software que almacena y administra los datos, el cual contribuye a la solución del problema de medición de masas pequeñas en ambientes ausentes de contaminación y manipulación directa por parte del usuario.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente Trabajo de Grado inscrito al grupo de investigación de Nanociencia y Nanotecnología GNano de la Pontificia Universidad Javeriana está enfocado como proyecto interdisciplinar de investigación y aplicación práctica. En este se realizó el diseño y desarrollo de un sistema automatizado de medición de masas (SIMMA), compuesto por un componente físico y un componente lógico.

El componente físico se encuentra representado por una balanza, mientras que el componente lógico está representado por un programa que se encarga de almacenar y administrar los datos provenientes de la balanza.

SIMMA trabaja bajo dos modos de operación: el manual y el automático. En el modo manual la interacción entre el componente lógico y el componente físico se realiza a través del usuario o investigador, mientras que en el modo automático se realiza por medio de una interfaz que se encarga de controlar el componente físico, capturar los datos provenientes de este y transmitirlos al componente lógico.

De esta manera, SIMMA puede trabajar bajo diferentes configuraciones que permiten su versatilidad y utilización para diferentes laboratorios y experimentos.

El diseño y desarrollo del Sistema automatizado de medición de masas SIMMA nació por la identificación de una problemática, se desarrolló por etapas iterativas bajo la integración de diferentes áreas de conocimiento y se concluyó con la implementación del sistema, lo cual demuestra que es posible diseñar sistemas de medida de gran precisión siempre y cuando se consideren las variables y restricciones que influyen en el proceso.

El sistema ayuda a resolver el problema de medición de pequeñas masas (del orden de miligramos) por vía directa e indirecta en procesos de producción de nanomateriales así como el almacenamiento de la información proveniente de los experimentos realizados con este sistema.

SIMMA resulta útil para los laboratorios de biología, microbiología, física, medicina, entre otros, donde se requiera la medición de masas del orden de los miligramos con una sensibilidad de 5×10^{-5} g y una precisión de 0,00001 g, además de almacenar de manera estructurada las medidas realizadas en los diferentes experimentos para que en un futuro estas medidas se puedan analizar con diferentes técnicas de probabilidad y/o minería de datos.

INTRODUCCIÓN

El diseño y desarrollo de SIMMA que se reporta en este documento está dividido en cuatro capítulos:

- En el primer capítulo se presenta el contexto que enmarca la problemática a la cual el trabajo de grado busca contribuir, la justificación de la importancia de resolver esta problemática y por último, el capítulo detalla las restricciones que limitaron el diseño de SIMMA.
- El segundo capítulo presenta la definición del trabajo enmarcada en el objetivo general, los objetivos específicos y la metodología seguida para el desarrollo del trabajo. Gracias a este capítulo se evidencia la estructura de SIMMA y la interacción entre sus componentes.
- El diseño de SIMMA se presenta en el tercer capítulo, donde se indica la manera en que se llevó a cabo el proceso de desarrollo del concepto operativo de la balanza, la definición del modelo que soporta el concepto y la construcción del componente físico y lógico que permiten el funcionamiento de SIMMA
- El trabajo culmina con el cuarto capítulo, en donde se enuncian las conclusiones y los trabajos futuros presentando la manera en cómo el trabajo contribuyó a la solución de la problemática planteada y cómo continuar su fase de desarrollo y mejoramiento.

Dada la terminología manejada en el trabajo, se recomienda revisar el Glosario ubicado en el Anexo 6.1.

1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO

1.1 DESCRIPCIÓN DEL CONTEXTO

En los procesos de producción de nanomateriales resulta de gran importancia la cuantificación y manipulación de reactivos. Es usual que estas prácticas se hagan mediante sistemas convencionales de pesaje, tales como, las balanzas analíticas [3]. Sin embargo, al momento de trabajar con masas pequeñas (del orden de los miligramos) los equipos de gran precisión son costosos y requieren la manipulación directa para su funcionamiento [4].

La medición de la masa por vía directa se realiza en cuatro pasos: *i)* el primero consiste en colocar el vidrio reloj o el papel de pesado sobre la balanza, *ii)* luego se calcula la tara correspondiente para desprejar el peso del objeto donde se coloca la muestra. *iii)* Por medio de una espátula se agrega el reactivo al recipiente o papel y finalmente, *iv)* se procede a anotar el número que la balanza muestra en su pantalla [7].

De acuerdo a este protocolo de medición directa de pequeñas masas de reactivos, se identifican tres problemas: *i)* dificultades en la manipulación de bajas cantidades de reactivo, *ii)* contaminación de los reactivos y *iii)* posibles problemas de salud del experimentador al trabajar directamente con sustancias químicas eventualmente tóxicas.

Aunque existe información de dos empresas multinacionales (Sartorius [5] y Mettler Toledo [6]) que se encuentran desarrollando equipos de alta tecnología para medir de manera automática pequeñas masas, a la fecha, no se ha encontrado reporte de un sistema de medición automatizado que permita la mitigación de estos problemas, o una medición precisa del compuesto a medir por vía indirecta.

Dentro de los grupos de investigación interesados en el sistema de medición de masas, se encuentra el Grupo de Investigación de Nanociencia y Nanotecnología GNano de la Pontificia Universidad Javeriana [2], el cual trabaja en procesos que requieren alta precisión en el pesaje de los reactivos a utilizar en el laboratorio, además de confianza en la reproductibilidad de los experimentos por la ausencia de contaminación. De igual forma, el grupo GNano necesita un sistema que pueda capturar y almacenar la información que se obtiene de los experimentos que involucren mediciones de masa.

Es por esto que SIMMA está diseñado de tal manera que posea alta precisión, bajos niveles de contaminación, capacidad para realizar tareas automáticas sin la manipulación directa del usuario y la recolección y el almacenamiento de datos obtenidos de los procesos experimentales correspondientes.

1.2 Formulación de la problemática

A pesar de existir diferentes formas de medir cantidades del orden de los miligramos, no es evidente la existencia de un sistema automatizado que permita realizar la medición de una manera económica y sin intervención humana directa en la manipulación de reactivos.

Con base en esto surgió la pregunta: **¿Cómo se pueden medir masas de reactivos de manera automatizada con alto grado de precisión sin la contaminación y manipulación directa?**

1.3 Requerimientos de diseño

El sistema automatizado de medición de masas SIMMA consiste en dos componentes fundamentales que se muestran en la Figura 1:

- Componente físico: Es la parte física del sistema encargada de proveer el mecanismo para la medición de la masa correspondiente.
- Componente lógico: Es la parte encargada de calcular la masa que se quiere medir, capturar los datos correspondientes a las mediciones realizadas y almacenar y administrar dichos datos.

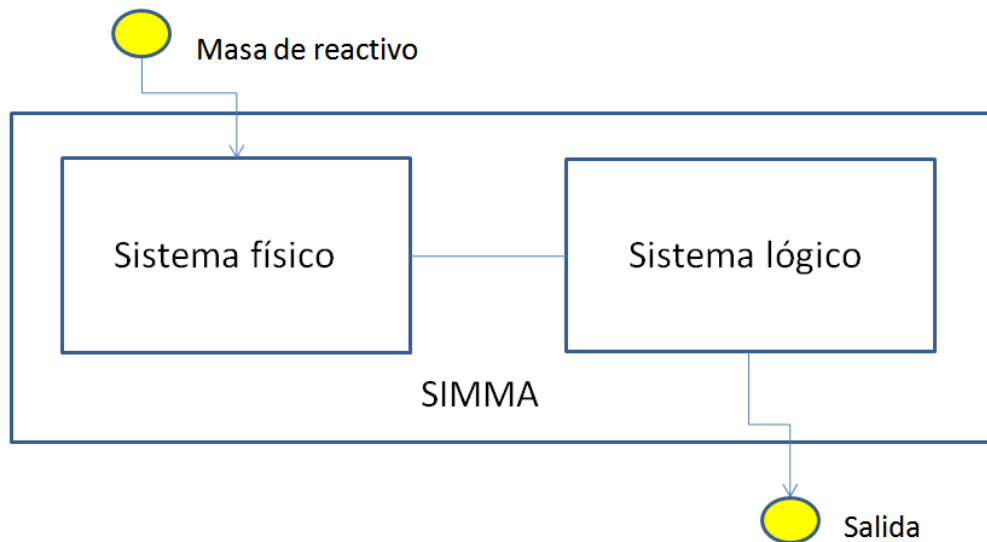


Figura 1: Componentes del Sistema Automatizado de Medición de Masas, SIMMA

Desde un principio se decidió que el componente físico de SIMMA debía diseñarse y fabricarse con componentes de bajo costo, cuya vida útil haya concluido para que sean reutilizados en el sistema. La sensibilidad del sistema de medición debe mantenerse en el orden de los miligramos, además de permitir la realización de mediciones directas, indirectas y automatizadas.

De igual forma, para el componente lógico se decidió que su creación o contribución se realizaría para la comunidad del software libre[8] ¹ de manera que dicha comunidad interesada en el proyecto, pueda ampliarlo y mejorarlo.

1.4 Justificación

Las expectativas que genera la revolución nanoescalar, en especial el impacto que puede tener en el mejoramiento de las condiciones de vida con aplicaciones en medicina, comunicaciones, computación, industria automotriz, textil, electrónica, entre otras, ha llevado a la nanotecnología a convertirse en una plataforma tecnológica y de investigación en universidades y empresas, bajo un objetivo común: innovación, desarrollo y competitividad[1].

Algunos investigadores requieren instrumentos que faciliten la medición de masas pequeñas. De otra parte, la manipulación de ciertos reactivos presenta inconvenientes de contaminación y precisión en la medida por su reducida cantidad.

SIMMA contribuye a la solución de esta problemática, permitiendo calcular pequeñas masas (del orden de los miligramos) en diferentes escenarios y configuraciones para trabajar en ambientes sin contaminación y manipulación directa. Además, permite realizar experimentos que con una balanza convencional no se podrían efectuar, como el monitoreo continuo de pequeñas pérdidas de masa.

SIMMA está diseñado con componentes que han cumplido su vida útil, los cuales han sido reciclados contribuyendo al medio ambiente y favoreciendo los costos de producción al hacer de esta, una solución económica.

SIMMA permite capturar y administrar datos obtenidos en experimentos de laboratorios de biología, microbiología, física, medicina, entre otros, donde se requiere la medición de masas del orden de miligramos con una sensibilidad de 5×10^{-5} g y una precisión de 0.00001 g.

Para el caso particular del Grupo GNano, esta solución aporta una herramienta versátil de gran importancia para las tareas experimentales que requieren la manipulación de reactivos utilizados para las investigaciones de producción y utilización de nanomateriales.

Dadas las características y exigencias de SIMMA la estudiante pudo trabajar de manera interdisciplinaria con otras áreas del conocimiento como ingeniería industrial, ingeniería de sistemas, diseño industrial, física y ciencia de los materiales, complementando el proceso de formación y enriqueciendo el trabajo realizado.

¹ La comunidad del software libre está formada por usuarios y desarrolladores de software libre.

2 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE GRADO

2.1 Visión Global

El presente trabajo de grado contiene el diseño y desarrollo de un sistema automatizado de medición de masas (SIMMA), compuesto por un componente físico y un componente lógico, con una balanza física y un sistema de administración y almacenamiento de datos, respectivamente. El sistema ayuda a resolver el problema de medición de pequeñas masas (del orden de miligramos) por vía directa e indirecta en procesos de producción de nanomateriales, así como el almacenamiento de la información proveniente de los experimentos realizados.

2.2 Objetivo General

Desarrollar una solución automática al problema de medición de masas con precisión, ausencia de contaminación y manipulación directa.

2.3 Objetivos Específicos

- Diseñar el componente físico del sistema de medición automatizada², capaz de medir masas entre 1 y 10.000 miligramos
- Diseñar e implementar un programa³ responsable de la operación del sistema automatizado de medición SIMMA
- Validar la interacción entre un modelo del componente físico del sistema de medición automatizada y el programa responsable de su operación

2.4 Metodología

La modalidad del trabajo es de investigación y aplicación práctica, donde, para el logro del objetivo general el proyecto se dividió en 3 fases, las cuales no representan una secuencia. Se busca agrupar actividades conexas en un bloque coherente, por tanto, algunas de las actividades de las fases se realizaron en forma concurrente e iterativa, para incrementar su completitud. Cabe aclarar, que los objetivos específicos demarcan las fases metodológicas del proyecto, las cuales están asociadas a unas actividades determinadas.

Fase 1: Diseño del sistema físico

Primero se recopiló bibliografía sobre los principales mecanismos de balanzas existentes, para evaluar su funcionalidad en la solución del problema a resolver por este trabajo. Luego, se

² Se hace referencia a un proceso automatizado donde no hay intervención humana directa para realizar la medida.

³ Programa: Conjunto unitario de instrucciones que permite a un ordenador realizar funciones diversas, como el tratamiento de textos, el diseño de gráficos, la resolución de problemas matemáticos, el manejo de bancos de datos, etc [15]

identificaron y estudiaron los principales componentes de dichos mecanismos y la manera en cómo estos se podían complementar con otros instrumentos para dar paso a la elaboración del diseño del componente físico.

Fase 2: Diseño e implementación de un programa responsable de la operación del sistema automatizado de medición SIMMA

Primero se identificaron las necesidades que surgían en respuesta a los datos provenientes del componente físico y según estos se buscó la bibliografía de programas que existen en el mercado. Al no encontrarse una solución adecuada, se procedió por evaluar la plataforma y herramientas de software que serían utilizadas para el desarrollo del sistema.

Por último, se diseñó, implementó y probó el sistema responsable de la operación de SIMMA.

Fase 3: Validación de la interacción entre el diseño del sistema físico y el sistema lógico

Se evaluaron las diferentes alternativas para realizar la abstracción del diseño del componente físico de manera que se pudiera construir y probar el diseño del componente físico, así como evaluar la relación de este con el componente lógico.

2.5 Alcance

Dado el tiempo de desarrollo, SIMMA presenta el siguiente alcance:

- **Componente físico:** Está compuesto por el desarrollo del concepto de funcionamiento de la balanza, el diseño e interacción de los componentes que permiten el funcionamiento y el desarrollo de la carcasa de la balanza. De esta manera, se probaron los componentes por separado y sobre estos se realizaron las pruebas y los cálculos correspondientes (ver Sección 3.1.3.2).
El prototipo final no es funcional, pero permite visualizar el diseño y el concepto desarrollado a lo largo del trabajo.
- **Componente lógico:** Se realizó la programación correspondiente en LabView para poder utilizar la interfaz NI-USB 6009 (ver Sección 3.2), proporcionándole la corriente indicada a la balanza, además de capturar la información de la masa calculada. Esta información se exporta a un archivo XML permitiendo que el Sistema AD (ver Sección 3.2.1) cargue la información, la almacene y permita su administración.

3 DISEÑO SISTEMA

3.1 DISEÑO COMPONENTE FÍSICO

Para la solución de un sistema que pueda medir masas con precisión bajo diferentes ambientes y configuraciones como: *i)* dentro de una caja de guantes cuando se requieren mediciones de masa en condiciones de atmósfera inerte, *ii)* como parte de un reactor para producción de materiales o de procesos químicos, *iii)* en cabinas donde se requieren condiciones de esterilización, *iv)* como parte integral de sistemas automáticos en los cuales no existe manipulación directa en los procesos de medición de masa, entre otros, el componente físico debe cumplir con los requerimientos de diseño señalados en la Sección 1.3.

Con base en lo anterior, se estudiaron diferentes tipos de balanza, para analizar su mecanismo y así determinar cuál de estas posibilidades podría llegar a ser la más adecuada.

En esta búsqueda se analizaron las balanzas con mecanismos ópticos, piezoeléctricos y magnéticos. Sin embargo, por la facilidad de adquirir los materiales y por el funcionamiento de estas se decidió profundizar en las balanzas piezoeléctricas y las balanzas magnéticas.

3.1.1 Mecanismo piezoeléctrico

El mecanismo piezoeléctrico se utiliza en microbalanzas de cristal de cuarzo (QCM). En estos sistemas se aprovechan las propiedades del material piezoeléctrico para medir la cantidad de masa añadida [9]. Estas balanzas están constituidas por un delgado disco de cuarzo (ver Figura 2) el cual tiene una relación lineal entre la tensión mecánica y el potencial eléctrico de salida. Cuando el cristal es sometido a una compresión producida por la masa a medir, se producen diferencias de potencial que permiten correlacionarlas con la cantidad de la masa colocada sobre el disco. [10].

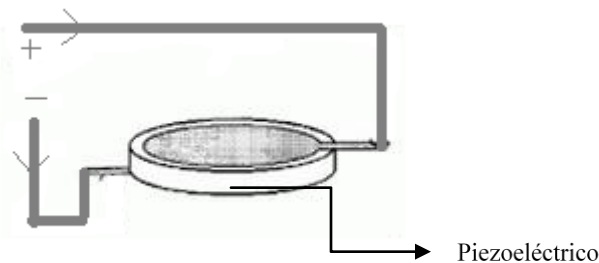


Figura 2: Sensor de una microbalanza de cristal de cuarzo. Tomado de [10]

Para determinar si el mecanismo piezoeléctrico trabaja con las condiciones requeridas, se hizo uso de un sistema dotado de piezoeléctrico para transducción electro-sonora (utilizada en micrófonos piezoeléctricos). Realizada las pruebas, no se obtuvo el resultado esperado en cuanto a la sensibilidad que se requiere para SIMMA, por lo que se procedió a trabajar con mecanismos magnéticos.

3.1.2 Mecanismo magnético

El principio de funcionamiento en balanzas que utilizan el mecanismo magnético (imán con bobina coaxial) se traduce en una señal eléctrica a causa del movimiento relativo entre la bobina y el imán.

Estas balanzas tienen partes móviles (platillo de pesaje, columna de soporte (ver Figura 3, componente 'a'), bobina, indicador de posición) que son mantenidas en equilibrio por una fuerza de compensación que es igual al peso que se coloca sobre el platillo. La fuerza de compensación es generada por el flujo de una corriente eléctrica, a través de una bobina ubicada en el espacio de aire existente en un electroimán cilíndrico [11].

Con cualquier cambio en la muestra (ver Figura 3, componente 'g'), el sistema mecánico móvil 'a' responde desplazándose verticalmente una fracción de distancia detectada por un fotosensor 'e'. El fotosensor envía una señal eléctrica al servoamplificador 'f' el cual cambia el flujo de corriente eléctrica que pasa por la bobina del imán 'c' para que el sistema móvil retorne a la posición de equilibrio al ajustarse el flujo magnético en el electroimán. En consecuencia, el peso de la masa se puede medir de forma indirecta a partir del flujo de corriente eléctrica que pasa por él [12].

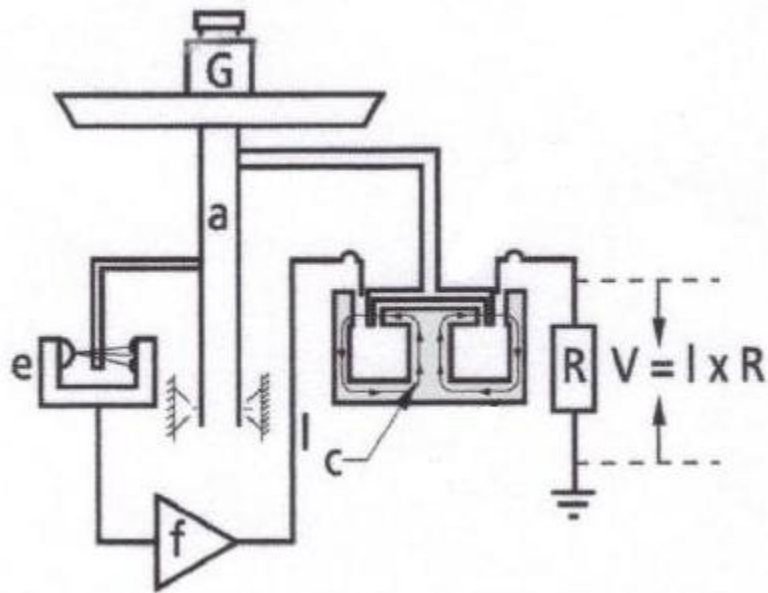


Figura 3: Mecanismo de una balanza magnética magnético. (a) Sistema mecánico móvil, (c) Imán, (e) Fotosensor, (f) Servoamplificador. Tomado de [12]

El mecanismo presenta algunas variaciones según el tipo de balanza, pero su principio es el mismo. Es por esto que se estudió este mecanismo y se hicieron diseños para establecer la relación entre el campo magnético y la masa pesante (ver Figura 4).

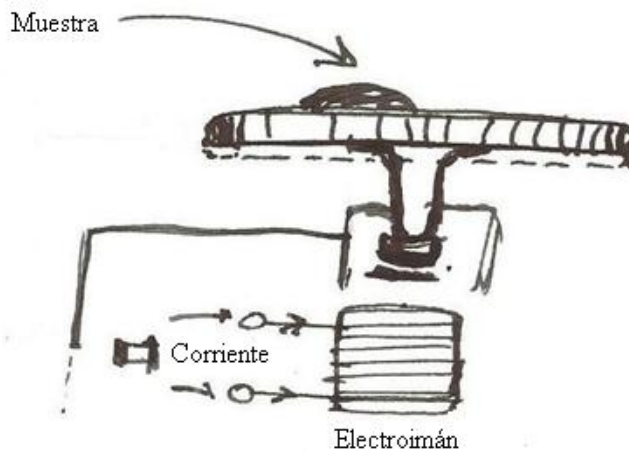


Figura 4: Cálculo masa pesante con un electroimán [Autor]

Sin embargo, por problemas de calibración y de diseño se descartó este mecanismo.

En una siguiente etapa, se consideró la opción de aprovechar el concepto de las balanzas convencionales de dos platos, las cuales realizan medición de masa pesante, pero con la adaptación de que al actuar la gravedad se usa un mecanismo restaurador magnético (como el de las balanzas magnéticas) y un resorte mecánico para el cálculo de la masa.

En un plato (ver Figura 5) se coloca la masa a medir en la balanza de brazo, perdiendo el equilibrio el cual es restablecido con un contrapeso que regresa al brazo a su equilibrio inicial.

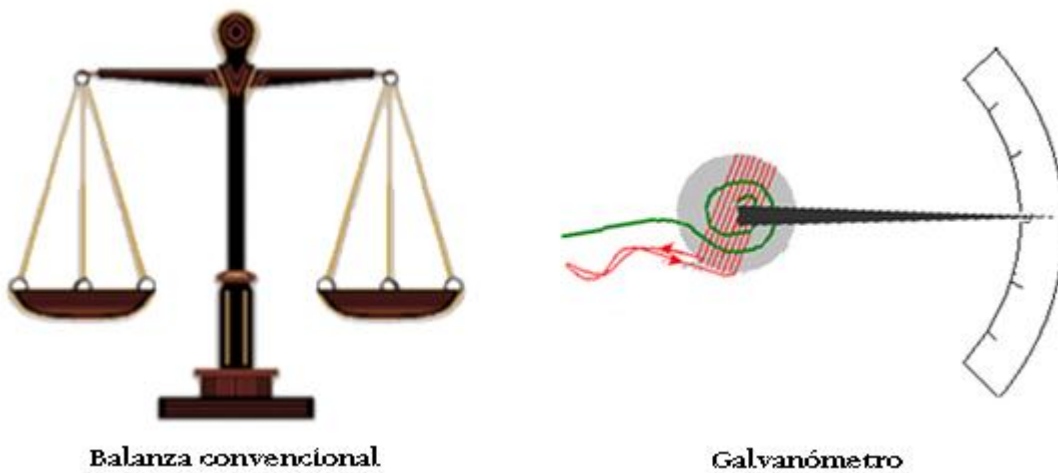


Figura 5: Comparación balanza convencional y galvanómetro en sus puntos cero [Autor]

Metafóricamente, una aguja unida a un sistema magneto-bobina que forma parte de un galvanómetro convencional juega el papel del plato donde se coloca la masa (ver Figura 6).

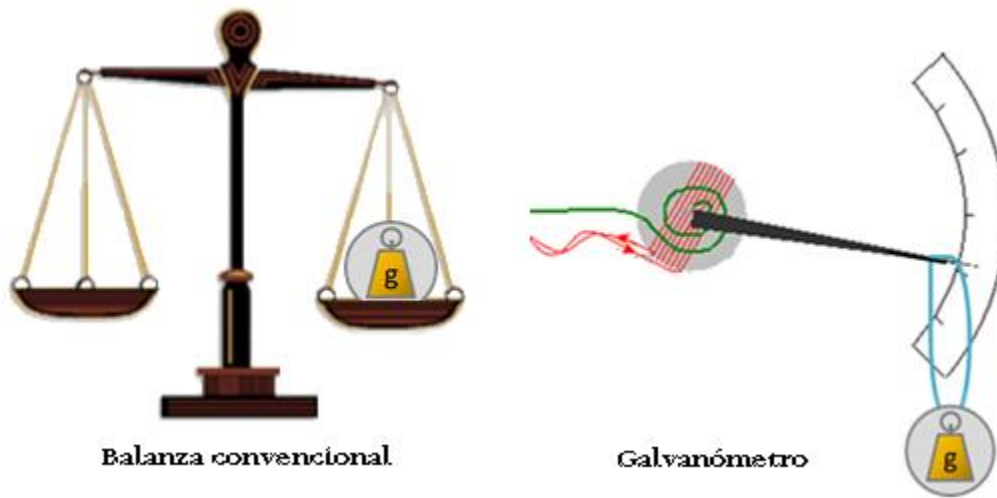


Figura 6: Comparación balanza convencional y galvanómetro con masa a medir [Autor]

Para restablecer su condición inicial, una corriente fluye a través de la bobina y haciendo las veces de contrapeso que regresa al sistema (galvanómetro) al equilibrio inicial (ver Figura 7).



Figura 7: Comparación balanza convencional y galvanómetro con contrapeso [Autor]

Como pudo ser verificado (ver Sección 3.1.3.2) la sensibilidad para el desplazamiento de la aguja es tal que permite mediciones en el orden de los miligramos.

3.1.3 Componentes principales de la Balanza de SIMMA

3.1.3.1 Galvanómetro

El galvanómetro es una herramienta que se usa para detectar y medir la corriente eléctrica cuyo funcionamiento se basa en fenómenos magnéticos.

Está compuesto (ver Figura 8) de una aguja indicadora (3), unida mediante un resorte espiral (7) al eje de rotación de una bobina rectangular plana (2), que está suspendida entre los polos opuestos de un imán permanente (1).

En el interior de la bobina se coloca un núcleo de hierro dulce (6), con el fin de concentrar las líneas de inducción magnética.

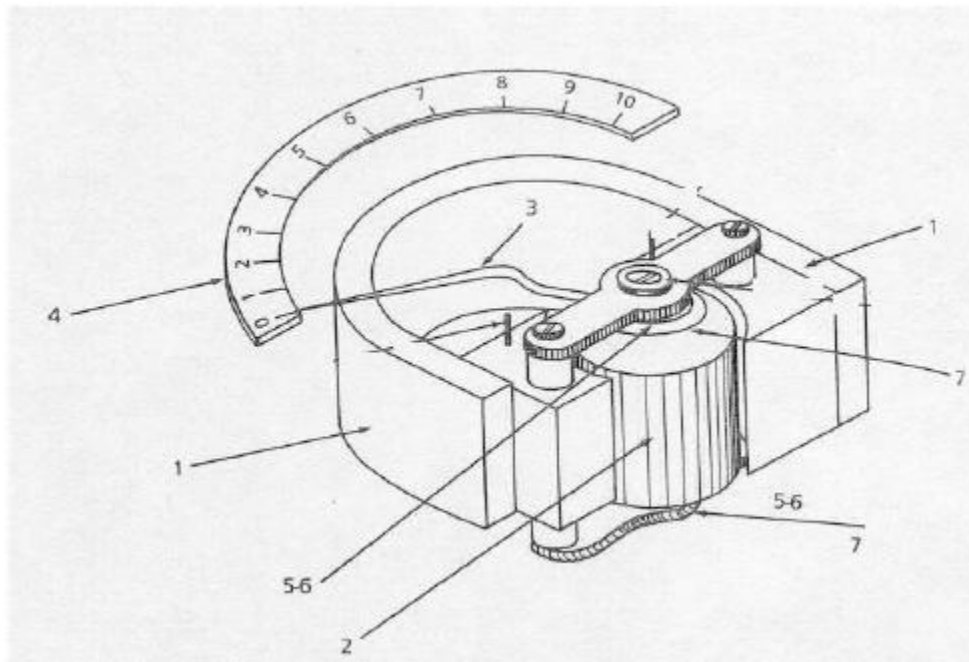


Figura 8: Componentes galvanómetro. (1) Imán permanente, (2) Bobina, (3) Aguja, (4) Escala, (5-6) Hierro dulce, (7) Resorte en espiral. Tomado de [13]

Al estar la bobina sumergida en el interior de un campo magnético creado por el imán fijo, cuando circula corriente por ella se produce un par de fuerzas sobre la bobina que la hacen rotar, arrastrando consigo a la aguja unida a su eje.

La aguja se desplaza de manera angular e indica en una escala (4) la intensidad de corriente que atraviesa la bobina, de manera que al relacionar este valor con la fuerza de compensación del desplazamiento se puede realizar el cálculo de la masa pesante. En otras palabras (ver Figura 9), al colocar sobre la aguja una muestra, esta presenta un desplazamiento que requiere un aumento de corriente para que el sistema vuelva a equilibrarse y por tanto, en relación a la corriente aplicada, se calcula la masa de la carga [14].

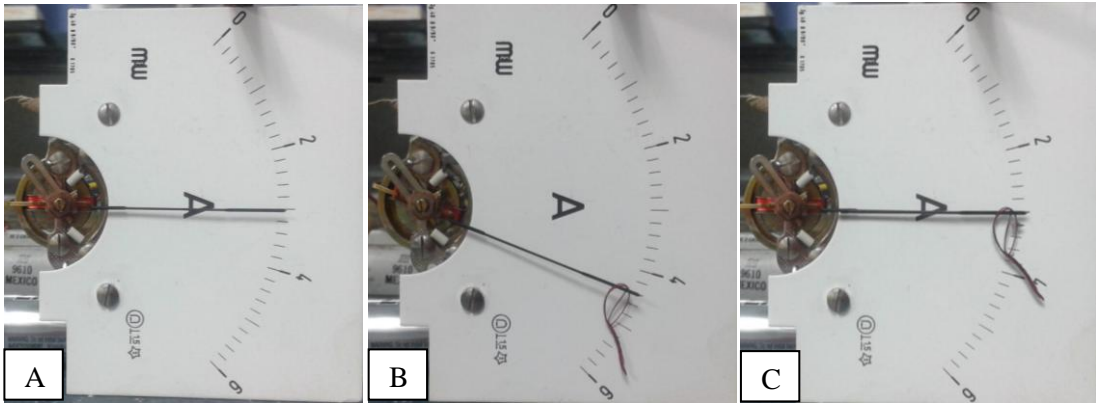


Figura 9: Funcionamiento galvanómetro con una muestra muy liviana (hilo corto). A) Aguja con corriente, pero sin masa. B) Aguja con hilo C) Aguja con corriente e hilo restaurando la posición inicial de la aguja

En la Figura 9 se utilizó un hilo de longitud 1.8cm el cual no pudo medirse con una balanza analítica de 4 cifras significativas (ver Figura 10), pero si con la balanza de SIMMA.

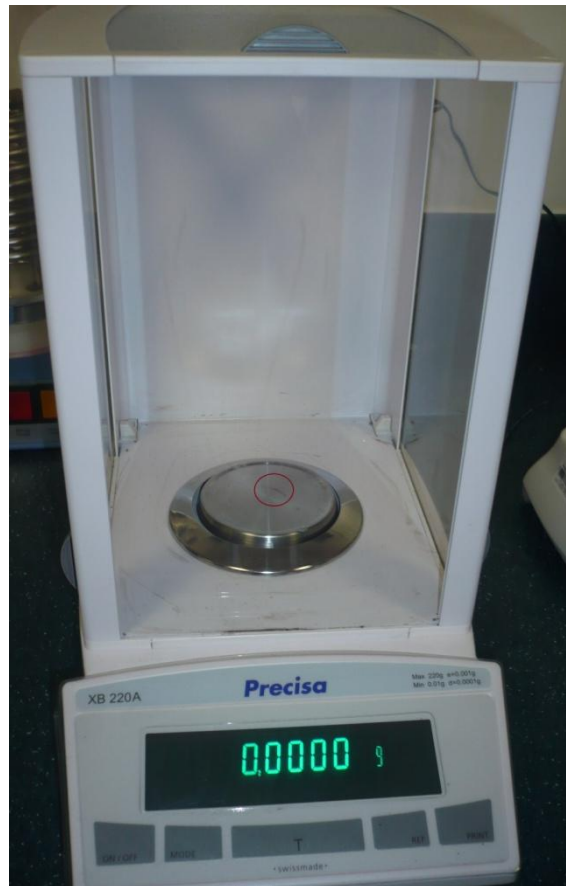


Figura 10: Balanza analítica con el hilo utilizado en la Figura 9 (marcado en un círculo rojo). Se hace posible observar que la balanza convencional no puede registrar la masa de este objeto.

El galvanómetro cuenta con un resorte en espiral que retorna a la aguja a su posición original, una vez se interrumpe el paso de la corriente. Esta propiedad es fundamental controlarla ya que facilita la calibración del galvanómetro.

Cabe resaltar, que la fuente de corriente que recibe el galvanómetro se encuentra controlada por un potenciómetro lineal, que facilita la calibración.

Al momento de buscar un galvanómetro para ser utilizado en SIMMA se tuvo en cuenta:

- El resorte debía manejar un ciclo de histéresis cercano a cero.
- La relación entre el ángulo de desplazamiento de la aguja en función de las corrientes aplicadas debe ser lineal [15].
- Debía ser de segunda mano para contribuir con el medio ambiente en la reutilización de materiales.
- La aguja debía ser lo más larga posible ya que a mayor longitud, mayor torque y por ende, mayor sensibilidad.

El galvanómetro seleccionado se muestra en la Figura 11, el cual cumple con las primeras tres características mencionadas anteriormente. El largo de la aguja no fue el mejor, pero en relación a las demás características, fue el que mejor las cumplió.

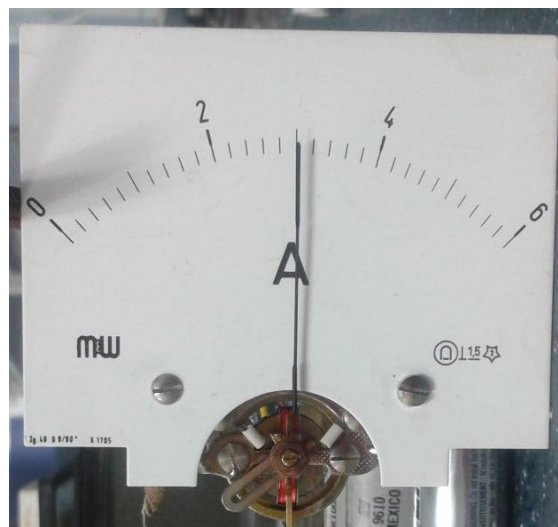


Figura 11: Galvanómetro utilizado para el mecanismo de la balanza de SIMMA

Se elaboró un experimento para determinar si la relación entre el ángulo de desplazamiento de la aguja y las corrientes aplicadas era lineal. Para esto, se aprovechó el indicador de escala del galvanómetro para determinar el desplazamiento angular que hay entre cada marca.

Como lo ilustra la Figura 12, el radio de la aguja y el desplazamiento que experimenta entre dos marcas permite obtener el ángulo de desplazamiento de la aguja:

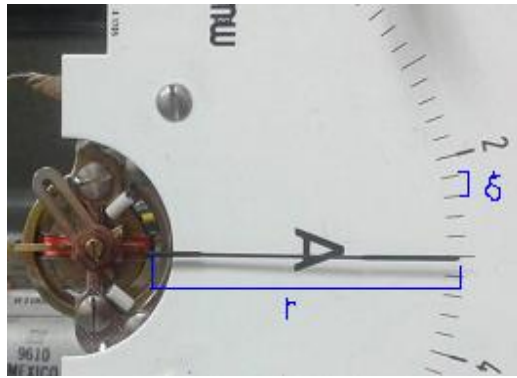


Figura 12: Radio y desplazamiento en el galvanómetro de la balanza de SIMMA

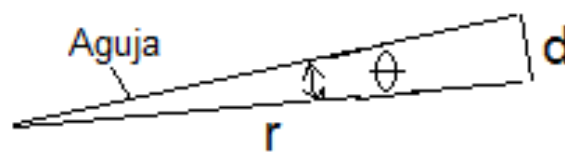


Figura 13: Relación entre el desplazamiento angular, el radio y el arco que barre la aguja

$$r = 3.41 \pm 0.02 \text{ cm}$$

$$\delta = 0.2 \pm 0.2 \text{ cm}$$

Ya que el ángulo es “muy pequeño” resulta válida la relación $\text{sen}\theta \sim \theta$, de donde:

$$\theta = \frac{\delta}{r}$$

$$\theta = 0.66 \pm 0.02 \text{ rd}$$

Gracias a este cálculo, se efectuaron las medidas del desplazamiento en relación a la masa colocada sobre la aguja.

Como masa patrón se escogió un hilo de tamaño 1.8cm cuyo peso es de 0.0008g^4 . Se colocaron en la aguja del galvanómetro múltiplos enteros de la masa patrón y se determinó su relación entre el peso y el desplazamiento (ver Tabla 1).

⁴ Para medir esta masa, se colocó sobre una balanza analítica con 10^{-4}g de sensibilidad un hilo 64 veces mayor en longitud al escogido para esta medición y la masa resultante se dividió por 64 partes para obtener la masa del hilo con longitud 1.8cm.

Masa (gr)	Desplazamiento angular (rd)
0.0008±0.0001	0.06±0.002
0.0016±0.0001	0.12±0.002
0.0024±0.0001	0.18±0.002
0.0032±0.0001	0.24±0.002
0.0040±0.0001	0.30±0.002

Tabla 1: Cálculo de la relación entre la masa (gr) y desplazamiento (rd) en el galvanómetro de la balanza de SIMMA

La gráfica correspondiente a los datos obtenidos (ver Figura 14) evidencia una relación lineal entre la masa y el desplazamiento obtenido. Es decir, el desplazamiento es directamente proporcional a la masa colocada para la medición.

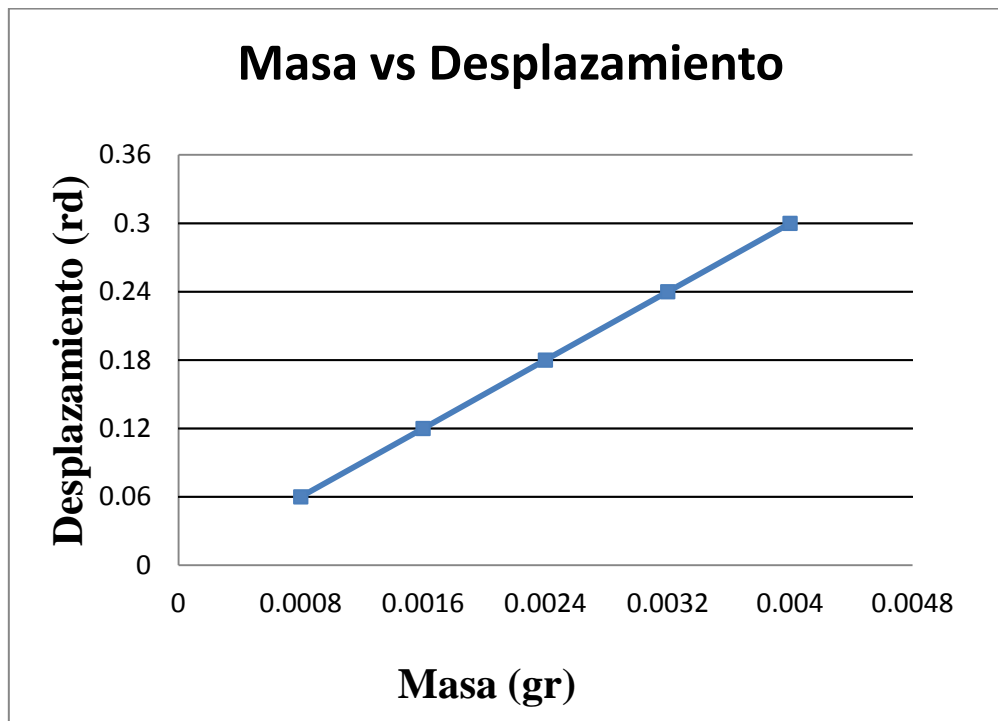


Figura 14: Relación entre la masa (gr) y el desplazamiento provocado (rd) en la aguja del galvanómetro de la balanza de SIMMA

Como resultado del experimento se obtuvo una constante K del galvanómetro de 0,0008rd/g y una relación lineal, representada por la ecuación:

$$m = 8 \times 10^{-4}\theta$$

Donde

$m = \text{masa en gramos}$

$\theta = \text{desplazamiento en radianes}$

3.1.3.2 Cálculo Sensibilidad

Gracias a la ecuación de linealidad de la balanza, al conocer el valor del desplazamiento angular causado por una muestra, es posible determinar el valor de la masa de la muestra. De esta manera la sensibilidad de la balanza es de 8×10^{-4} g por división de la escala marcada.

Sin embargo a la balanza se le hace posible mejorar notablemente su sensibilidad si se hace uso de la medida de la masa no por el registro del desplazamiento de la aguja sobre el tablero sino por la corriente eléctrica asociada con dichos desplazamientos. La corriente eléctrica aplicada al galvanómetro para que se desplace la aguja entre dos marcas entre las cuales hay una rotación angular de 0.06 radianes es de 1 mA.

Esta sería la corriente asociada a la sensibilidad tomada directamente de la observación del desplazamiento de la aguja entre las marcas de la escala.

Al ser tan delgada la aguja y de la relación lineal determinada anteriormente, si se tomaran intervalos de corriente de 0.2 mA, podrían medirse masas con una sensibilidad 5 veces mayor a la anterior ya que estos valores de corriente 0.2 mA o menos pueden medirse con gran precisión y la aguja tendría cinco desplazamientos (cada uno de 0.2 mA) bien definidos entre cada dos marcas.

Por lo que con mediciones en la corriente y no en la observación directa del desplazamiento de la aguja sobre la escala, la sensibilidad de la balanza puede incrementarse a 5×10^{-5} g, manteniéndose la relación lineal entre el desplazamiento y la corriente que se le ingresa al galvanómetro (ver Figura 15).

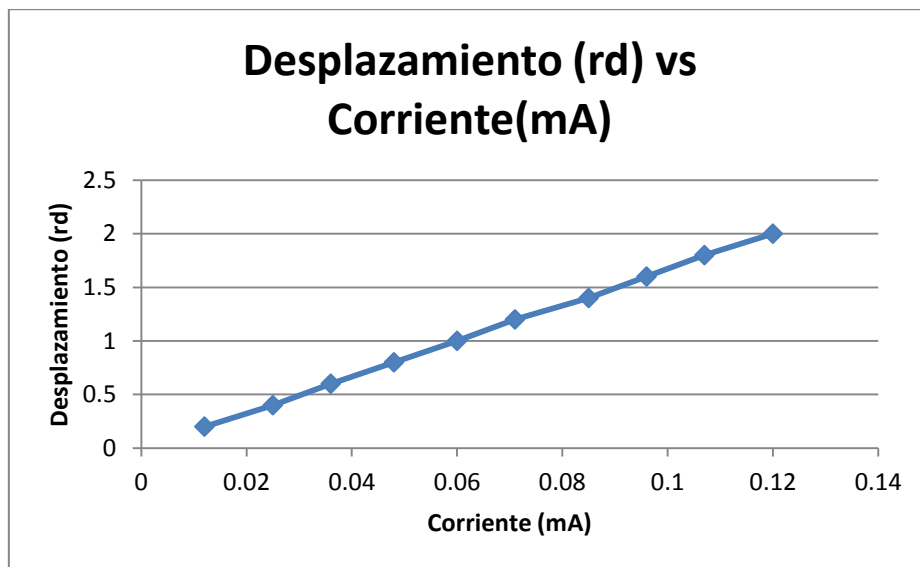


Figura 15: Relación entre la corriente (mA) y el desplazamiento provocado (rd) en la aguja del galvanómetro de la balanza de SIMMA

3.1.3.3 Precisión y Exactitud

La precisión se define como la dimensión mínima exacta que se puede leer en la balanza (ver Anexo 6.1), representada por la última cifra significativa, por lo que la balanza de SIMMA maneja una precisión de décimas de miligramo, es decir, 0.00001g.

Para la realización del cálculo de la exactitud de la balanza, es necesario contar con una masa patrón que se encuentre certificada y se ejecuten los protocolos de calibración específicos, entendiéndose por estos como establecer la temperatura, humedad, estabilidad de la mesa del lugar de trabajo sobre el cual se utilizará la balanza.

Al no contar con masas certificadas que puedan ser medidas en la balanza de SIMMA se recomienda como trabajo futuro conseguir las masas y realizar los cálculos específicos (ver Sección 4.2).

3.1.3.4 Desplazamiento aguja del galvanómetro

Si se dispone de un sistema conformado por un diodo y un sensor óptico ubicados exactamente en la marca que corresponde a masa nula (el centro del tablero), cuando la aguja se encuentre allí, el paso de luz es obstaculizado por la aguja.

Una vez se coloca la carga, la aguja se desplaza hacia abajo y deja pasar el haz de luz lo que le indica al sistema que debe enviar corriente al galvanómetro. Esta corriente hace regresar la aguja a la posición original en donde se impide nuevamente el paso de luz, lo que dispara un interruptor para que cese el paso de corriente. Este valor de corriente (correlacionado con la masa) proporciona el valor de la masa a medir con una sensibilidad, que como se anotaba anteriormente corresponde a 5×10^{-5} g.

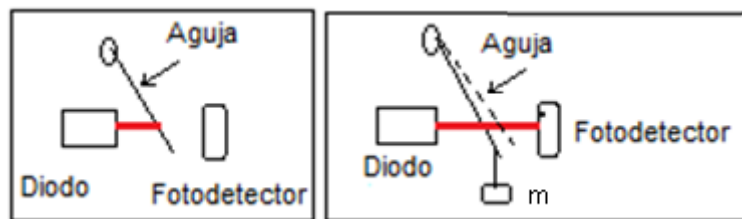


Figura 16: Mecanismo de operación para medición de masa a partir de la corriente [Autor]

3.1.3.5 Posicionamiento automático muestra

Una vez establecido el mecanismo y el componente encargado de la medición de la masa de una muestra, se complementó el diseño de la balanza con un mecanismo que permitiera cargar y descargar la muestra a pesar.

Se hicieron varios diseños de cuáles podrían ser los mecanismos que cumplirían esta tarea hasta que se seleccionó el lector de CD de un computador de escritorio (ver Figura 17), ya que este cuenta con la programación necesaria para la velocidad y el desplazamiento de una bandeja, que para la balanza será la encargada de cargar y descargar la muestra.



Figura 17: Lector CD computador de escritorio utilizado para el posicionamiento automático de la muestra

De este se abstrajo el circuito y la bandeja del CD (ver Figura 18 y Figura 19) ya que son las partes que interfieren directamente con el desplazamiento de la muestra.



Figura 18: Circuito y bandeja del Lector de CD de un computador de escritorio

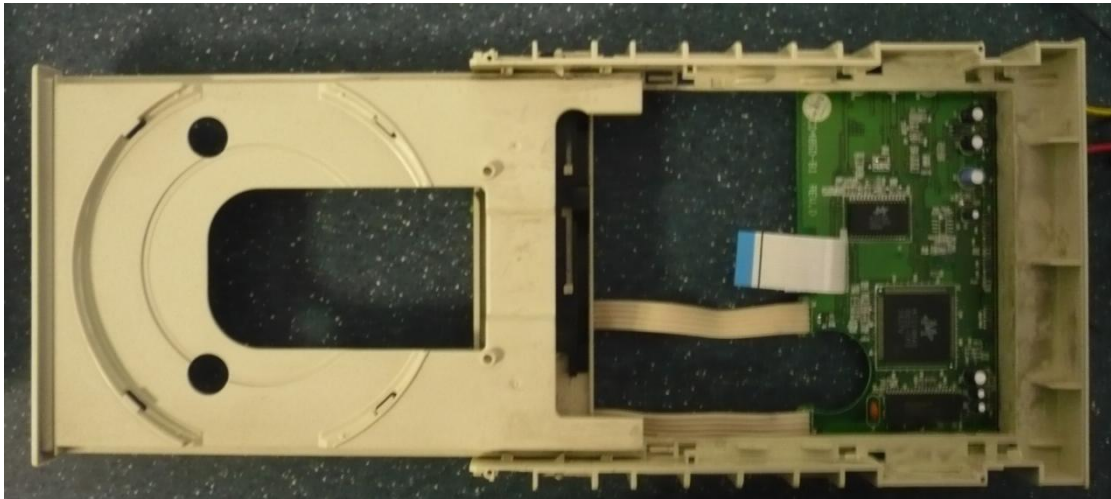


Figura 19: Circuito y bandeja del Lector de CD de un computador de escritorio

Dado que este lector opera con 5 voltios, fue necesario conseguir un transformador que convirtiera el voltaje proveniente del tomacorriente (110V). Al seguir con la restricción de utilizar elementos que se pudieran reutilizar se procedió a utilizar el circuito de un cargador de celular Nokia que se encontraba dañado, adaptarlo y acoplarlo al lector de CD.

En el modo de operación automático de la balanza, para carga y descarga de la muestra se dispondría de un portamuestra liviano con un pequeño alambre curvado en la parte superior para el enganche en la aguja. Cuando la bandeja del CD ingresa con la carga sobre el portamuestra, el enganche queda sobre la aguja. Se desplaza automáticamente la base que soporta el portamuestra quedando este suspendido y en consecuencia produciendo un desplazamiento de la aguja hacia abajo hasta que quede nuevamente en equilibrio. Se hace circular una corriente que levanta la aguja hasta que regrese nuevamente al punto cero. Este valor de corriente corresponde a la masa del portamuestra y la carga. La masa del portamuestras se suprime por defecto quedando únicamente la masa de la carga a medir.

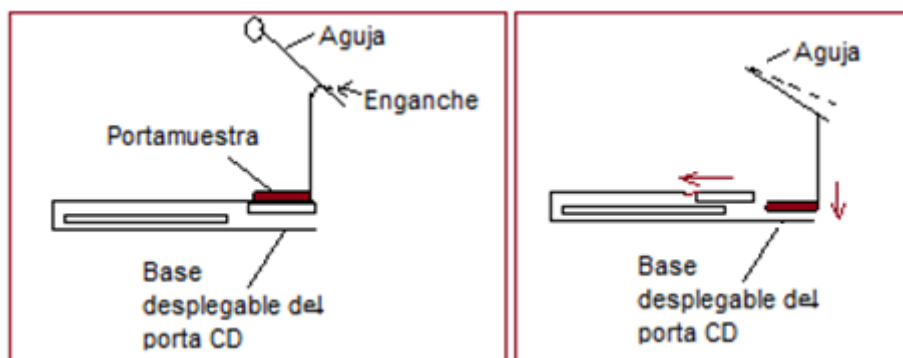


Figura 20: Mecanismo de carga y descarga de la muestra en modo automático [Autor]

En modo manual la balanza cuenta con un display digital que registra directamente la masa y un potenciómetro lineal de 20 vueltas que permite el desplazamiento manual de la aguja.

En modo automático se captura la información y se retroalimenta la operación de la balanza a través de una tarjeta de captura de datos como se detallará más adelante. El software utilizado para el manejo del sistema es Labview.

3.1.4 Diseño

Una vez los componentes principales fueron seleccionados, se realizó el diseño de la balanza, teniendo en cuenta los siguientes requisitos:

- La balanza debe medir masas con precisión bajo diferentes escenarios, por lo que debe ser fácil de transportar, cargar y configurar para cada escenario
- Los materiales a utilizar no deben interferir con la electrónica y el mecanismo magnético de la balanza
- Debe contar con conceptos ergonómicos que faciliten su uso y la hagan cómoda para el investigador

Sin embargo, el factor determinante del diseño fue el portamuestra en el cual se coloca la muestra ya que este debe poder ser levantado por la aguja y no debe interferir en el cálculo de la masa. Es decir, según el rango de medición que tiene la balanza, el portamuestra no puede superar este rango y debe permitir que se calcule la masa de la muestra.

Para satisfacer esta condición, se optimizó la cantidad de material utilizado en la fabricación de la portamuestra, evaluando la mejor forma de recibir, entregar y colocar en la aguja la masa a pesar.

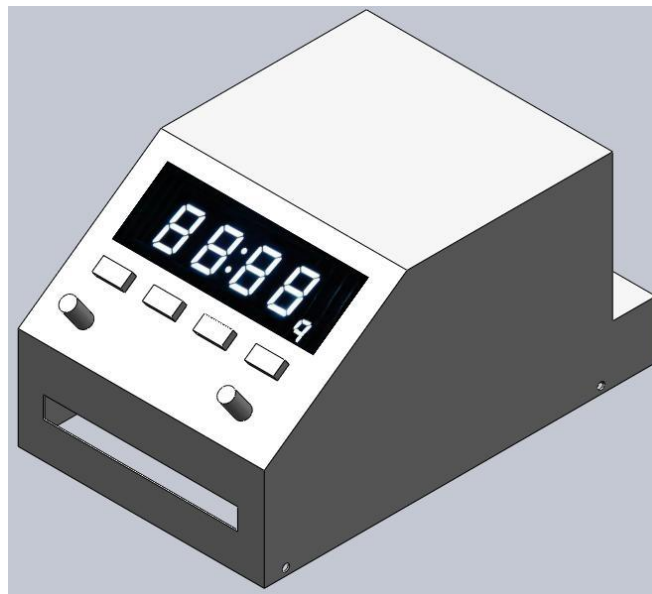


Figura 21: Diseño carcasa de la balanza de SIMMA

Gracias a estas consideraciones y tras la elaboración de más de 5 diseños, el definitivo es el que se puede ver en la Figura 21 en donde se acomodan los componentes anteriormente mencionados (ver Figura 22) y se cumple con las restricciones y consideraciones respectivas.

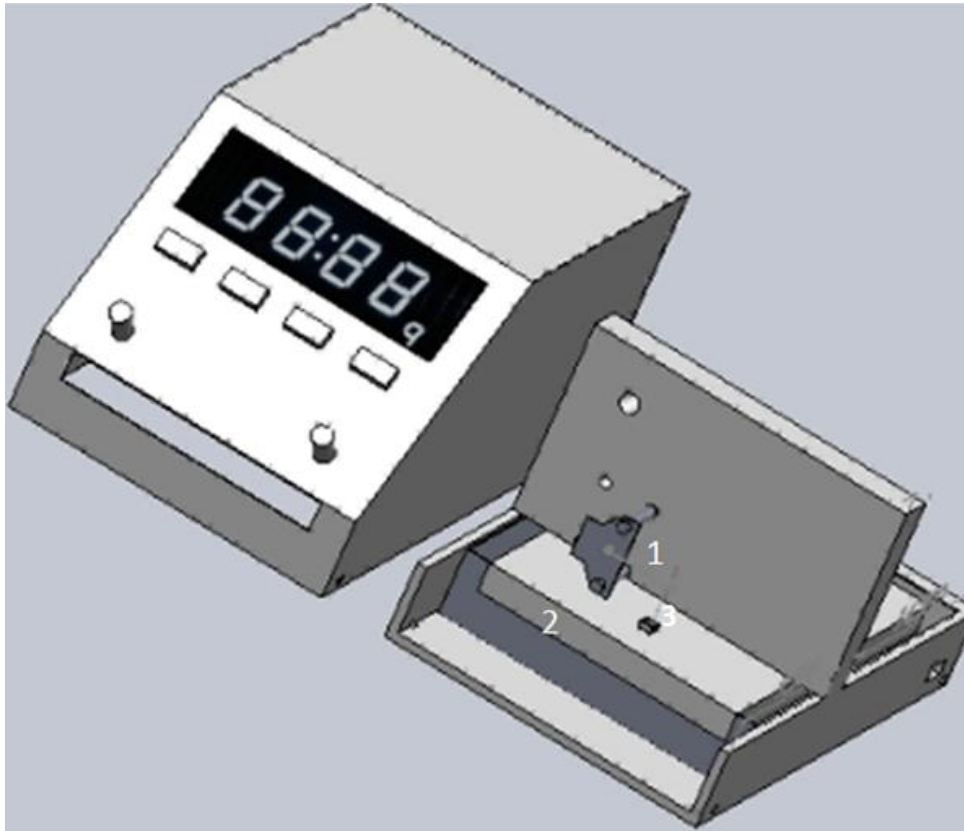


Figura 22: Componentes balanza de SIMMA. 1) Galvanómetro 2) Bandeja CD 3) Portaobjetos

3.1.4.1 Elección de material

Para la elección del material fueron analizados el aluminio, cobre, acrílico y resina. En la Tabla 2 se encuentra la comparación de las propiedades de estos materiales. Dada esta información y el concepto de la experta en ciencia de los materiales y asesora de este trabajo, Martha Ruth Manrique, se eligió la resina y el acrílico para la fabricación de la balanza.

	Tipo de material	Conducción	Corrosión	Densidad (g/cm ³)
Aluminio	Metal no ferroso	Conductor de calor y electricidad. Casi dos veces mejor conductor que el cobre	Alta resistencia a la corrosión	2,7
Cobre	Metal no ferroso	Conductor de calor y electricidad	Resistente a la corrosión	8,96
Acrílico	Plástico	Aislante eléctrico	Resistente a la corrosión	
Resina	Plástico	Aislante eléctrico	Resistente a la corrosión	0,9 - 1,25

Tabla 2: Propiedades materiales analizados para fabricación de la balanza de SIMMA

El acrílico es utilizado como base de la balanza y placa para sostener el galvanómetro, mientras que la resina es utilizada en la carcasa que cubre y protege el mecanismo de la balanza.



3.1.5 Fabricación Balanza

Con la intención de poner a prueba el diseño elaborado se construyó un prototipo físico de la balanza: con resina para la carcasa y acrílico para la base y el soporte del galvanómetro.

3.1.5.1 Carcasa

La siguiente tabla detalla el proceso de fabricación de la carcasa de la balanza.

	<p>Con arcilla, se elaboró la figura de la carcasa, según las dimensiones del diseño.</p> <p>Se comenzó por cumplir únicamente con las dimensiones, pero luego se dedicaron más de 7h al terminado.</p>
	<p>Luego de 1 semana de reposo, la arcilla se embalsamó con vaselina para luego poderla cubrir con yeso y que, una vez este se secase, se pudiera desmoldar fácilmente la arcilla.</p>

	<p>La forma de arcilla fue cubierta con yeso en polvo N° 3 y se dejó secar por 4 días</p>
	<p>Se removió la arcilla del molde de yeso</p>
	<p>Se colocó una capa de resina con pigmento negro, una capa de fibra de vidrio y nuevamente una capa de resina, pero esta última sin pigmento para darle resistencia a la carcasa.</p> <p>Este paso fue crítico ya que por las propiedades en las que se manejó la resina, tocaba manejarla de tal manera que en el menor tiempo posible se cubrieran todos los espacios del molde de yeso.</p>



Luego de 2 días de secado se rompió el yeso para poder liberar la carcasa de resina. Se trató de realizar este paso de manera delicada para poder conservar la mayor parte del molde de yeso, por si existía la necesidad de volver a repetir la fabricación de la carcasa.



Una vez la carcasa estuvo lista, con un mototool se le hizo la perforación para la bandeja del CD en la parte frontal



	<p>Dado que la carcasa no quedó con el acabado deseado, se cubrió con yeso duro y al secarse, se limó. Este proceso se repitió más de 5 veces</p>
	<p>Luego la carcasa se pintó de color negro</p>
	<p>Finalmente se le hicieron las perforaciones finales</p>

Tabla 3: Proceso de fabricación de la carcasa de la balanza de SIMMA

3.1.5.2 Base y soporte galvanómetro

La base y el soporte del galvanómetro se hicieron con acrílico que no estaba siendo utilizado en el Centro de Automatización Tecnológica Industrial (CTAI) de la Pontificia Universidad Javeriana.

Para acoplarlos a la balanza, se hicieron los cortes respectivos al tamaño dado por el diseño y posteriormente, utilizando la fresadora se mecanizaron las perforaciones para los tornillos. A continuación se muestra una imagen del soporte del galvanómetro ajustado sobre el lector de CD.



Figura 23: Galvanómetro sobre bandeja de CD

3.1.5.3 Interacción componentes

Bajo el tiempo de desarrollo del trabajo de grado, la operación de la balanza no utiliza el modo automático para hacer la carga y descarga de la muestra, ni el sensor óptico para determinar los cambios de posición de la aguja.

Sin embargo, el galvanómetro pudo ser conectado a un computador por medio de la interfaz NI-USB 6009, permitiendo controlar el ingreso de la corriente a este y obtener los datos de la masa a medir.

3.1.6 Costo fabricación

El costo de fabricación de la balanza, según el costo de los materiales que se adquirieron para la fabricación (ver Tabla 4) y sin añadir el costo la mano de obra es de **\$355.100**.

Este costo es reducido en comparación con otras balanzas en el mercado que están por encima de los 9 millones, gracias a la reutilización de componentes que cumplieron su ciclo de vida, pero aún funcionan.

Elemento	Unidad	Precio
Galvanómetro	1	\$ 45.000
Potenciómetro	2	\$ 80.000
Resistencias	2	\$ 500
Alambre de cobre (por rollo)	1	\$ 1.000
Pila de 9 voltios	2	\$ 4.000
Cable pila	2	\$ 500
Resina poliéster	2	\$ 12.000
Pigmento	1	\$ 5.000
Acelerante	1	\$ 4.500
Yeso en polvo	6	\$ 2.000
Arcilla	4	\$ 7.800
Lijas	4	\$ 500
Espátula	1	\$ 2.000
Pintura negra en aerosol brillante	2	\$ 23.200
Swith encendido	1	\$ 1.000
Display	1	\$ 8.000
Led	1	\$ 500
Botón	2	\$ 500
Jack y plug para cargador	1	\$ 1.500
		\$ 355.100

Tabla 4: Costo materiales utilizados para la fabricación de la balanza de SIMMA

3.1.7 Experimento de evaporación

Una de las funcionalidades de la balanza es que permite evaluar la tasa a la cual una muestra pierde masa, por ejemplo debido a la evaporación. Se realizó este análisis en el laboratorio, con acetona y con alcohol de la siguiente manera:

Utilizando un delgado hilo de cobre que se obtuvo de una linterna recargable dañada, se construyó un soporte de 50 mm de longitud para sostener un círculo de papel aluminio de 6mm de diámetro. El otro extremo del soporte se ató a la punta de la aguja del galvanómetro.

Utilizando una aguja para insulina de 50 unidades (cada división corresponde a 0,5ml) se depositó 1ml de acetona en el papel aluminio y se filmó el proceso para determinar el tiempo en que tardaba dicho mililitro en evaporarse. Este procedimiento se repitió cuatro veces y se graficó el promedio de los tiempos necesarios para pasar de una división del galvanómetro a otra (ver Figura 24). A la gráfica se le adicionó una línea de tendencia, siendo una ecuación potencial la que mejor se ajusta a su forma.

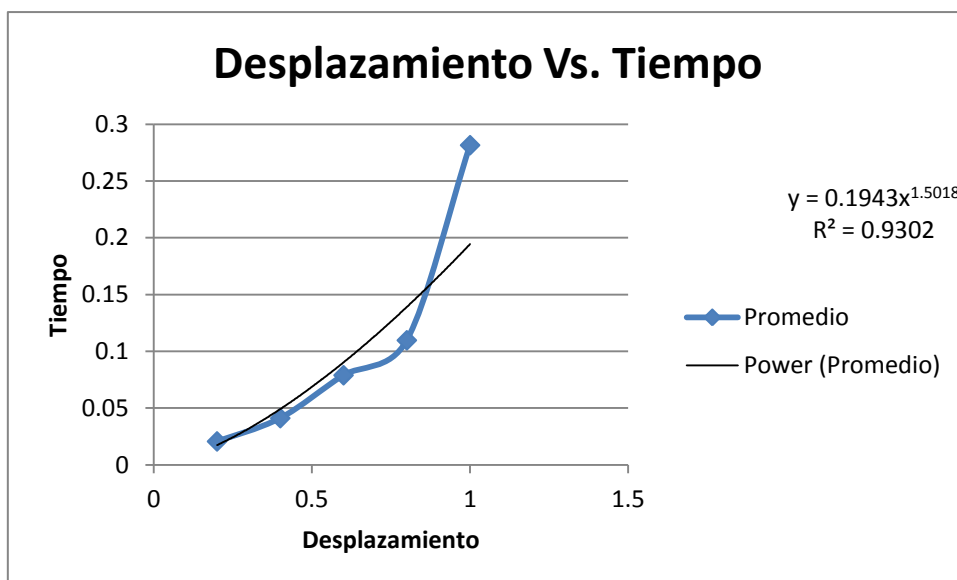


Figura 24: Experimento de pérdida de masa utilizando acetona

Esto indica que a medida que pasa el tiempo, la gota tarda cada vez más en evaporarse de manera que al principio la cantidad de masa que se pierde por unidad de tiempo es alta, pero mientras transcurre el tiempo, cada vez se pierde menos masa.

Debido a que la evaporación de la acetona sucedía muy rápido (el máximo tiempo tomado para evaporar 1ml fue de 8 minutos), se repitió el experimento usando alcohol, el cual presenta una tasa de evaporación menor. Para este experimento, se utilizaron 0,5ml de alcohol en cada ejecución y se realizaron tres repeticiones pues el tiempo máximo requerido para dicha evaporación fue de aproximadamente 29 minutos. Al graficar el promedio de los tiempos obtenidos se encuentra que la línea de tendencia de mejor ajuste corresponde de nuevo a una ecuación potencia (ver Figura 25).

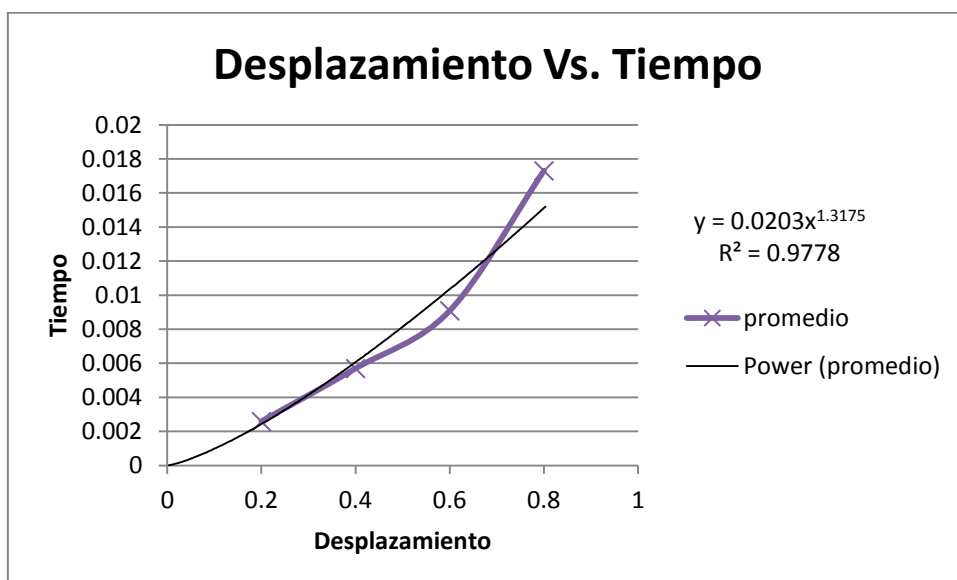


Figura 25: Experimento de pérdida de masa utilizando alcohol

El análisis profundo de los resultados de este experimento se propone como trabajo futuro, pero se podría pensar que debido a que la gota depositada en el disco de aluminio tiene una determinada área superficial al inicio, presenta una correspondiente cantidad de moléculas expuestas al ambiente mientras que las demás se encuentran en el volumen. Cuando pasa un determinado tiempo, las moléculas de la superficie se evaporan y al hacerlo, dejan expuestas al ambiente a aquellas que estaban en una capa más interna. En dicho proceso, el área superficial de la muestra se reduce dejando menor cantidad de moléculas expuestas cada vez y por consiguiente, reduciendo la velocidad a la que dicha masa se pierde.

Se propone repetir el experimento utilizando un soporte más grande, que permita extender la muestra en forma de capa delgada en vez de gota, con el fin de verificar si la tasa de evaporación cambia en su forma.

3.2 DISEÑO COMPONENTE LÓGICO

El diseño elaborado para el componente físico de SIMMA permite que la balanza trabaje en diferentes escenarios y configuraciones: *i*) dentro de una caja de guantes cuando se requieren mediciones de masa en condiciones de atmósfera inerte, *ii*) como parte de un reactor para producción de materiales o de procesos químicos, *iii*) en cabinas donde se requieren condiciones de esterilización, *iv*) como parte integral de sistemas automáticos en los cuales no existe manipulación directa en los procesos de medición de masa, entre otros.

El componente lógico permite el seguimiento y la administración de los datos proporcionados por la balanza *in situ*, además de realizar correlaciones entre los datos obtenidos y el contexto bajo el cual se configura y se usa la balanza (fecha, condiciones de operación de la balanza, tipo de experimento o proceso, usuario, etc.) facilitando la manipulación de la información por parte del usuario.

De esta manera, SIMMA puede trabajar bajo dos modos de operación: manual y automático. En el modo manual la interacción entre el componente lógico y el componente físico se realiza a través del usuario o investigador, mientras que en el modo automático se realiza por medio de una interfaz que se encarga de controlar el componente físico, capturar los datos provenientes de este y transmitirlos al componente lógico.

Es por esto, que el componente lógico de SIMMA se encuentra compuesto por dos partes: *i*) interacción con la balanza y obtención de datos y *ii*) almacenamiento y administración de los datos. A continuación se encuentra la arquitectura que maneja SIMMA para permitir la interacción entre las dos partes del componente lógico y el componente físico.

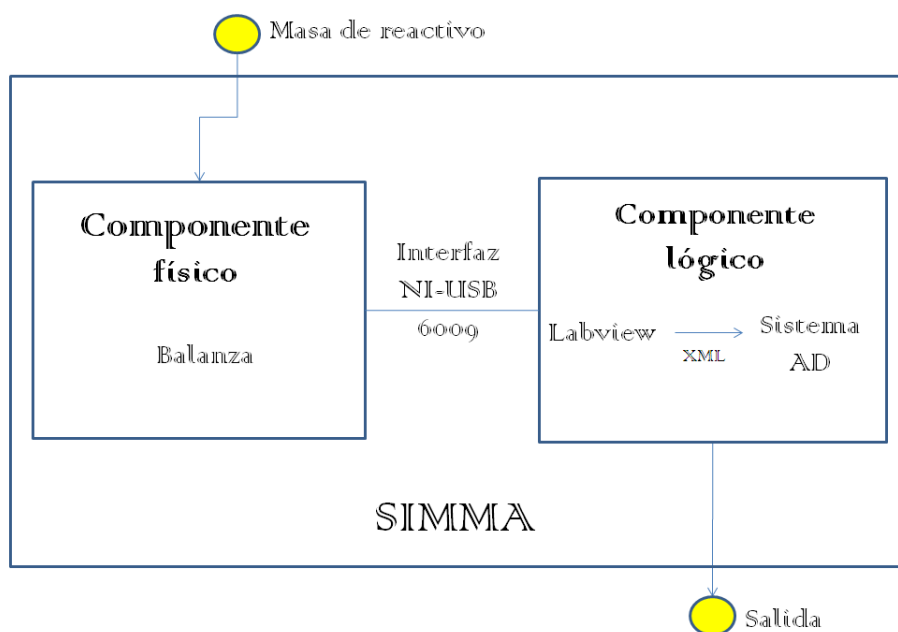


Figura 26: Arquitectura SIMMA [Autor]

Las dos partes del componente lógico se relacionan a través de un archivo XML que es construido en Labview y leído por el Sistema AD. De igual forma. El componente lógico interactúa con el componente físico a través de la interfaz (tarjeta de captura) NI-USB 6009.

La tarjeta de captura de referencia NI-USB 6009 (ver Figura 27) que, conectada a la balanza, se encarga de proporcionarle corriente eléctrica al galvanómetro, según como lo vaya indicando el investigador (con variaciones de 0.2 mA) y de traducir la información de la corriente aplicada para la restauración del equilibrio del sistema, en señales digitales que el computador puede interpretar.



Figura 27: Tarjeta de captura de referencia NI-USB 6009

Esta interfaz es manejada a través del computador por el programa Labview [16] el cual permitiere la interacción con la balanza y además, extrae los datos a un archivo en formato XML para que el sistema AD pueda leerlo, interpretar los datos y almacenarlos en la base de datos correspondiente (ver Figura 28).



Figura 28: Proceso obtención datos

En la Figura 29 se muestra la interfaz de usuario creada para controlar la corriente que ingresa al galvanómetro y obtener el valor de salida de la variación de corriente. Además, contiene las opciones que deben ser ingresadas por el usuario: el número del proyecto, experimento e iteración que se está ejecutando para que, junto con la masa esta información sea exportada a un archivo XML (ver Figura 30).

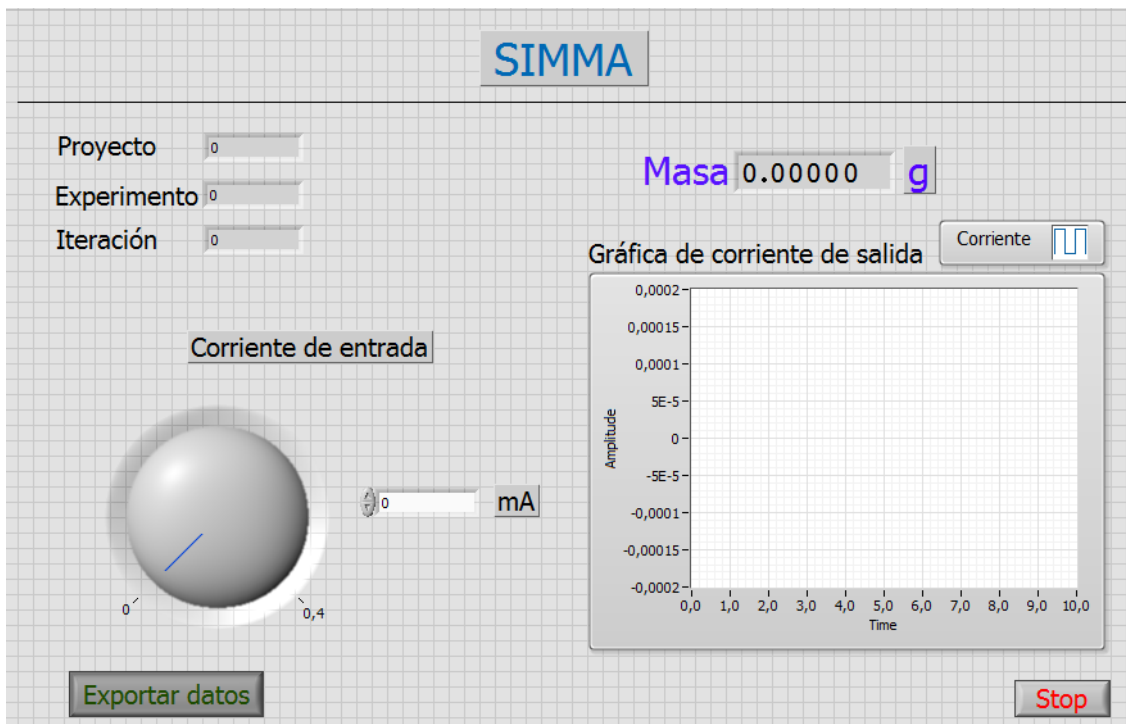


Figura 29: Programa en Labview encargado de suministrar la corriente, informar al usuario la masa y permitir al usuario exportar los datos a un archivo XML

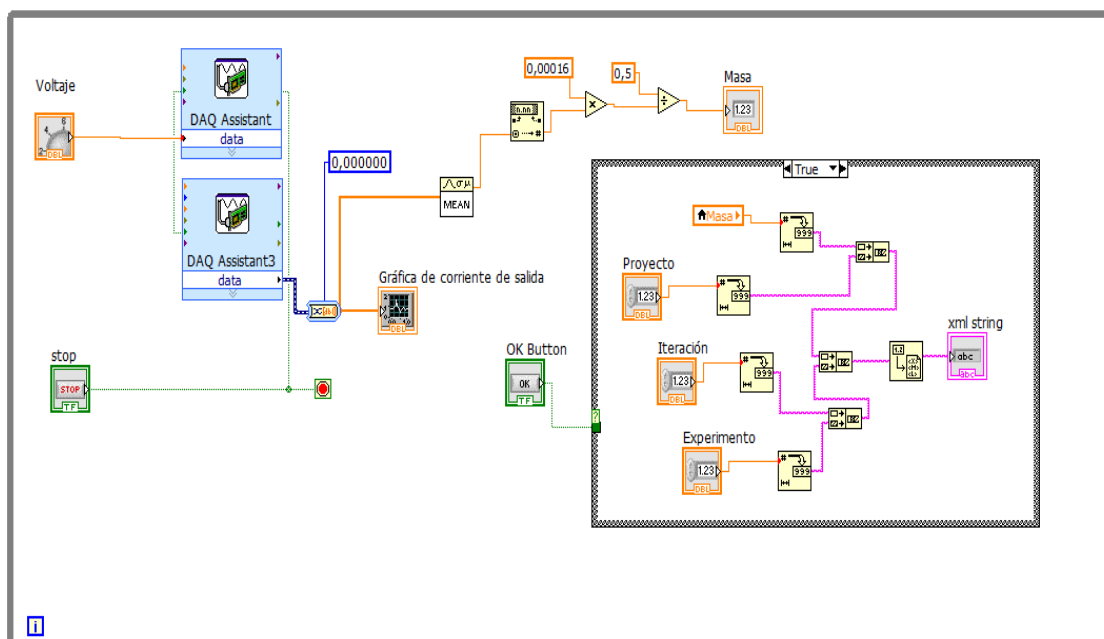


Figura 30: Código Labview encargado del funcionamiento de la tarjeta de captura, la visualización de datos y la exportación de datos

A continuación se encuentra el proceso ejecutado para el desarrollo del sistema de administración de datos (Sistema AD).

3.2.1 Diseño

El diseño es el primer paso en la fase de desarrollo de cualquier producto o sistema de ingeniería. Se define como “el proceso de aplicar distintas técnicas y principios con el propósito de definir un dispositivo, proceso o sistema con lo suficientes detalles como para permitir su realización física” [17].

Para el diseño y la elaboración del software se seleccionó una metodología iterativa e incremental [18] que permite el desarrollo por ciclos del software, de manera que este pueda seguir creciendo y evolucionando. Dicha metodología, es la base para otros modelos de desarrollo como lo son RUP y metodologías ágiles.

Su importancia dentro del proyecto es el tener la oportunidad de utilizar la metodología de desarrollo como el ciclo de Deming [19] para el control y continuo mejoramiento de procesos, que aplicado a la ingeniería de sistemas permite un desarrollo continuo de software.

A continuación se describe la relación entre las etapas planear, hacer, validar y actuar (PHVA) del ciclo de Deming y el desarrollo de software (ver Figura 31).

- Planear: Corresponde al levantamiento de la información necesaria para el funcionamiento del sistema, la elaboración de los casos de uso y requerimientos pertinentes al ciclo de desarrollo.
- Hacer: Se realiza el análisis y diseño del ciclo a ejecutarse, incluyendo refinamiento de los casos de uso y requerimientos para luego proceder con la implementación del código del ciclo.
- Validar: Comparar los resultados obtenidos hasta el momento con los requerimientos planeados para el ciclo, es decir, se realiza la etapa de verificación y validación del código implementado. De pasarse las pruebas de la etapa correspondiente, se realiza la liberación del código del ciclo.
- Actuar: Se realiza una evaluación y retroalimentación del proceso seguido y se determinan las respectivas mejoras y adiciones al desarrollo del siguiente ciclo del desarrollo del software.

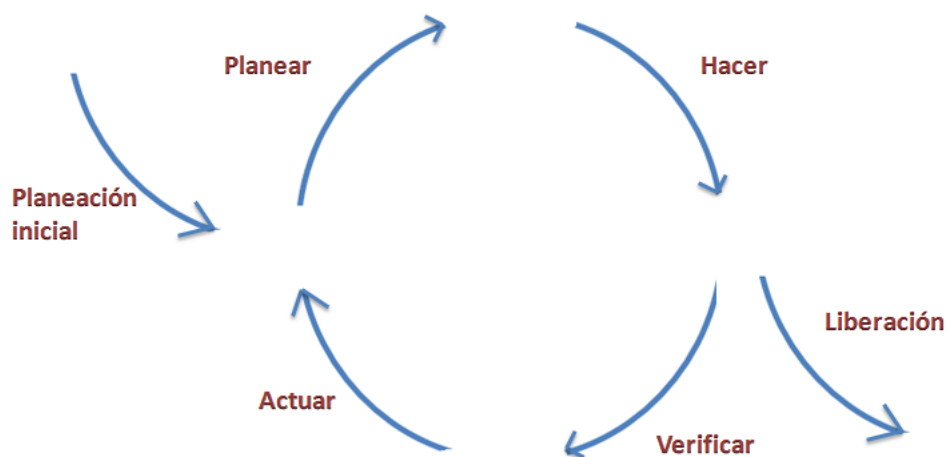


Figura 31: Metodología de desarrollo iterativa e incremental junto con el Ciclo de Deming [Autor]

Durante la etapa de planeación inicial se consideraron los siguientes factores:

- El sistema debe almacenar información dependiendo de los requerimientos experimentales o procesos en que se encuentre operando la balanza.
- En tareas de desarrollo experimental se deben seleccionar las condiciones y el modo de operación de la balanza y las variables a utilizar.
- El sistema debe poder proporcionar al usuario información pertinente con mediciones realizadas, fechas, resultados de los experimentos realizados.

A continuación se proporciona la documentación elaborada entorno al desarrollo del sistema AD con el modelo de dominio, los casos de uso, los requerimientos no funcionales, la arquitectura del sistema y por último el diagrama entidad-relación.

3.2.2 Modelo de dominio

El modelo de dominio define un modelo de abstracción común para todos los involucrados en el desarrollo del sistema, como analistas, clientes, entre otros, con el fin de definir conceptos, casos de uso y una terminología común entre los mismos [20].

A continuación se encuentra el modelo de dominio establecido cuya documentación se puede ver en el Anexo 6.2.1 y a partir del cual se establecieron los casos de uso más relevantes para el desarrollo del sistema:

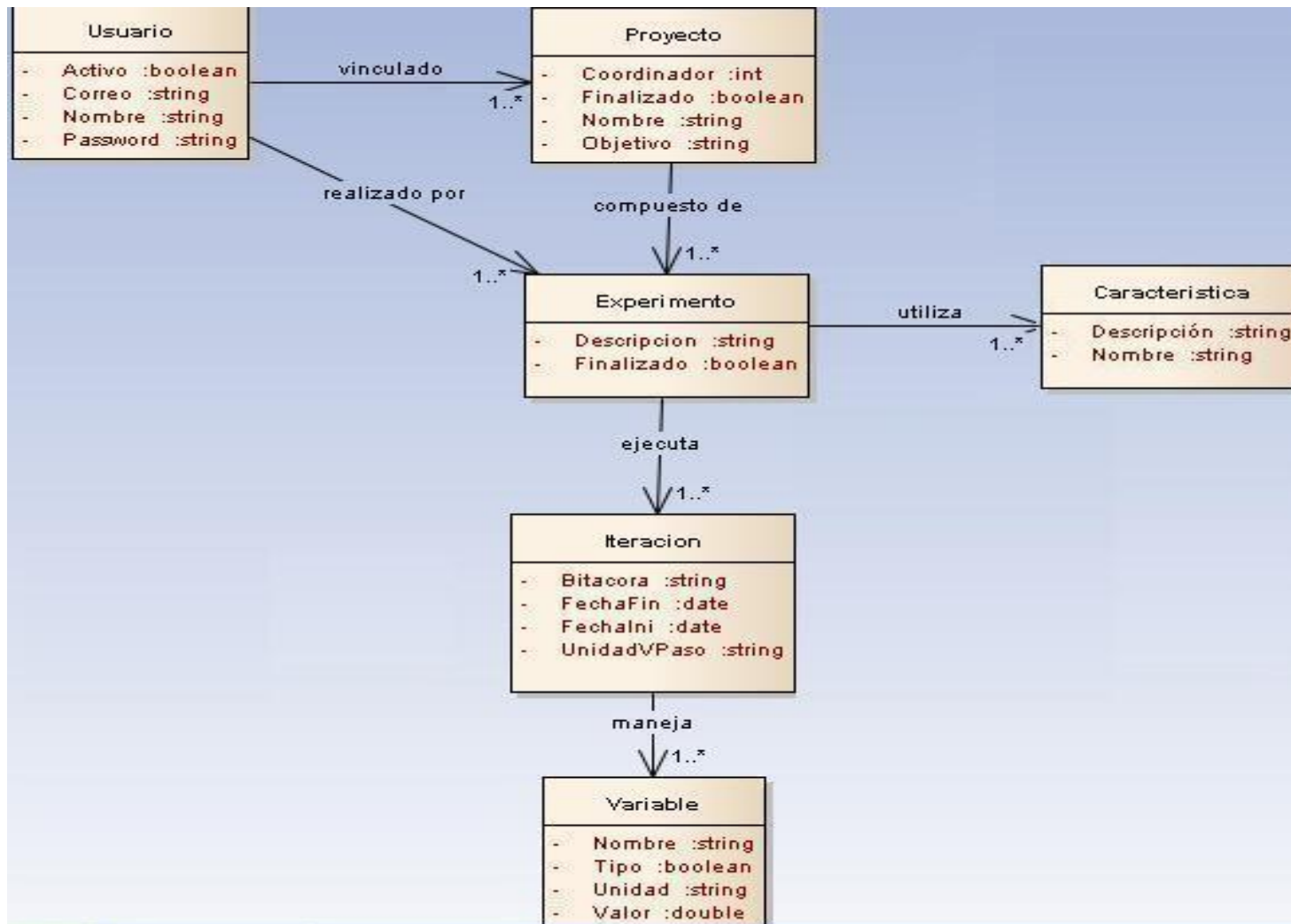


Figura 32: Modelo de Dominio

3.2.3 Casos de uso

Los Casos de uso conforman un modelo de interpretación de las funcionalidades del sistema, es decir, qué es lo que debe hacer el sistema AD para obtener, almacenar y administrar los datos provenientes de la balanza.

Para esto se siguen los pasos propuestos en “*Patterns for Essential Use Cases*” [21] para así determinar *i*) en primera instancia cuáles son los actores del sistema, qué hacen y cómo lo hacen. Luego *ii*) se refine la lista, incluyendo los CRUD (*Create, Read, Update, Delete*) que permiten manipular los objetos almacenados en la base de datos del sistema (Ver Sección 3.2.8).

A continuación se detallan los pasos seguidos:

3.2.3.1 Definición de Actores

Se definen dos actores principales que permiten el funcionamiento del sistema AD para la interacción con la balanza:

- Administrador: Encargado de mantener la seguridad de los roles en el sistema AD.
- Usuario: Persona encargada de crear y actualizar su perfil dentro del sistema AD, así como realizar experimentos e iteraciones dentro de un proyecto determinado. Puede pertenecer a varios proyectos al tiempo. Además puede acceder a la información de todos los experimentos realizados con la balanza dentro del proyecto.

3.2.3.2 Elaboración diagrama casos de uso

A continuación se muestra el diagrama de casos de uso realizado para el sistema, cuya documentación puede encontrarse en el Anexo 6.2.2.

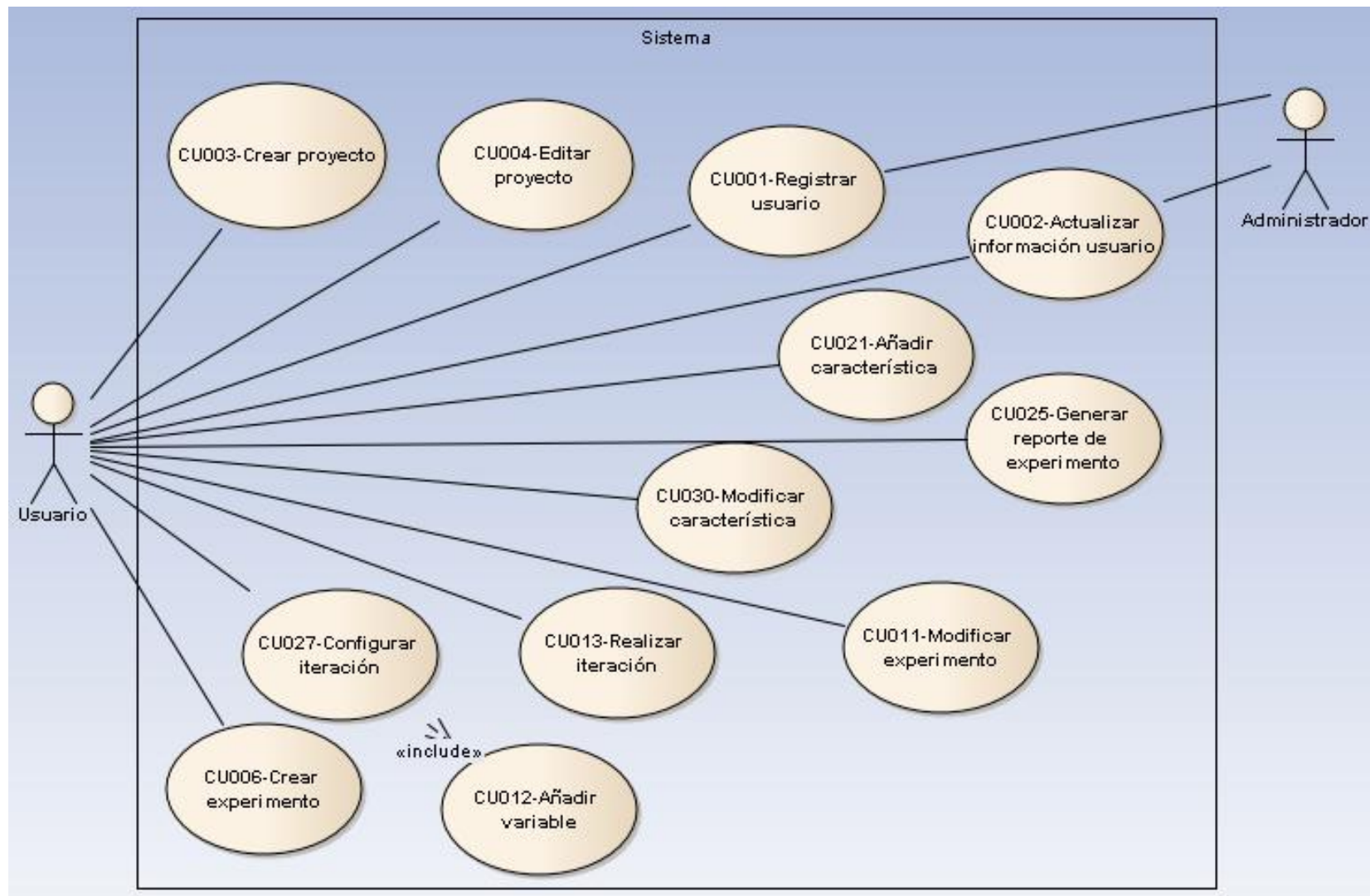


Figura 33: Diagrama casos de uso

3.2.4 Requerimientos no funcionales

Una vez claras las funcionalidades que el sistema AD debe cumplir para administrar la información proveniente de la balanza, es indispensable tener en cuenta las restricciones o requerimientos no funcionales bajo los cuales debe desarrollarse el sistema (ver Tabla 5).

Código	Tipo	Nombre
REQN-001	Desempeño	El sistema debe responder en menos de 3 segundos por cada solicitud hecha.
REQN-002	Documentación	El sistema debe estar acompañado por un manual de usuario escrito en lenguaje español de Colombia.
REQN-003	Documentación	El sistema debe estar acompañado por un manual de instalación escrito en lenguaje español de Colombia.
REQN-004	Escalabilidad	El sistema debe estar en capacidad de permitir en el futuro el desarrollo de nuevas funcionalidades, modificar o eliminar funcionalidades después de su construcción y puesta en marcha inicial.
REQN-005	Persistencia	El sistema debe mostrar la información almacenada a través de reportes.
REQN-006	Portabilidad	El servidor del sistema puede ejecutarse en sistemas operativos Linux y Windows.
REQN-007	Portabilidad	El sistema debe poder ejecutarse independiente al sistema operativo en un navegador web.
REQN-008	Seguridad	El sistema debe proveer un servicio de autenticación que valide la identidad de los usuarios.
REQN-009	Seguridad	El sistema debe prestar la funcionalidad de registro de usuarios para los usuarios que ingresan por primera vez al mismo.
REQN-010	Seguridad	El sistema debe contar con roles de seguridad para los usuarios que acceden al mismo.
REQN-011	Usabilidad	El sistema debe presentar mensajes de error que permitan al usuario identificar el tipo de error.

Tabla 5: Requerimientos no funcionales

3.2.5 Elección entorno de programación

Como parte de la planeación inicial en el proceso de diseño del software, se realizó una búsqueda de los software existentes en el mercado para evaluar si alguno ya resolvía la problemática presentada, es decir, mínimo debía contar con *i)* manejo de proyectos y experimentos configurables para adaptar la balanza al software *ii)* un módulo de seguridad, *iii)* un módulo de manejo de usuarios y *iv)* que fuera una solución web.

En cuanto al software privado se encontraron tres referencias (Core informatics LISM [22], StarLism [23] y SIGLa [24]) las cuales se acercan en gran medida a lo que se necesita, pero están orientados a empresas dedicadas a la investigación y el uso de laboratorios por lo cual tiene más módulos implementados de los necesarios; además, por su naturaleza, acarrearán más costos para SIMMA y por ende para los grupos de investigación que lo utilicen.

Se investigaron herramientas de software libre que hasta el momento existen en el mercado para evaluar si alguna cumple con los requerimientos establecidos. Varios de los encontrados cumplían con gran porcentaje de los requerimientos pero solo uno se acercó realmente. Este se llama Open-Lism [25] y aunque le faltan funcionalidades, su facilidad para adaptarlo a la obtención de los datos provenientes de la balanza es notoria. Sin embargo, al descargar e instalar el software, se encontró que tiene bastantes errores en su codificación y que, además, este se encuentra en un estado beta, es decir, nunca se ha dado una liberación oficial que garantice funcionalidad. Tras esta búsqueda, se decidió desarrollar el sistema AD con el lenguaje de programación PHP [26].

Para la implementación de aplicaciones web en PHP [26], se han desarrollado un gran número de *frameworks* con funcionalidades básicas de toda aplicación web como manejo de seguridad, de usuarios, entre otras. Para ver la preferencia de los desarrolladores de software por dichos *frameworks*, se elaboró una gráfica que compara las búsquedas que se hacen de cada uno de estos, además de la tendencia que han venido presentando a lo largo de los años (ver Figura 34).

Explore trends

Hot searches

Search terms

- yii
 - CodeIgniter
 - cakephp
 - zend
- + Add term

Interest over time

The number 100 represents the peak search interest

News headlines Forecast

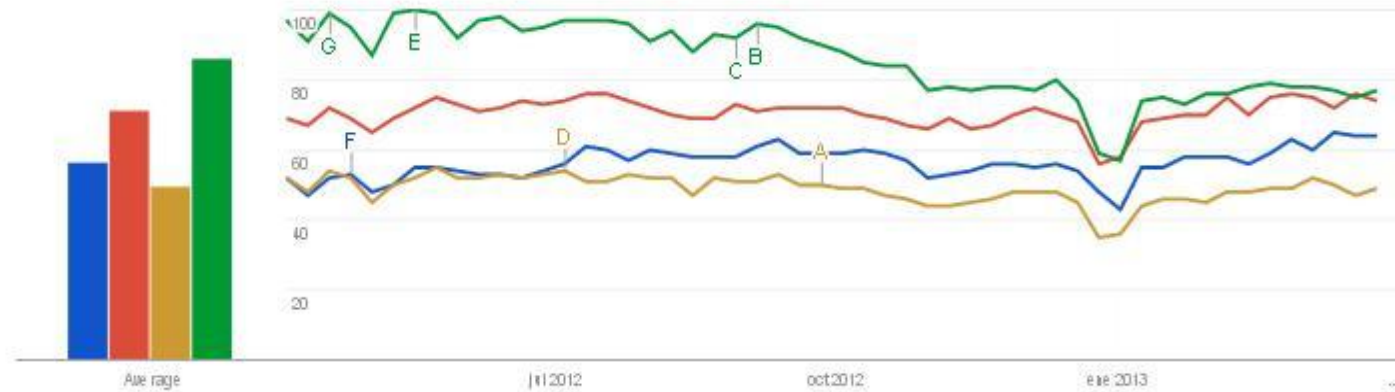


Figura 34: Google PHP Framework Trends Abril 08, 2013

A continuación se muestra una tabla en donde se comparan las funcionalidades de los cuatro *frameworks* buscados anteriormente [27].

Nombre	CRUD	Autenticación	Seguridad	Pruebas	Internacionalización	Licencia	Página
CodeIgniter		x	x		Language class	Open Software License ("OSL") v. 3.0	http://ellislab.com/codeigniter
CakePHP	Custom	x	x	SimpleTest and XDebug PHPUnit	gettext, php array	MIT license	http://cakephp.org/
Yii	Database access objects	x	x	PHPUnit, selenium	php array, database, gettext	New BSD License	http://www.yiiframework.com/
Zend		x	x			New BSD License	http://framework.zend.com/

Tabla 6: Comparación PHP Frameworks – Adaptado de [28]

Por lo tanto, se escogió el *framework* Yii [29] como principal *framework* de desarrollo para el sistema ya que cubre las funcionalidades básicas necesitadas para el desarrollo del sistema AD.

3.2.6 Estrategia de implementación

A partir de la metodología de desarrollo elegida, una vez establecida la planeación general del sistema AD, se inicia la planeación de la primera iteración del ciclo en la cual se elaboró una priorización para la implementación de los casos de uso que más generan beneficio y valor para el cliente (para ver el cálculo de la priorización ver Anexo 6.2.3).

Sin embargo, la implementación de los casos de uso no puede hacerse en el orden exacto en cómo la priorización lo determina, ya que entre ellos existen dependencias (ver Figura 35). Es por esto que el orden de implementación según las dependencias y el cálculo de priorización del primer ciclo, es:

1. CU-001 - Registrar usuario.
2. CU-002 - Actualizar información usuario.
3. CU-003 - Crear proyecto.
4. CU-004 - Editar proyecto.
5. CU-005 - Crear experimento.
6. CU-006 - Modificar experimento.
7. CU-008 - Añadir características.
8. CU-011 - Realizar iteraciones.
9. CU-010 - Configurar iteración.
10. CU-007 - Añadir variable.
11. CU-012 - Generar reporte por experimento.
12. CU-009 - Modificar característica.

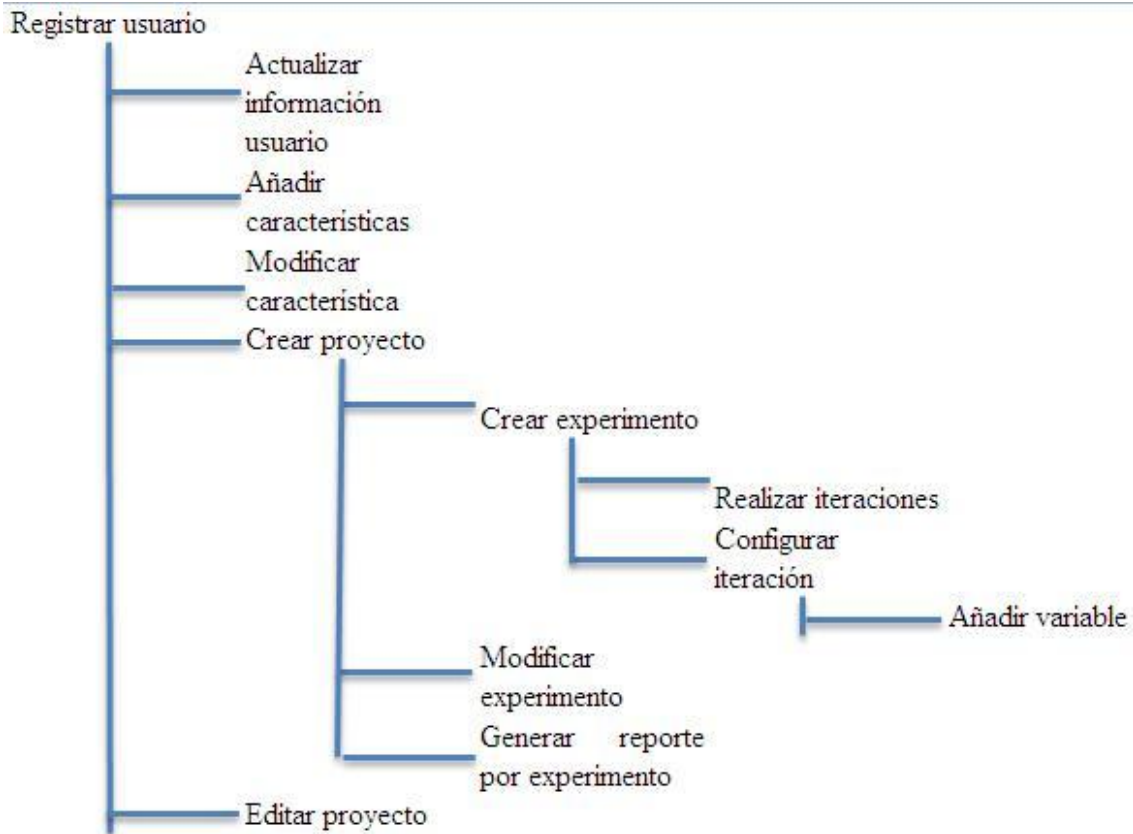


Figura 35: Dependencias casos de uso

3.2.7 Arquitectura

Para el diseño de la arquitectura es fundamental tener en consideración los requerimientos no funcionales anteriormente descritos (ver Sección 3.2.4). Dentro de estos se identificaron las restricciones que tiene el sistema AD y la arquitectura del mismo.

La arquitectura manejada es cliente servidor, en donde el servidor es pesado y el cliente ligero. De esta manera el servidor contiene la lógica asociada al sistema, mientras que el cliente únicamente se encarga de desplegar la vista del sistema. Adicional a esto, el paradigma de programación seleccionado fue el orientado a objetos para permitir la reutilización y el encapsulamiento del código, entre otras características de dicho paradigma [20].

Los patrones de diseño seleccionados para cumplir con las restricciones fueron:

- MVC [30]: El meta-patrón Modelo Vista Controlador se encarga de separar la lógica, las reglas de negocio y la validación de la presentación. Permite hacer que el sistema sea fácil de mantener y de extender.
- Observer [31]: Para manejar la seguridad del sistema, la auditoría se debe manejar bajo este patrón, para que pueda capturar y almacenar la información de todos los movimientos dentro del sistema.
- Active Record [30]: Mapea las tablas de la base de datos como clases, las filas como objetos y las columnas como las propiedades de la clase. Permite abstraer el modelo de la base de datos en un modelo accesible por el sistema en el cual se le puedan aplicar reglas de negocio.

A continuación se encuentra el modelo de despliegue de la aplicación en donde se evidencia la implementación del meta-patrón MVC:

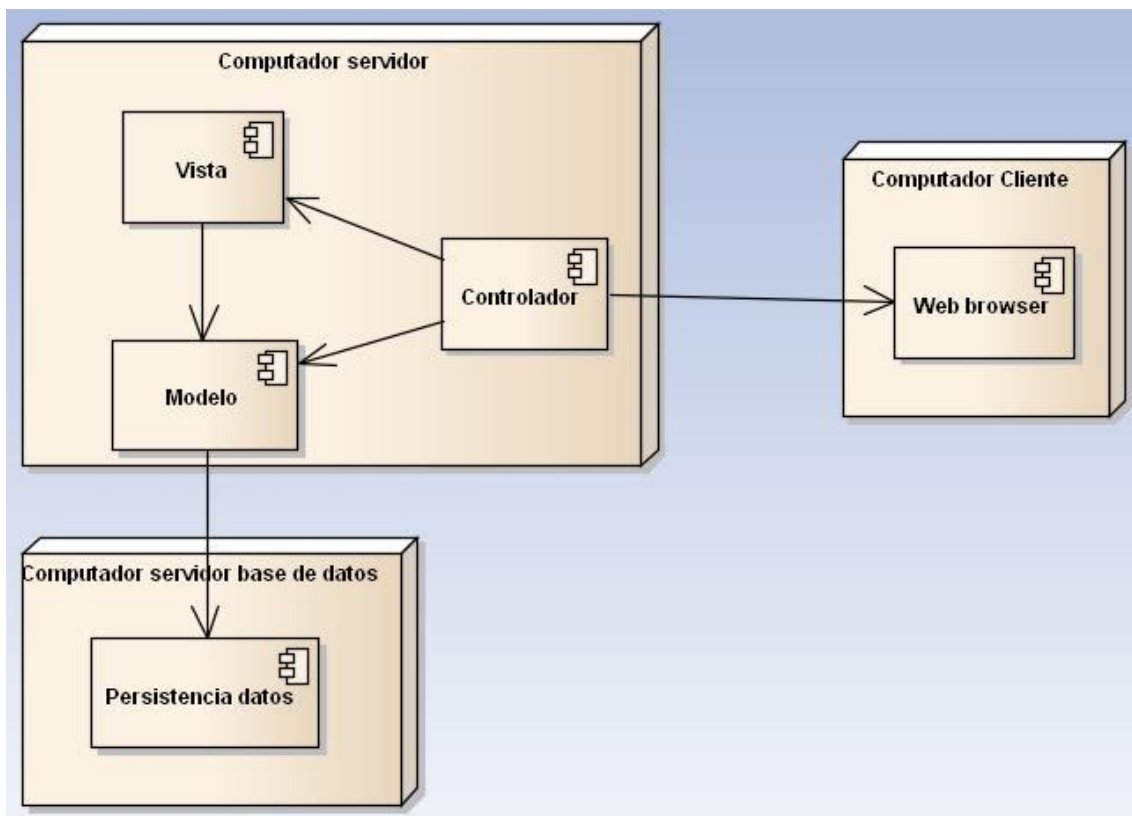


Figura 36: Modelo de despliegue

- Servidor base de datos: Encargado de mantener la base de datos del sistema. Dado el deseo de manejar únicamente herramientas de software libre, se escogió como base de datos MySQL. El modelo utilizado es el de entidad-relación, que se puede ver en la Sección 3.2.8.
- Servidor aplicación:
 - Modelo: Como su nombre lo dice, modela los datos de la base de datos, aplicando reglas de negocio y manejando el estado de los mismos, además de la validación de la información ingresada por el usuario en su interacción con el sistema.
 - Vista: Responsable de mostrar la información según el modelo de datos. Maneja lenguaje HTML y PHP.
 - Controlador: Orquesta y maneja las acciones invocadas por el usuario a través de la vista. Se encarga de determinar cuál acción del modelo de datos satisface la petición y de vuelve la respuesta obtenida por este.
- Cliente: El cliente debe contar con un browser en el cual pueda ingresar la dirección URL del sistema. No se requiere de la instalación de componentes adicionales.

3.2.8 Diagrama Entidad – Relación

La información que el cliente debe manejar, se ha abstraído en un diagrama de entidad-relación buscando organizar dicha información dentro del sistema. El diagrama maneja diferentes tipos

de objetos bajo el nombre de entidades y las características de los objetos bajo el nombre de atributos. Además, permite ver las relaciones que se manejan entre los objetos.

A continuación se encuentra el diagrama entidad-relación representando la estructura que maneja la base de datos, cuya documentación puede encontrarse en el Anexo 6.2.4:

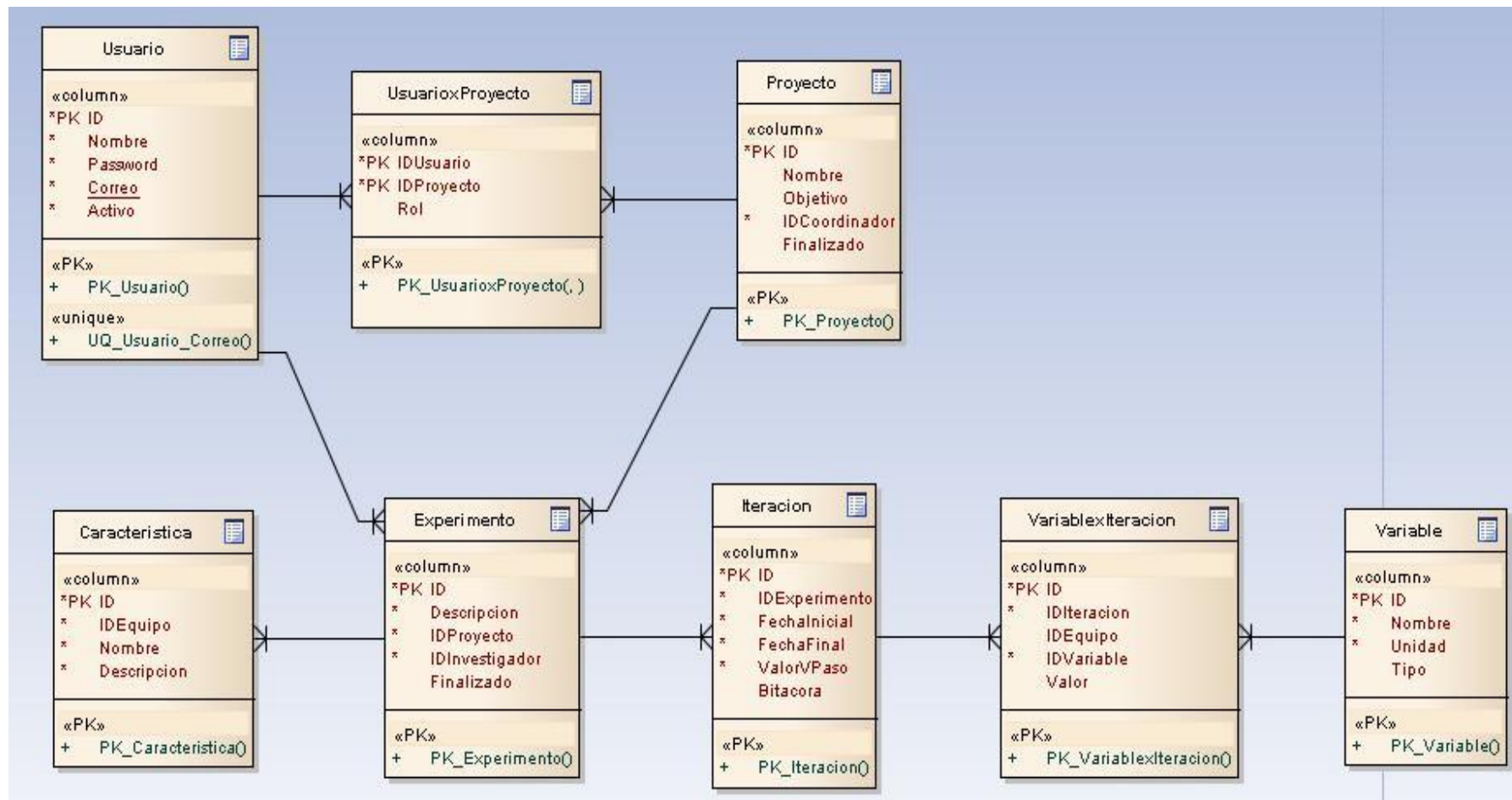


Figura 37: Diagrama Entidad-Relación

3.2.9 Implementación sistema AD

Una vez establecido el diseño, se implementó el sistema bajo el framework Yii [29] y los lenguajes de programación PHP [26] y HTML [32] con Subversion [33] como manejador de versiones y Google Code [34] como repositorio de código.

A la fecha se desarrolló la totalidad de la primera iteración (ver Sección Estrategia de implementación 3.2.6) lo cual ante el sistema representa un desarrollo del 90%. El caso de uso faltante está relacionado con la carga de los datos en tiempo real desde Labview hasta el sistema AD.

En adición al código, el sistema AD cuenta con un manual de usuario, que contiene los pasos necesarios para la instalación y ejecución del mismo (ver la página oficial del trabajo de grado <http://pegasus.javeriana.edu.co/~CIS1310GN01>).

3.2.10 Pruebas

Durante el desarrollo de ambas partes del componente lógico (*i*) interacción con la balanza y obtención de datos y *ii*) el almacenamiento y administración de los datos) se realizaron varias pruebas con el fin de asegurar que los requerimientos del sistema se cumplieran.

Comenzando por pruebas unitarias en cada función y entidad, pasando por pruebas de integración según las dependencias descritas en el modelo, complementando con pruebas de integración para los casos de uso más exigentes y finalmente haciendo una prueba de todo el sistema.

Estas pruebas aseguraron un correcto funcionamiento del sistema.

3.2.11 Extensión sistema AD

A partir de los casos de uso elaborados, el sistema AD puede extenderse a un sistema para el manejo de la información de un laboratorio, en donde se almacene la información de los proyectos que se realizan dentro de un grupo de investigación. Para cada proyecto se pueden realizar uno o más experimentos, cada uno con una o más iteraciones en donde se modifican las variables, constantes o condiciones bajo las cuales se ejecuta el experimento.

Además, el sistema permite maneja la información de los diferentes laboratorios en los que trabajan los investigadores y los equipos que se utilizan para cada experimento, como por ejemplo, la balanza.

Aprovechando el manejo de seguridad del sistema AD, se pueden manejar cuatro roles de seguridad (Administrador, investigador principal, investigador y laboratorista) especializando las funcionalidades proporcionadas por el sistema.

En el Anexo 6.3 se encuentra la documentación asociada la extensión del sistema, con el manejo de nuevos roles de usuario, nuevos casos de uso y entidades correspondientes.

4 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

4.1 CONCLUSIONES

En la ejecución de las labores diarias, se encuentran problemas que requieren soluciones propias. Sin embargo la tendencia es evaluar posibles soluciones desde el área de conocimiento que se tiene y no desde otras áreas del conocimiento que por analogías o diferentes teorías pueden aportar y dar solución al problema.

Al plantear SIMMA, se presentaba la problemática de medir masas pequeñas en ambientes con ausencia de contaminación y manipulación directa. Desde el punto de vista de la metrología se encuentran soluciones costosas. Sin embargo ver este problema desde áreas como la física y la ingeniería permitió analizar el principio del funcionamiento de algunos componentes y buscar aplicaciones diferentes a las cuales fueron creados, que en el caso de SIMMA fue el pilar principal para su diseño.

Desde el componente físico del sistema, se evidenció que al elaborar un concepto, diseñar la aplicación del concepto y realizar la fabricación del diseño, el análisis y el control de las variables claves para su funcionamiento dependen de factores que no suelen ser contemplados desde el inicio del proceso. Es por esto, que gracias a la ejecución de los tres pasos mencionados, se pudieron hacer correcciones y reevaluaciones del diseño de manera iterativa complementando en cada iteración el diseño final del producto.

Además, desde el punto de vista de la teoría del problema, al revisar y probar las ecuaciones físicas que determinan el comportamiento del galvanómetro, se encontró una relación lineal entre la masa colocada sobre la aguja y el desplazamiento angular causado por esta, lo que permitió aumentar el rango de medidas del galvanómetro. Dada esta propiedad y el poder aprovechar que la interfaz construida a través de la NI-USB 6009 permite el envío de 0.2 miliamperios al galvanómetro, la balanza alcanzó una sensibilidad de 5×10^{-5} g y una precisión de 0.00001g.

Para el diseño del componente lógico se unió la experiencia obtenida a lo largo de la carrera de Ingeniería de Sistemas, con teorías de otras disciplinas para realizar de manera iterativa el diseño y la implementación. Esto permitió agregar funcionalidades y especificaciones que generalizaron la solución a tal punto que se elaboró la documentación de un sistema de información para laboratorios genérico que puede ser implementado en el futuro. Cabe resaltar la importancia de realizar un buen diseño del componente lógico, ya que gracias a esto se logró una implementación en un tiempo no mayor a 3 semanas y en un lenguaje de programación que no era familiar para el estudiante.

Por otro lado, SIMMA propuso un grupo de trabajo interdisciplinar en donde cada experto en un área de conocimiento específica aportó conocimientos y experiencias, que enriquecieron el trabajo y permitieron tener en SIMMA una ruptura de las barreras del conocimiento ante cada enfrentamiento a un nuevo problema de diseño.

Por último, el diseño y desarrollo del Sistema automatizado de medición de masas SIMMA nació por la identificación de una problemática, se desarrolló por etapas iterativas bajo la

integración de diferentes áreas de conocimiento y se concluyó con la implementación del sistema, lo cual demuestra que es posible diseñar sistemas de medida de gran precisión siempre y cuando se consideren las variables y restricciones que influyen en el proceso.

4.2 TRABAJOS FUTUROS

Como la balanza de SIMMA es capaz de medir unidades de masa del orden de los miligramos, actualmente en la universidad no se cuenta con un equipo que permita corroborar que el grado de precisión que se está obteniendo con la balanza es realmente el valor de la masa. Se recomienda hacer una calibración de la balanza en el Instituto Colombiano de Metrología.

Dado el alcance del proyecto, los componentes de la balanza no alcanzaron a integrarse por lo que al seguir trabajando en pro de ella se recomienda incluirlos y probar su comportamiento en diferentes ambientes de ejecución y ejecutar con ella diferentes experimentos para probar sus capacidades.

De igual forma el diseño de la balanza puede mejorarse hasta llegar al punto de construir componentes diseñados específicamente para la balanza en base a los componentes aquí presentados.

Por otro lado, dada la especificación del sistema AD y su posibilidad de extenderse a un sistema de información para el manejo de laboratorios (LISM), se puede realizar la adaptación y extensión de este, según los documentos de diseño elaborados en este trabajo. Igualmente se puede desarrollar un mecanismo que permita al sistema cargar los datos provenientes de la balanza en tiempo real.

Por último, aprovechando el uso de la interfaz NI-USB 6009 se puede desarrollar un programa que permita, desde el computador, manejar la balanza con comandos como prender, apagar, abrir la bandeja, cargar muestra, medir, calibrar, entre otras para automatizar completamente el sistema.

5 BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Nanociencia y Nanotecnología - Nanocitec.” [Online]. Available: http://nanocitec.org/nano_y_tec.htm.
- [2] “Grupo de Nanociencia y Nanotecnología de la Pontificia Universidad Javeriana,” 2013. [Online]. Available: <http://gnano.javeriana.edu.co/inicio.htm>.
- [3] “Balanzas analíticas - Mettler Toledo - América Latina y Caribe.” [Online]. Available: http://co.mt.com/lac/es/home/products/Laboratory_Weighing_Solutions/Analytical_Balances.html?sem=09010342.
- [4] “Scalesonline - Affordable Scales | Discount Balances | Ohaus | Force Gauges.” [Online]. Available: <http://www.scalesonline.com/>. [Accessed: 28-Apr-2013].
- [5] “Sartorius CPA Series Analytical Balance.” [Online]. Available: http://www.scalesonline.com/357/No_Manufacturer/Sartorius-CPA-Series-Analytical-Balance.aspx.
- [6] “Mettler Toledo - Balanzas de laboratorio, Valoradores, Raining tecnología, Caracterización de partículas, pH, Básculas, Controladora dinámica de peso, Control Volumétrico, Empaque - Mettler Toledo - América Latina y Caribe.” [Online]. Available: <http://co.mt.com/lac/es/home.html?sem=07010342>.
- [7] “Medición de Masas en balanzas.” [Online]. Available: <http://www.santillana.cl/quimica1u1e1-04balanza.htm>.
- [8] “Comunidades de Software Libre.” [Online]. Available: <http://usemoslinux.blogspot.com/p/comunidades-de-software-libre.html>.
- [9] F. A. Guarnieri, “Microbalanza de cristal de cuarzo: Diseño y Simulación,” vol. XXVIII, pp. 3–6, 2009.
- [10] “Principio de funcionamiento - Microbalanzas de Cuarzo.” [Online]. Available: <http://sensorautorresonantes.blogspot.com/2007/06/principio-de-funcionamiento.html>.
- [11] “Balanzas | Sistemas de Pesaje y Control.” [Online]. Available: http://www.ispc.com.mx/spc_balanzas.
- [12] Universidad de Valencia, “Balanzas.” Trabajo en Clase
- [13] “Componentes galvanómetro.” [Online]. Available: <http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Componentesgalvanometro.jpg>.
- [14] “Qué es y cómo funciona un galvanómetro.” [Online]. Available: <http://gluones.wordpress.com/2009/03/29/que-es-y-como-funciona-un-galvanometro/>.
- [15] “El galvanómetro.” [Online]. Available: http://www.upct.es/contenido/seeu/_as/divulgacion_cyt_09/Libro_Historia_Ciencia/multimedia/galvanometro/galvanometro.htm#Medida de la constante K de un galvanometro.

- [16] “NI LabVIEW - Mejorar la Productividad de Ingenieros y Científicos - National Instruments.” [Online]. Available: <http://www.ni.com/labview/esa/>.
- [17] F. A. Amo, *Introducción a la Ingeniería de Software. Modelos de desarrollo de programas*. 2005.
- [18] C. Larman and V. Basili, “Iterative and incremental developments. a brief history,” *Computer*, no. June, pp. 47–56, 2003.
- [19] B. Mahadevan, *Operations management. Theory and practice*, Second edi. 2010.
- [20] A. Weitzenfeld, *Ingeniería de software orientada a objetos con UML, Java en Internet*. Thomson, 2004.
- [21] R. Biddle, J. Noble, and E. Tempero, “Patterns for essential use case bodies”, 2003.
- [22] “LIMS Systems | Laboratory Information Management Software - Custom LIMS.” [Online]. Available: <http://corelims.com/products/core-lims-product-summary/>.
- [23] “Web Based LIMS – LIMS by Starlims.” [Online]. Available: <http://www.starlims.com/es-es/inicio/>
- [24] A. Melo, A. Faria-Campos, D. M. DeLaat, R. Keller, V. Abreu, and S. Campos, “SIGLa: an adaptable LIMS for multiple laboratories.,” *BMC genomics*, vol. 11 Suppl 5, no. Suppl 5, p. S8, Jan. 2010.
- [25] “Open-LIMS The Open-Source Laboratory Information Management System.” [Online]. Available: <http://www.open-lims.org/>.
- [26] “PHP: Hypertext Preprocessor.” [Online]. Available: <http://php.net/>.
- [27] “The Best PHP Framework for 2013.” [Online]. Available: <http://webrevisions.com/tutorials/php-framework-the-best-php-framework-for-2013/#.UZHiSqI-bVE>. [Accessed: 14-May-2013].
- [28] “PHP frameworks comparison.” [Online]. Available: <http://socialcompare.com/es/comparison/php-frameworks-comparison>.
- [29] “Yii Framework.” [Online]. Available: <http://www.yiiframework.com/>.
- [30] J. Winesett, *Web Application development with Yii and PHP*, Second edi. Packt. Open Source, 2012.
- [31] “Observer Design Pattern.” [Online]. Available: http://sourcemaking.com/design_patterns/observer.
- [32] “Introduction to HTML.” [Online]. Available: http://www.w3schools.com/html/html_intro.asp.
- [33] “Apache Subversion.” [Online]. Available: <http://subversion.apache.org/>.

- [34] "Google Code." [Online]. Available: <https://code.google.com/>.
- [35] K. E. Wiegers, "First Things First: Prioritizing Requirements," *Software Development*, 1999.
- [36] K. E. Wiegers, *Software Requirements*, 2nd ed. Microsoft Press, 2003.
- [37] M. a. Willard, L. K. Kurihara, E. E. Carpenter, S. Calvin, and V. G. Harris, "Chemically prepared magnetic nanoparticles," *International Materials Reviews*, vol. 49, no. 3, pp. 125-170, Jun. 2004.
- [38] "Medidas de bioseguridad , precauciones estándar y sistemas de aislamiento," *Rev Enferm IMSS*, vol. 10, no. 3707, pp. 27-30, 2002.
- [39] F. Rugged and P. Direct, "Precision Weighing integrated into customer processes Automated Precision Weighing Automated Processes faster , more effective and more reliable."
- [40] E. Athanassiou and R. Grass, "Large-scale production of carbon-coated copper nanoparticles for sensor applications," *Nanotechnology*, no. 2, pp. 1-4, 2006.
- [41] X. Cheng et al., "Characterization of Multiwalled Carbon Nanotubes Dispersing in Water and Association with Biological Effects," *Journal of Nanomaterials*, vol. 2011, pp. 1-12, 2011.
- [42] P. Christian, F. Von der Kammer, M. Baalousha, and T. Hofmann, "Nanoparticles: structure, properties, preparation and behaviour in environmental media." *Ecotoxicology (London, England)*, vol. 17, no. 5, pp. 326-43, Jul. 2008.
- [43] P. F. X. Corvini and P. Shahgaldian, "LANCE: Laccase-nanoparticle conjugates for the elimination of micropollutants (endocrine disrupting chemicals) from wastewater in bioreactors," *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, vol. 9, no. 1, pp. 23-27, Nov. 2009.
- [44] B. L. Cushing, V. L. Kolesnichenko, and C. J. O'Connor, "Recent advances in the liquid-phase syntheses of inorganic nanoparticles.," *Chemical reviews*, vol. 104, no. 9, pp. 3893-946, Sep. 2004.
- [45] A. Lähde, J. Raula, and E. I. Kauppinen, "Production of L-Leucine Nanoparticles under Various Conditions Using an Aerosol Flow Reactor Method," *Journal of Nanomaterials*, vol. 2008, pp. 1-9, 2008.
- [46] A.-H. Lu, E. L. Salabas, and F. Schüth, "Magnetic nanoparticles: synthesis, protection, functionalization, and application.," *Angewandte Chemie (International ed. in English)*, vol. 46, no. 8, pp. 1222-44, Jan. 2007.
- [47] S. Mahendra, Q. Li, D. Y. Lyon, L. Brunet, and P. J. J. Alvarez, *Disinfection and Microbial Control : Merits and Limitations*. William Andrew Inc., pp. 157-166.
- [48] PAN. Overview, "Water Treatment by Heterogeneous," *Water*.

- [49] Q. a Pankhurst, J. Connolly, S. K. Jones, and J. Dobson, "Applications of magnetic nanoparticles in biomedicine," *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 36, no. 13, p. R167-R181, Jul. 2003.
- [50] T. Pradeep, "Noble metal nanoparticles for water purification: A critical review," *Thin Solid Films*, vol. 517, no. 24, pp. 6441-6478, Oct. 2009.
- [51] Gvlow Ry, Palva Rez, Dian. Ysios, D. Ysiou, and P. R. A. Biswas, "Assessing the Risks of Manufactured," *Environmental Science & Technology*.
- [52] L. Stander and L. Theodore, "Environmental implications of nanotechnology--an update.," *International journal of environmental research and public health*, vol. 8, no. 2, pp. 470-9, Feb. 2011.
- [53] A. Valavanidis and T. Vlachogianni, "Nanomaterials and nanoparticles in the aquatic environment: Toxicological and ecotoxicological risks," *chem-tox-ecotox.org*, 2003.
- [54] L. Varela, "De la medición de magnitudes físicas: unidades , cifras significativas e incertidumbres de medida .," 2004.
- [54] J.-S. Hu et al., "Mass production and high photocatalytic activity of ZnS nanoporous nanoparticles.," *Angewandte Chemie (International ed. in English)*, vol. 44, no. 8, pp. 1269-73, Feb. 2005.

6 ANEXOS

6.1 Glosario

Calibración: Determinación del valor correcto de la lectura de un instrumento, por medición o comparación de la misma contra un estándar o patrón. Una balanza se calibra mediante la utilización de pesas patrón.

Exactitud: Concordancia o cercanía de un valor medido con el valor verdadero o teórico. Como especificación dada por el fabricante, ya se estableció que indica realmente la incertidumbre con la cual se obtienen las medidas. Es decir, si el fabricante establece una exactitud del +0,1% lo que se está especificando es una incertidumbre del +0,1% o lo que es lo mismo una exactitud del 99,9%.

Histéresis: Diferencia que se presenta en los resultados cuando se aumenta o disminuye la carga en la balanza.

Linealidad: Concepto que aplica a la capacidad o habilidad de una balanza para lograr lecturas exactas de peso de masas menores a la de su capacidad total. Si se dibujara una gráfica entre peso, comparado con la indicación de peso en una balanza perfectamente lineal, el resultado final sería una línea recta. Para determinar el error de linealidad de una balanza, se deben utilizar masas certificadas. El procedimiento que permite calcular las diferencias de linealidad consiste en efectuar lecturas con masas certificadas –la misma masa– con y sin precarga. La diferencia entre las dos lecturas permite calcular el error de linealidad.

Masa: Propiedad de la materia que se manifiesta a través de fenómenos tales como la atracción de los cuerpos, mediante la fuerza de gravedad o mediante la inercia –resistencia a cambiar el estado de reposo o movimiento bajo–. La unidad fundamental para expresar el concepto de masa es el kilogramo [kg].

Precisión: Se define como la dimensión mínima exacta que se puede leer en un instrumento.

Resolución: Mínimo cambio, en una medida, que es capaz de detectar un dispositivo de medición (varía dependiendo de la escala).

Sensibilidad: Masa más pequeña que puede ser detectada por la balanza. También se entiende como la masa más pequeña que la balanza medirá correctamente.

6.2 Documentación sistema AD

6.2.1 Documentación modelo de dominio del sistema AD

A continuación se encuentra la documentación del modelo de dominio del sistema AD, donde se especifica el nombre del elemento a documentar, su respectiva descripción, la información de las relaciones y los atributos que lo componen.

Elemento del dominio	Usuario	
Descripción	Persona inscrita al sistema	
Relaciones		
Nombre	Descripción	Destino
Vinculado	Los investigadores se encuentran vinculados a los diferentes proyectos que se manejan.	Proyecto
Realizado por	Cada experimento tiene un investigador responsable	Experimento
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Nombre	Nombre del investigador	Texto
Correo	Dirección de correo electrónico	Texto
Activo	Estado que mantiene el usuario en el sistema. True si está activo, False si está desactivado	Booleano
Password	Contraseña que utilizará para ingresar al sistema	Texto

Tabla 7: Documentación entidad Usuario

Elemento del dominio	Proyecto	
Descripción	Conjunto de experimentos que buscan un mismo objetivo	
Relaciones		
Nombre	Descripción	Destino
Compuesto de	Un proyecto se compone de uno o varios experimentos	Experimento
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Coordinador	Investigador encargado de la ejecución del proyecto	Numérico
Nombre	Nombre del proyecto	Texto
Finalizado	True si el proyecto ha concluido, de lo contrario False	Booleano
Objetivo	Descripción del objetivo del proyecto	Texto

Tabla 8: Documentación entidad Proyecto

Elemento del dominio	Experimento	
Descripción	Organización y ejecución de iteraciones destinadas a descubrir, comprobar o demostrar determinados fenómenos o principios científicos por medio de la utilización de la balanza	
Relaciones		
Nombre	Descripción	Destino
Ejecuta	Un experimento ejecuta una o varias iteraciones	Iteración
Utiliza	Describe la característica bajo la cual operará la balanza en el experimento	Características
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Finalizado	True si el experimento ha concluido, de lo contrario False	Booleano
Descripción	Describe el objetivo o la razón de ser del experimento dentro del proyecto de investigación	Texto

Tabla 9: Documentación entidad Experimento

Elemento del dominio	Característica	
Descripción	Características bajo las cuales opera la balanza dentro de un experimento	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Nombre	Nombre de la característica	Texto
Descripción	Descripción de la característica	Texto

Tabla 10: Documentación entidad Característica

Elemento del dominio	Iteración	
Descripción	Conjunto de acciones dentro de un experimento que según las variables y la configuración de la balanza busca alcanzar el objetivo del experimento	
Relaciones		
Nombre	Descripción	Destino
Maneja	Valores a ser calculados y controlados durante la iteración	Variable
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Bitácora	Descripción de la iteración	Texto
FechaIni	Fecha y hora del inicio de la iteración	Fecha
FechaFin	Fecha y hora del fin de la iteración	Fecha
UnidadVPaso	Indicador de un ciclo de ejecución	Numérico

Tabla 11: Documentación entidad Iteración

Elemento del dominio	Variable	
Descripción	Magnitud que adquiere un valor durante la ejecución de la iteración o se define como constante para la iteración	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Nombre	Nombre de la variable	Texto
Tipo	Verdadero: es variable. Falso: es una constante	Booleano
Unidad	Unidad en la cual se encuentra especificada la variable	Texto
Valor	Valor asignado o calculado	Numérico

Tabla 12: Documentación entidad Variable

6.2.2 Documentación Casos de Uso sistema AD

Para determinar la forma en cómo cada caso de uso funciona y cómo interactúa con cada actor, se realiza la documentación de los mismos, teniendo en cuenta que como este sistema es un prototipo orientado al funcionamiento puntual de la balanza elaborada, se realizó una documentación general de cada caso de uso, quedando como trabajo futuro la elaboración del flujo de la interacción entre el sistema, el usuario y demás casos de uso acá no contemplados.

Nombre	Actor	Objetivo
CU-001 - Registrar usuario	Usuario	Permite registrar al sistema a una persona externa a este. Una vez registrado adopta el rol de usuario
CU-002 - Actualizar información usuario	Usuario/Admin	Cada usuario puede actualizar su información dentro del sistema
CU-003 - Crear proyecto	Usuario	Se debe diligenciar la información necesaria para la creación del proyecto en el que se involucrará el uso del componente físico de SIMMA
CU-004 - Editar proyecto	Usuario	Permite editar la información almacenada acerca del proyecto. Al momento de modificar la información, esta debe replicarse en el sistema
CU-005 - Crear experimento	Usuario	Bajo el contexto de un proyecto determinado se puede crear un experimento asociado a uno de los investigadores que hacen parte del proyecto
CU-006 - Modificar experimento	Usuario	Permite hacerle cambios a la configuración de un experimento
CU-007 - Añadir variable	Usuario	Consiste en incluir la variable que intervendrá o interactuará durante el experimento
CU-008 - Añadir características	Usuario	Escenario bajo el cual se encuentra operando la balanza
CU-009 - Modificar característica	Usuario	Permite hacerle cambios a la configuración y los escenarios de trabajo de la balanza
CU-010 - Configurar iteración	Usuario	Implica determinar las variables y la configuración bajo la cual trabajará la balanza dentro de la iteración asociada a un experimento
CU-011 - Realizar iteración	Usuario	Carga la información de masa proveniente de la balanza y la almacena en la base de datos según la configuración determinada para cada iteración
CU-012 - Generar reporte por experimento	Usuario	Realizar un reporte de todos los experimentos realizados dentro de un proyecto para mostrar de manera organizada la información

Tabla 13: Documentación Casos de Uso sistema AD

6.2.3 Priorización Casos de Uso sistema AD

La priorización utilizada está basada en el método de Wiegers [35] y toma en cuenta los siguientes aspectos para cada caso de uso en una escala de 1 a 9 siendo, 1 el mínimo y 9 el máximo nivel [36]:

- Beneficio: Cuánto se beneficia el cliente si el requerimiento se encuentra aplicado dentro del sistema.
- Penalidad: Impacto negativo para el cliente de no ser implementado el caso de uso en el sistema.
- Costo: Esfuerzo que se invierte para cumplir con la implementación del caso de uso.
- Riesgo: Posibilidad de que el caso de uso no pueda ser implementado.

La fórmula que utiliza la priorización de Wiegers[35] es la siguiente:

$$\frac{\text{valor \%}}{(\% \text{ costo} * \text{peso del costo} + \% \text{ riesgo} * \text{peso del riesgo})}$$

Ecuación 1: Priorización de Wiegers

Donde,

$$\text{valor} = (\text{beneficio} * \text{peso del beneficio} + \text{penalidad} * \text{peso de la penalidad})$$

$$\text{peso del beneficio} = 2$$

$$\text{peso de la penalidad} = 1$$

Dicha fórmula establece que a mayor costo y a mayor riesgo el caso de uso tendrá una prioridad menor ya que este puede llevar a pérdidas o desgaste en casos de uso costosos que no generan gran valor. De esta manera, permite que se le dé una mayor prioridad a la implementación de los casos de uso que más generan beneficio y valor para el cliente.

A continuación se encuentra el cálculo de la priorización realizada:

	Priorización								
	Beneficio	Impacto negativo	Valor total	Valor %	Costo relativo	Costo %	Riesgo relativo	Riesgo %	Prioridad
Caso de uso	2	1			1		0,5		
CU-001 - Registrar usuario	9	8	26	0,0945	2	0,0364	2	0,0588	1,4370
CU-003 - Crear proyecto	9	9	27	0,0982	4	0,0727	2	0,0588	0,9610
CU-002 - Actualizar información usuario	7	2	16	0,0582	2	0,0364	2	0,0588	0,8850
CU-004 - Editar proyecto	8	7	23	0,0836	4	0,0727	2	0,0588	0,8190
CU-005 - Crear experimento	9	8	26	0,0945	4	0,0727	3	0,0882	0,8090
CU-006 - Modificar experimento	8	7	23	0,0836	4	0,0727	3	0,0882	0,7160
CU-007 - Añadir variable	9	7	25	0,0909	4	0,0727	4	0,1176	0,6910

CU-010 - Realizar iteración	9	6	24	0,0873	4	0,0727	4	0,1176	0,6630
CU-008 - Añadir características	7	5	19	0,0691	5	0,0909	3	0,0882	0,5120
CU-012 - Generar reporte por experimento	9	9	27	0,0982	9	0,1636	3	0,0882	0,4730
CU-011 - Configurar iteración	9	6	24	0,0873	8	0,1455	3	0,0882	0,4600
CU-009 - Modificar característica	5	5	15	0,0545	5	0,0909	3	0,0882	0,4040
Totales	98	79	275	1	55	1	34	1	8,83

Tabla 14: Priorización Casos de Uso sistema AD

6.2.4 Documentación modelo Entidad-Relación sistema AD

A continuación se encuentra la documentación del diagrama Entidad-Relación, donde se especifica el nombre de la entidad a documentar, su respectiva descripción y los atributos que la componen.

Elemento del dominio	Usuario	
Descripción	Persona inscrita al sistema	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
Nombre	Nombre del investigador	Varchar (100)
Correo	Dirección de correo electrónico	Varchar (100)
Activo	Estado que mantiene el usuario en el sistema. True si está activo, False si está desactivado	Boolean
Password	Contraseña que utilizará para ingresar al sistema	Varchar (15)

Tabla 15: Documentación entidad Usuario

Elemento del dominio	Usuarioxproyecto	
Descripción	Maneja las relaciones de las personas asociadas a proyectos	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
IDUsuario	Identificador del usuario	Int
IDProyecto	Identificador del proyecto	Int

Tabla 16: Documentación entidad UsuarioxProyecto

Elemento del dominio	Proyecto	
Descripción	Conjunto de experimentos que buscan un mismo objetivo	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
IDCoordinador	Identificador del coordinador del proyecto	Int
Nombre	Nombre del proyecto	Varchar (255)
Finalizado	True si el proyecto ha concluido, de lo contrario False	Boolean
Objetivo	Descripción del objetivo del proyecto	Varchar (255)

Tabla 17: Documentación entidad Proyecto

Elemento del dominio	Experimento	
Descripción	Organización y ejecución de iteraciones destinadas a descubrir, comprobar o demostrar determinados fenómenos o principios científicos.	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
IDProyecto	Identificador del proyecto al cual está asociado	Int
IDInvestigador	Identificador del investigador del experimento	Int
Finalizado	True si el experimento ha concluido, de lo contrario False	Boolean
Descripcion	Describe el objetivo o la razón de ser del experimento dentro del proyecto de investigación	Varchar (255)

Tabla 18: Documentación entidad Experimento

Elemento del dominio	Característica	
Descripción	Características de la configuración que se manejará para el funcionamiento de la balanza	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
Nombre	Nombre de la característica	Varchar (255)
Descripción	Descripción de la característica	Varchar (255)

Tabla 19: Documentación entidad Característica

Elemento del dominio	Iteración	
Descripción	Conjunto de acciones que según la configuración de la balanza y las variables a utilizar busca alcanzar el objetivo del experimento	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
IDExperimento	Identificador del experimento al cual pertenece	Int
Bitacora	Descripción de la iteración	Varchar (255)
FechaIni	Fecha y hora del inicio de la iteración	Date
FechaFin	Fecha y hora del fin de la iteración	Date
UnidadVPaso	Indicador de un ciclo de ejecución	Double

Tabla 20: Documentación entidad Iteración

Elemento del dominio	VariablexIteracion	
Descripción	Variables que se manejan en cada iteración	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Identificador del experimento	Int
IDIteracion	Identificador de la iteración	Int
IDVariable	Identificador de la variable	Int
Valor	Valor adoptado por la variable	Double

Tabla 21: Documentación entidad VariablexIteracion

Elemento del dominio	Variable	
Descripción	Magnitud que adquiere un valor durante la ejecución de la iteración o se define como constante para la iteración	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
Nombre	Nombre de la variable	Varchar (100)
Tipo	Verdadero: es variable. Falso: es una constante	Boolean
Unidad	Unidad en la cual se encuentra especificada la variable	Varchar (10)

Tabla 22: Documentación entidad Variable

6.3 Documentación extensión sistema AD

6.3.1 Documentación modelo de dominio

Para la extensión del sistema AD, el modelo de dominio sufre un cambio ya que incluye más entidades y relaciones que antes no existían. En la Figura 38 se puede ver dicho modelo seguido por su respectiva documentación.

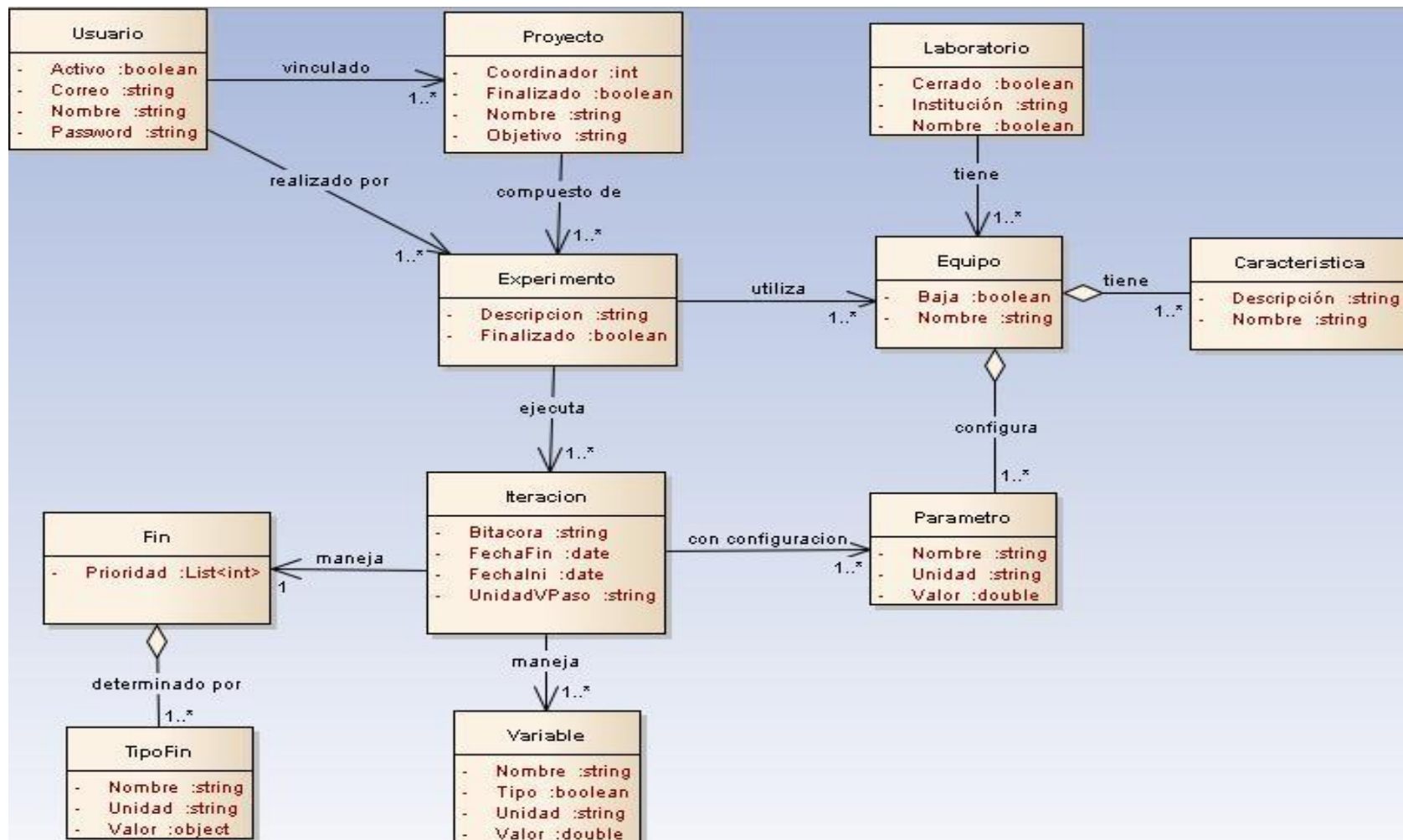


Figura 38: Modelo de Dominio extensión AD

Elemento del dominio	Usuario	
Descripción	Persona inscrita al sistema	
Relaciones		
Nombre	Descripción	Destino
Vinculado	Los investigadores se encuentran vinculados a los diferentes proyectos que se manejan. Estos pueden manejar diferentes roles dentro de cada proyecto.	Proyecto
Realizado por	Cada experimento tiene un investigador responsable	Experimento
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Nombre	Nombre del investigador	Texto
Correo	Dirección de correo electrónico	Texto
Activo	Estado que mantiene el usuario en el sistema. True si está activo, False si está desactivado	Booleano
Password	Contraseña que utilizará para ingresar al sistema	Texto

Tabla 23: Documentación entidad Usuario

Elemento del dominio	Proyecto	
Descripción	Conjunto de experimentos que buscan un mismo objetivo	
Relaciones		
Nombre	Descripción	Destino
Compuesto de	Un proyecto se compone de uno o varios experimentos	Experimento
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Coordinador	Investigador encargado de la ejecución del proyecto	Numérico
Nombre	Nombre del proyecto	Texto
Finalizado	True si el proyecto ha concluido, de lo contrario False	Booleano
Objetivo	Descripción del objetivo del proyecto	Texto

Tabla 24: Documentación entidad Proyecto

Elemento del dominio	Experimento	
Descripción	Organización y ejecución de iteraciones destinadas a descubrir, comprobar o demostrar determinados fenómenos o principios científicos.	
Relaciones		
Nombre	Descripción	Destino
Ejecuta	Un experimento ejecuta una o varias iteraciones	Iteración
Utiliza	Utiliza uno o varios equipos que le permite realizar una o varias iteraciones	Equipo
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Finalizado	True si el experimento ha concluido, de lo contrario False	Booleano
Descripción	Describe el objetivo o la razón de ser del experimento dentro del proyecto de investigación	Texto

Tabla 25: Documentación entidad Experimento

Elemento del dominio	Laboratorio	
Descripción	Espacio físico en donde se encuentran los equipos para realizar los diferentes experimentos	
Relaciones		
Nombre	Descripción	Destino
Tiene	Un laboratorio tiene uno o varios equipos físicos	Equipo
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Nombre	Nombre del laboratorio	Texto
Cerrado	True si el laboratorio ha cerrado, False de lo contrario	Booleano
Institución	Institución a la cual pertenece el laboratorio	Texto

Tabla 26: Documentación entidad Laboratorio

Elemento del dominio	Equipo	
Descripción	Equipo de laboratorio físico que permite realizar los experimentos	
Relaciones		
Nombre	Descripción	Destino
Tiene	Un equipo cuenta con determinadas características únicas que le permiten diferenciarse de los demás	Característica
Configura	Según cada experimento y cada especificación se configuran los parámetros correspondientes del equipo	Parámetro
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Baja	True si el equipo fue dado de baja, False de lo contrario	Booleano
Nombre	Nombre del equipo	Texto

Tabla 27: Documentación entidad Equipo

Elemento del dominio	Característica	
Descripción	Características de los equipos físicos utilizados en el laboratorio	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Nombre	Nombre de la característica	Texto
Descripción	Descripción de la característica	Texto

Tabla 28: Documentación entidad Característica

Elemento del dominio	Parámetro	
Descripción	Se encarga de manejar los parámetros de configuración de un equipo de laboratorio	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Nombre	Nombre de la descripción	Texto
Unidad	Unidad en la cual se encuentra especificado el parámetro	Texto
Valor	Valor asignado al parámetro según la configuración establecida	Numérico

Tabla 29: Documentación entidad Parámetro

Elemento del dominio	Iteración	
Descripción	Conjunto de acciones que según el equipo, los parámetros y las variables a utilizar busca alcanzar el objetivo del experimento	
Relaciones		
Nombre	Descripción	Destino
Con configuración	Configuración de un equipo determinado según las características de la iteración	Parámetro
Maneja	Valores a ser calculados y controlados durante la iteración	Variable
Maneja	Valor que indica cuándo se finaliza una iteración	Fin
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Bitácora	Descripción de la iteración	Texto
FechaIni	Fecha y hora del inicio de la iteración	Fecha
FechaFin	Fecha y hora del fin de la iteración	Fecha
UnidadVPaso	Indicador de un ciclo de ejecución	Numérico

Tabla 30: Documentación entidad Iteración

Elemento del dominio	Variable	
Descripción	Magnitud que adquiere un valor durante la ejecución de la iteración o se define como constante para la iteración	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Nombre	Nombre de la variable	Texto
Tipo	Verdadero: es variable. Falso: es una constante	Booleano
Unidad	Unidad en la cual se encuentra especificada la variable	Texto
Valor	Valor asignado o calculado	Numérico

Tabla 31: Documentación entidad Variable

Elemento del dominio	Fin	
Descripción	Formas de finalizar la ejecución de una iteración	
Relaciones		
Nombre	Descripción	Destino
Determinado por	Condicionado al tipo de fin al que pertenezca	Tipofin
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Prioridad	Lista de prioridades para las diferentes formas de finalizar una ejecución	Lista numérica

Tabla 32: Documentación entidad Fin

Elemento del dominio	Tipo fin	
Descripción	Modo de finalización de una iteración	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
Nombre	Nombre del tipo fin	Texto
Unidad	Unidad en la cual se encuentra especificado el fin	Texto
Valor	Valor asignado que determina cuándo debe finalizar la iteración	Objeto

Tabla 33: Documentación entidad TipoFin

6.3.2 Casos de uso extensión AD

Se definieron 4 actores principales que permiten el funcionamiento del sistema (ver Figura 39):

- Administrador: Encargado de asignarle los roles a los usuarios registrados y realizar reportes sobre todos los proyectos que hayan sido creados. Puede ser investigador principal e investigador.
- Investigador principal: Puede crear y editar proyectos, además de asignar los investigadores de los proyectos. Tiene permisos para generar reportes de los proyectos de los cuales sea el dueño. También tiene el rol de investigador, lo cual permite su participación activa en los experimentos e iteraciones.
- Investigador: Persona encargada de realizar experimentos e iteraciones dentro de un proyecto determinado. Puede pertenecer a varios proyectos al tiempo. Además puede acceder a la información de todos los experimentos realizados dentro del proyecto para obtener reportes.
- Laboratorista: Persona encargada de la configuración de los laboratorios y los equipos con los que cuenta cada uno, sus características y los parámetros de los mismos.
- Usuario: Únicamente tiene permitido crear un perfil en el sistema con sus condiciones, de manera que el administrador o el investigador principal le asignen permisos según como corresponda.

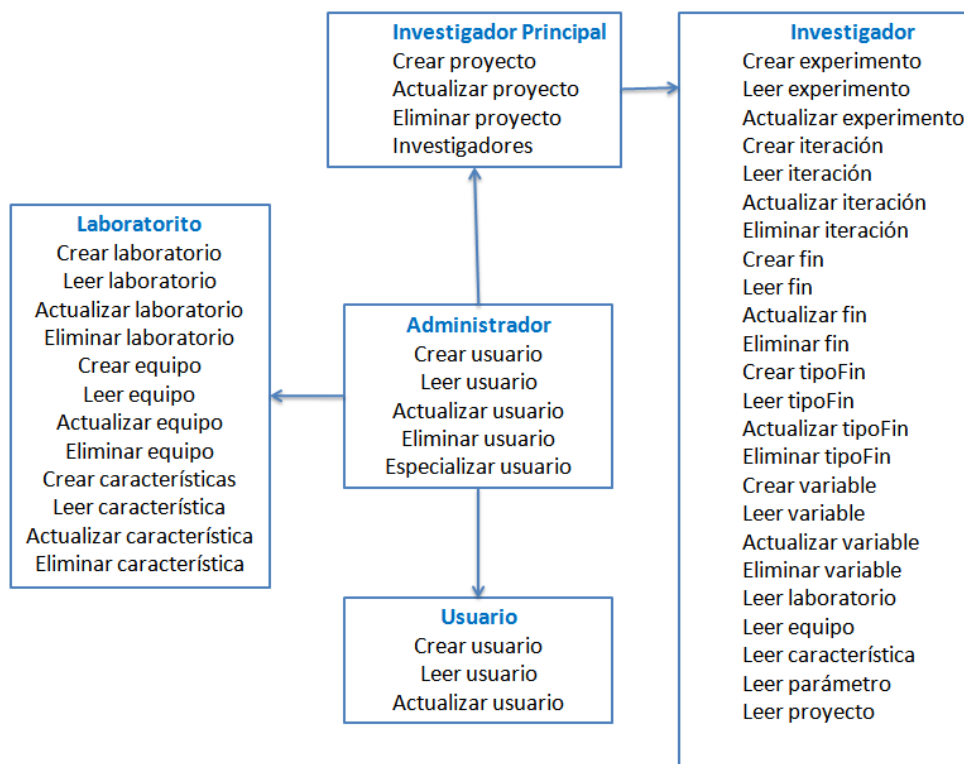


Figura 39: Permisos actores extensión sistema AD

Para determinar la forma en cómo cada caso de uso funciona y cómo interactúa con cada actor, se encuentra el diagrama de casos de uso (ver Figura 40) y la documentación de los mismos, teniendo

en cuenta que como este sistema es una extensión de AD que supera el alcance del trabajo de grado, se realizó una documentación general de cada caso de uso, quedando como trabajo futuro la elaboración del flujo de la interacción entre el sistema y el usuario.

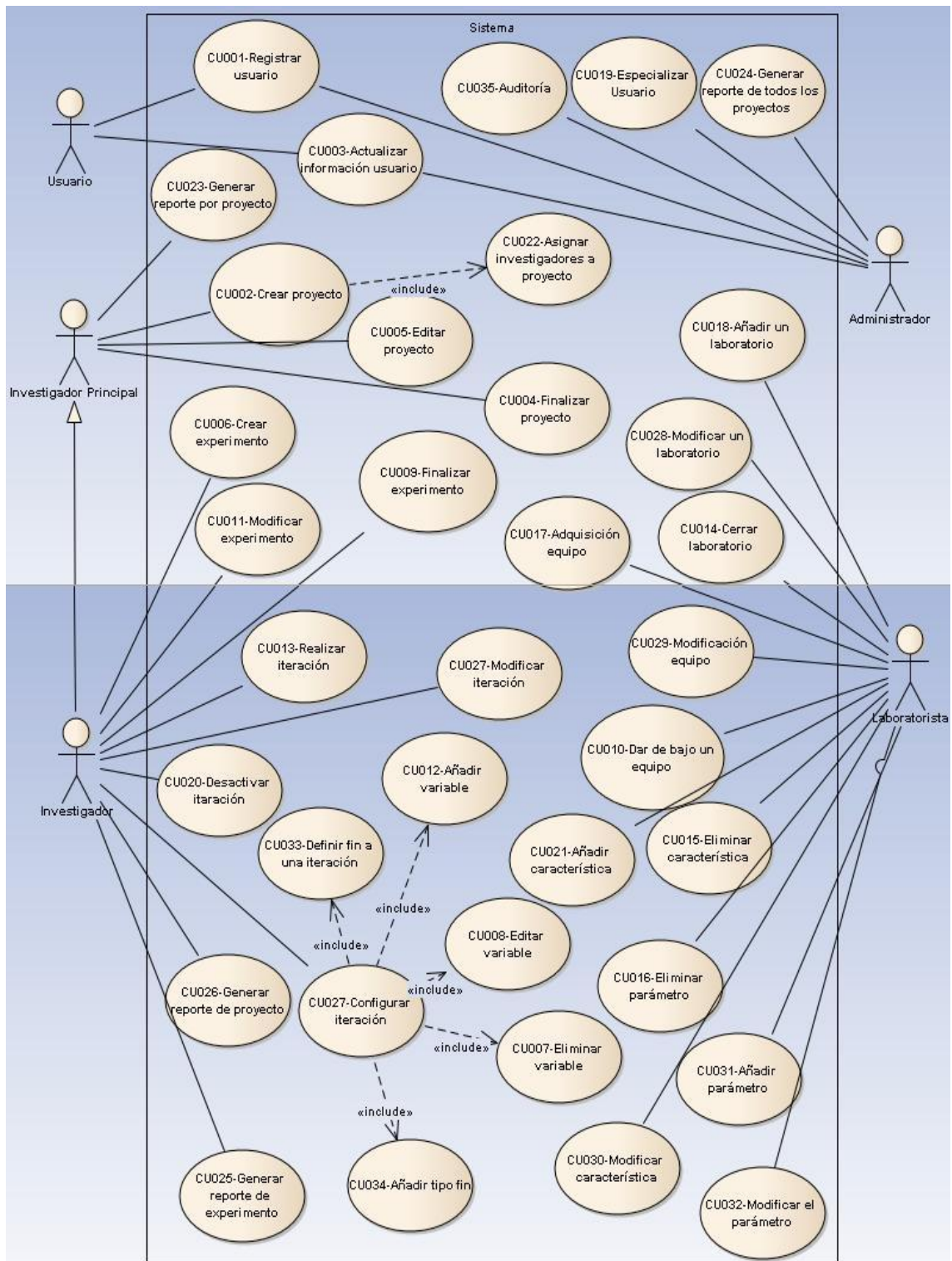


Figura 40: Diagrama Casos de Uso extensión sistema AD

Nombre	Actor	Objetivo
CU-001 - Registrar usuario	Usuario	Permite registrar al sistema a una persona externa a este. Una vez registrada adopta el rol de usuario
CU-002 - Crear proyecto	Investigador Principal	Se debe diligenciar la información necesaria para la creación de un proyecto
CU-003 - Actualizar información usuario	Usuario/Admin	Cada usuario debe poder actualizar su información dentro del sistema. De igual forma, el administrador debe poder desactivar un usuario que ya no debe tener acceso al sistema
CU-004 - Finalizar un proyecto	Investigador Principal	Implica revisar que todos los experimentos asociados al proyecto hayan finalizado
CU-005 - Editar proyecto	Investigador Principal	Permite editar la información almacenada acerca del proyecto. Al momento de modificar la información, esta debe replicarse en el sistema
CU-006 - Crear experimento	Investigador	Bajo el contexto de un proyecto determinado se puede crear un experimento asociado a uno de los investigadores que hacen parte del proyecto
CU-007 - Eliminar variable	Investigador	Una variable solo puede ser eliminada cuando no ha sido utilizada en una iteración, esto con el fin de no eliminar la información de la base de datos
CU-008 - Editar variable	Investigador	Editar una variable permite cambiar la configuración de la misma, sin afectar la ejecución de una iteración
CU-009 - Finaliza experimento	Investigador	Implica revisar que todas las iteraciones asociados al experimento hayan finalizado
CU-010 - Dar de baja un equipo	Laboratorista	Un equipo no puede eliminarse del sistema, por lo que al darse de baja este se desactiva e impide que un investigador lo asocie a un experimento
CU-011 - Modificar experimento	Investigador	Permite hacerle cambios a la configuración de un experimento
CU-012 - Añadir variable	Investigador	Consiste en diligenciar los campos que requiere una variable para almacenarlos en la base de datos
CU-013 - Realizar iteraciones	Investigador	Carga la información proveniente de, en este caso, la balanza y la almacena en la base de datos según la

		configuración determinada para cada iteración
CU-014 - Cerrar laboratorio	Laboratorista	Es necesario dar de baja todos los equipos asociados a este laboratorio y ahí si cerrarlo, impidiendo que un investigador asocie sus equipos a los experimentos
CU-015 - Eliminar característica	Laboratorista	Eliminar del sistema la característica asociada a un equipo de laboratorio determinado
CU-016 - Eliminar parámetro	Investigador	Un parámetro solo puede ser eliminado cuando no ha sido utilizada en una iteración, esto con el fin de no eliminar la información de la base de datos
CU-017 - Adquisición equipo	Laboratorista	Añadir la información de un equipo a la base de datos y asociarlo a un laboratorio en específico
CU-018 - Añadir un laboratorio	Laboratorista	Consiste en diligenciar los campos que requiere un laboratorio para almacenarlos en la base de datos
CU-019 - Especializar usuario	Administrador	Añadirle un perfil de investigador principal o laboratorista a un usuario
CU-020 - Desactivar iteración	Investigador	Indica que una iteración ha concluido
CU-021 - Añadir características	Laboratorista	Consiste en diligenciar los campos que requiere una característica asociada a un equipo para almacenarlos en la base de datos
CU-022 - Asignar investigadores a un proyecto	Investigador Principal	Asignar el rol de Investigador a los usuarios seleccionados dentro de un proyecto en específico
CU-023 - Generar reporte de proyectos	Investigador Principal	Realizar un reporte de todos los proyectos a los que pertenezca el actor
CU-024 - Generar reporte de todos los proyectos	Administrador	Realizar un reporte de todos los proyectos realizados dentro del sistema
CU-025 - Generar reporte por experimento	Investigador	Realizar un reporte de todos los experimentos realizados dentro de un proyecto
CU-026 - Generar reporte por proyecto	Investigador Principal	Realizar un reporte de un proyecto en determinado

CU-027 - Configurar iteración	Investigador	Implica determinar las variables, los parámetros, equipos que se usarán dentro de la iteración asociada a un experimento
CU-028 - Modificar laboratorio	Laboratorista	Permite hacerle cambios a la configuración de un laboratorio
CU-029 - Modificación equipo	Laboratorista	Permite hacerle cambios a la configuración de un equipo
CU-030 - Modificar característica	Laboratorista	Permite hacerle cambios a la configuración de una característica
CU-031 - Añadir parámetro	Investigador	Consiste en diligenciar los campos que requiere un parámetro asociado a una variable para almacenarlos en la base de datos
CU-032 - Modificar parámetro	Investigador	Permite hacerle cambios al parámetro de una equipo
CU-033 - Añadir tipo fin a una iteración	Investigador	Consiste en diligenciar los campos necesarios para determinar de qué manera se sabrá que la iteración a finalizado su ejecución
CU-034 - Definir fin a una iteración	Investigador	Asignarles valores a la definición del fin por medio de los valores del tipo fin al que hacen parte
CU-035 - Auditoría	Administrador	Realizar una revisión detallada de todos los movimientos realizados dentro del sistema

Tabla 34: Documentación Casos de Uso extensión sistema AD

Como parte de la documentación también se elaboró el diagrama de dependencias de los Casos de uso (ver Figura 41)

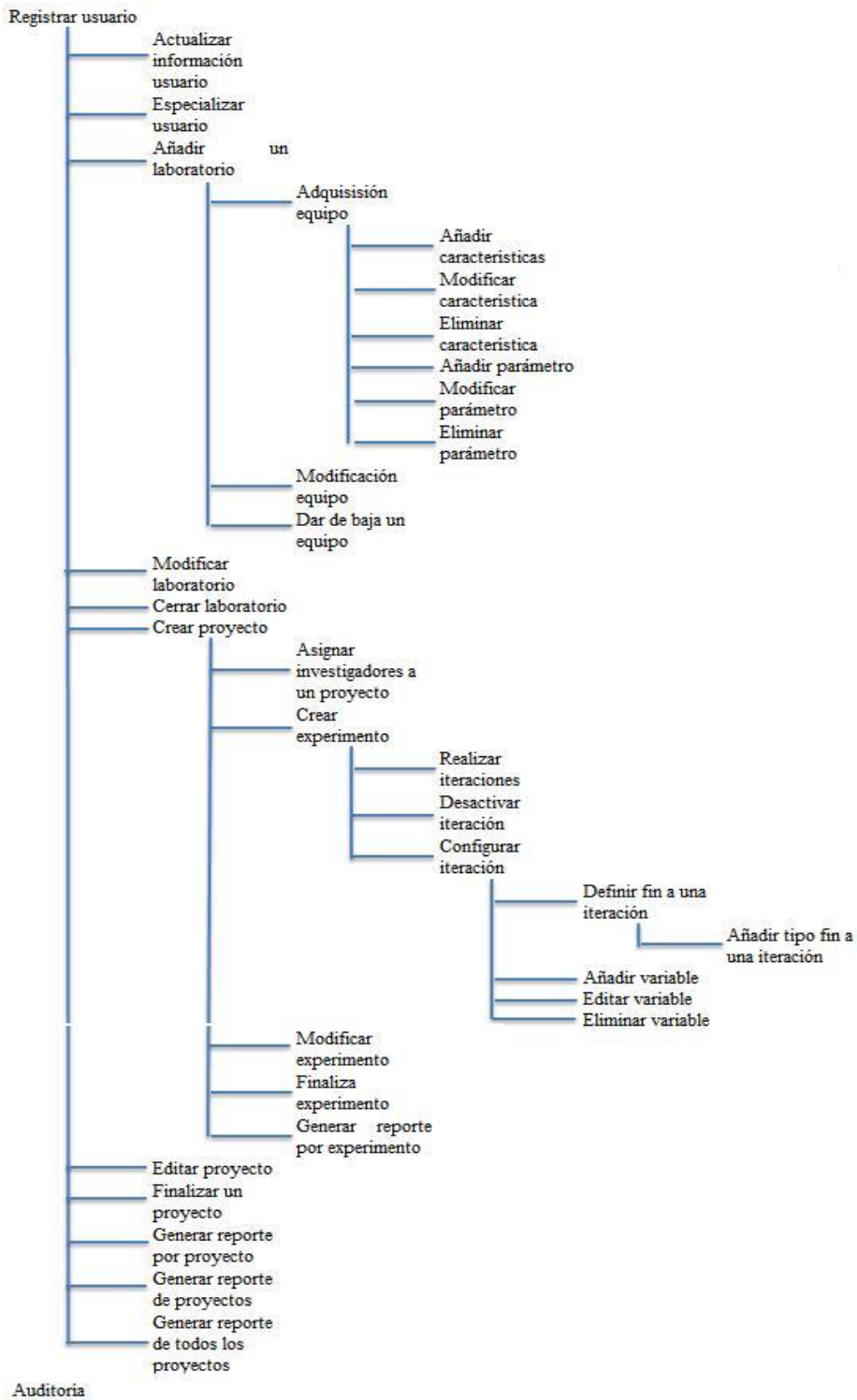


Figura 41: Dependencias Casos de Uso extensión sistema AD

6.3.3 Documentación Diagrama Entidad-Relación extensión sistema AD

Para la extensión del sistema AD, el diagrama Entidad-Relación sufre un cambio ya que incluye más entidades y relaciones que antes no existían. En la Figura 38 se puede ver el diagrama, seguido por su respectiva documentación.

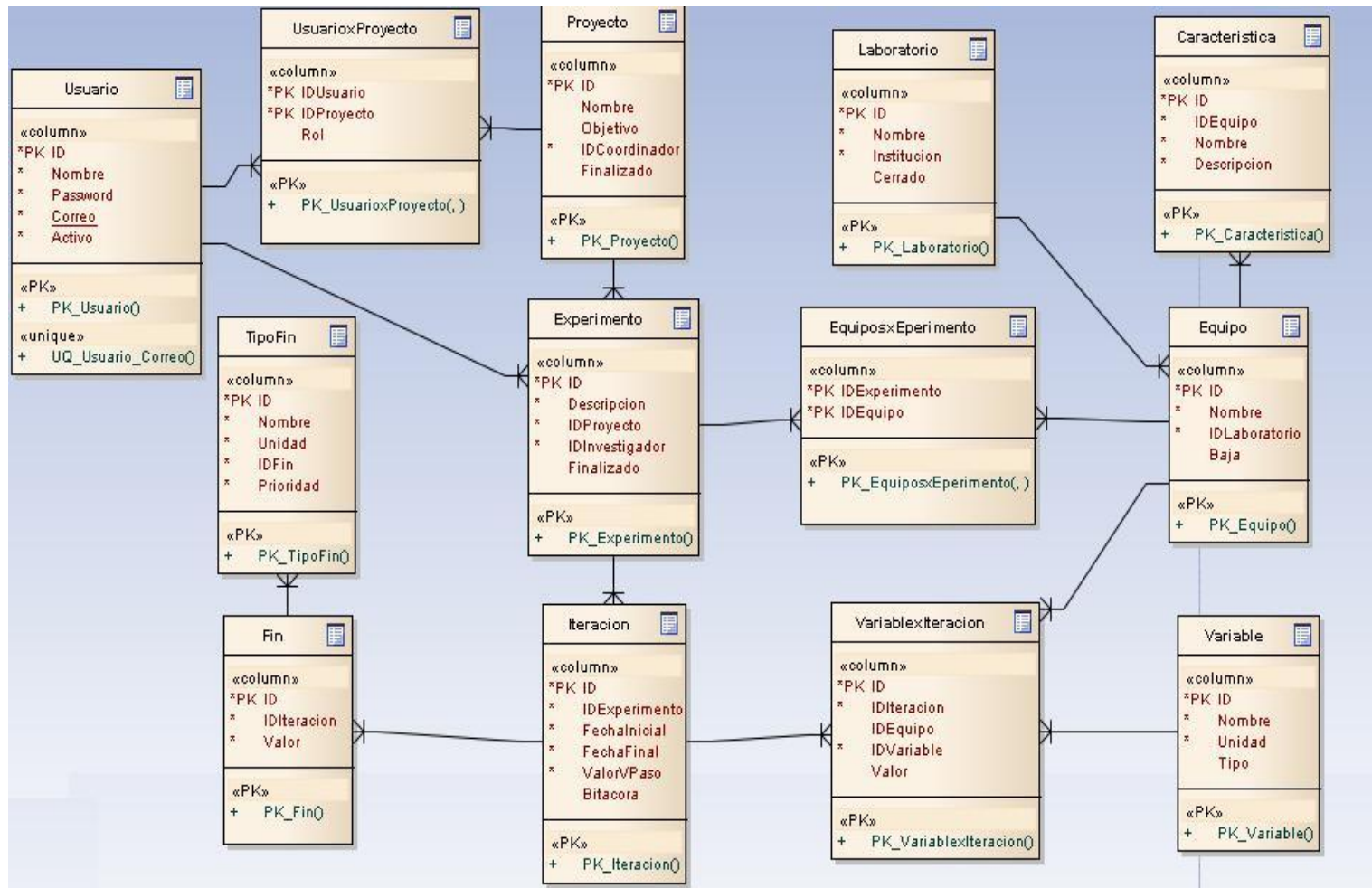


Figura 42: Diagrama Entidad-Relación extensión sistema AD

Elemento del dominio	Usuario	
Descripción	Persona inscrita al sistema	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
Nombre	Nombre del investigador	Varchar (100)
Correo	Dirección de correo electrónico	Varchar (100)
Activo	Estado que mantiene el usuario en el sistema. True si está activo, False si está desactivado	Boolean
Password	Contraseña que utilizará para ingresar al sistema	Varchar (15)

Tabla 35: Documentación entidad Usuario

Elemento del dominio	Usuarioxproyecto	
Descripción	Maneja las relaciones de las personas asociadas a proyectos	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
IDUsuario	Identificador del usuario	Int
IDProyecto	Identificador del proyecto	Int
Rol	Nombre del rol que desempeña el usuario en el proyecto	Varchar (100)

Tabla 36: Documentación entidad UsuarioxProyecto

Elemento del dominio	Proyecto	
Descripción	Conjunto de experimentos que buscan un mismo objetivo	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
IDCoordinador	Identificador del coordinador del proyecto	Int
Nombre	Nombre del proyecto	Varchar (255)
Finalizado	True si el proyecto ha concluido, de lo contrario False	Boolean
Objetivo	Descripción del objetivo del proyecto	Varchar (255)

Tabla 37: Documentación entidad Proyecto

Elemento del dominio	Experimento	
Descripción	Organización y ejecución de iteraciones destinadas a descubrir, comprobar o demostrar determinados fenómenos o principios científicos.	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
IDProyecto	Identificador del proyecto al cual está asociado	Int
IDInvestigador	Identificador del investigador del experimento	Int
Finalizado	True si el experimento ha concluido, de lo contrario False	Boolean
Descripcion	Describe el objetivo o la razón de ser del experimento dentro del proyecto de investigación	Varchar (255)

Tabla 38: Documentación entidad Experimento

Elemento del dominio	Laboratorio	
Descripción	Espacio físico en donde se encuentran los equipos para realizar los diferentes experimentos	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
Nombre	Nombre del laboratorio	Varchar (255)
Cerrado	True si el laboratorio ha cerrado, False de lo contrario	Boolean
Institucion	Institución a la cual pertenece el laboratorio	Varchar (255)

Tabla 39: Documentación entidad Laboratorio

Elemento del dominio	Equipo	
Descripción	Equipo de laboratorio físico que permite realizar los experimentos	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
IDLaboratorio	Identificador del laboratorio al cual pertenece	Int
Baja	True si el equipo fue dado de baja, False de lo contrario	Boolean
Nombre	Nombre del equipo	Varchar (255)

Tabla 40: Documentación entidad EquiposxExperimento

Elemento del dominio	Equipo	
Descripción	Equipo de laboratorio físico que permite realizar los experimentos	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
IDLaboratorio	Identificador del laboratorio al cual pertenece	Int
Nombre	Nombre del equipo	Varchar (255)

Tabla 41: Documentación entidad Equipo

Elemento del dominio	Característica	
Descripción	Características de los equipos físicos utilizados en el laboratorio	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
IEquipo	Identificador del equipo al cual pertenece	Int
Nombre	Nombre de la característica	Varchar (255)
Descripción	Descripción de la característica	Varchar (255)

Tabla 42: Documentación entidad Característica

Elemento del dominio	Iteración	
Descripción	Conjunto de acciones que según el equipo, los parámetros y las variables a utilizar busca alcanzar el objetivo del experimento	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
IDExperimento	Identificador del experimento al cual pertenece	Int
Bitacora	Descripción de la iteración	Varchar (255)
FechaIni	Fecha y hora del inicio de la iteración	Date
FechaFin	Fecha y hora del fin de la iteración	Date
UnidadVPaso	Indicador de un ciclo de ejecución	Double

Tabla 43: Documentación entidad Iteración

Elemento del dominio	VariablexIteracion	
Descripción	Variables que se manejan en cada iteración	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Identificador del experimento	Int
IDIteracion	Identificador de la iteración	Int
IDEquipo	Identificador del equipo	Int
IDVariable	Identificador de la variable	Int
Valor	Valor adoptado por la variable	Double

Tabla 44: Documentación entidad VariablexIteracion

Elemento del dominio	Variable	
Descripción	Magnitud que adquiere un valor durante la ejecución de la iteración o se define como constante para la iteración	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
Nombre	Nombre de la variable	Varchar (100)
Tipo	Verdadero: es variable. Falso: es una constante	Boolean
Unidad	Unidad en la cual se encuentra especificada la variable	Varchar (10)

Tabla 45: Documentación entidad Variable

Elemento del dominio	Fin	
Descripción	Formas de finalizar la ejecución de una iteración	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
IDIteracion	Identificador de la iteración al cual pertenece	Int
Valor	Magnitud que determina en qué momento se finaliza la ejecución	Double

Tabla 46: Documentación entidad Fin

Elemento del dominio	Tipo fin	
Descripción	Modo de finalización de una iteración	
Atributos		
Nombre	Descripción	Tipo de dato
ID	Llave primaria, incremental	Int
IDFin	Identificador del fin al cual pertenece	Int
Prioridad	Orden de importancia	Int
Nombre	Nombre del tipo fin	Varchar (100)
Unidad	Unidad en la cual se encuentra especificado el fin	Varchar (10)

Tabla 47: Documentación entidad TipoFin