

**Laboratorio De Estudio De Un Sistema De Ecuaciones Diferenciales Ordinarias Por Medio
De Un Computador Analógico**

Juan Pablo Gualdrón Ramírez

Miguel Ángel Martínez Santos

**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas
Escuela de Ingeniería Mecánica
Ingeniería Mecánica**

Bucaramanga, Colombia

2023

**Laboratorio De Estudio De Un Sistema De Ecuaciones Diferenciales Ordinarias Por Medio
De Un Computador Analógico**

Juan Pablo Gualdrón Ramírez

Miguel Ángel Martínez Santos

Trabajo de Grado para Optar al Título de Ingeniero Mecánico

Director:

Jabid Eduardo Quiroga Méndez

Doctor en Ingeniería Civil

**Universidad Industrial de Santander
Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas
Escuela de Ingeniería Mecánica
Ingeniería Mecánica**

Bucaramanga, Colombia

2023

Dedicatoria

Quiero dedicarle este logro especialmente a mi familia; ser capaz de cumplir las expectativas de los seres que han estado en todo momento para mí, me llena de felicidad y tranquilidad. Abrazo con gusto todo lo que ellos me han enseñado, porque todos han intentado dar lo mejor de ellos para que sea mejor persona día tras día.

Quiero ser el espejo de la responsabilidad de mi mamá, el cariño de mis nonas, la creatividad de mi hermano, la paciencia de mi papá, la inteligencia de mis primos y la espiritualidad de mis tíos y tías. Como profesional deseo que el carácter que ellos me ayudaron a forjar brille más que nunca y me permita forjar el futuro que yo deseo.

Miguel Ángel Martínez Santos

Deseo dedicar este logro significativo de mi vida a mis padres y familiares de manera especial. A lo largo de mi trayectoria, han sido un constante pilar de apoyo, formación y estímulo. Son individuos que siempre han dado lo mejor de sí mismos para que pudiera convertirme en un profesional excepcional. Aspiro a estar a la altura de todas sus expectativas.

Es fundamental que recuerden que mi éxito no hubiera sido posible sin el respaldo inquebrantable de cada uno de ustedes. Este logro no es simplemente personal, sino un triunfo colectivo que hemos alcanzado gracias a la presencia de estas maravillosas personas en mi vida.

Juan Pablo Gualdrón Ramírez

Agradecimientos

Quiero agradecer a mi director y mi compañero de tesis pues sin ellos no habría llegado tan lejos. También deseo mencionar que la participación de algunos docentes y estudiantes tanto del plantel de mecánica o externo fueron de gran ayuda para construir este proyecto. Por último, pero no menos importante quiero reconocer que el apoyo de muchos amigos fue valioso a lo largo de la carrera; toda ayuda que les haya prestado a ellos, por mínima que fuera, me fue devuelta en distintos momentos y con creces. Guardo con nostalgia los recuerdos de aquellos días distantes en los que asignaturas como resistencia o sistemas térmicos fueron retos considerables, y que, de no contar con amigos brillantes, posiblemente me habrían hecho frenar el paso. Gracias a todos los evitaron que tropezara.

Miguel Ángel Martínez Santos

Me gustaría agradecer a todos los docentes y estudiantes que participaron en el desarrollo y retroalimentación de este proyecto, especialmente a mi director de proyecto y compañero de tesis que brindaron todo su esfuerzo y paciencia para poder sacar este proyecto adelante a pesar de sus inconvenientes y a mi familia que me apoyaron financieramente para patrocinar todo el material necesario. También me gustaría agradecer a mis padres y amigos que me brindaron apoyo tanto emocional y académico a lo largo de toda mi trayectoria en la escuela de ingeniería mecánica y me permitieron llegar hasta este momento.

Juan Pablo Gualdrón Ramírez

Resumen

Título: Laboratorio De Estudio De Un Sistema De Ecuaciones Diferenciales Ordinarias Por Medio De Un Computador Analógico *

Autor: Juan Pablo Gualdron Raamirez – Miguel Angel Martinez Santos**

Palabras clave: Computación, análoga, sistemas dinámicos, ecuaciones diferencias, laboratorio

Descripción:

En el proceso de desarrollo del proyecto, se inició con la selección de un computador analógico y un osciloscopio. Utilizando una matriz de Pugh, evaluamos las especificaciones disponibles en función de nuestros requisitos, y las dos mejores opciones resultaron ser el computador analógico de la empresa "ANABRID" y el osciloscopio "OWON VDS1022I". Posteriormente, procedimos a identificar ejercicios que sacaran el máximo provecho del computador analógico y que estuvieran relacionados con los cursos de sistemas dinámicos e ingeniería mecánica. Realizamos un breve análisis sobre la relevancia de estas herramientas en el contexto de los cursos mencionados. Luego, llevamos a cabo una encuesta entre profesores y estudiantes de pregrado y posgrado para obtener retroalimentación, identificar áreas de mejora y evaluar la aceptación de esta tecnología en la comunidad académica, especialmente entre aquellos familiarizados con el tema en la escuela de ingeniería mecánica. Como parte del proyecto, creamos guías de laboratorio, manuales de uso rápido y videos informativos. Los comentarios recibidos durante este proceso fueron cruciales para realizar ajustes y mejoras significativas en la documentación y los recursos disponibles.

* Trabajo de grado

** Facultad de Físico Mecánicas, escuela de Ingeniería Mecánica, director Jabid Eduardo Quiroga Méndez

Abstract

Title: Laboratory for the Study of a System of Ordinary Differential Equations Using an Analog Computer*

Authors: Juan Pablo Gualdron Ramírez – Miguel Ángel Martínez Santos**

Keywords: Computing, analog, dynamic systems, differential equations, laboratory.

Description:

In the course of project development, we began by selecting an analog computer and an oscilloscope. Using a Pugh matrix, we assessed the specifications available based on our requirements, and the two best options turned out to be the analog computer from "ANABRID" and the "OWON VDS1022I" oscilloscope. Subsequently, we proceeded to identify exercises that would make the most of the analog computer and were related to courses in dynamic systems and mechanical engineering. We conducted a brief analysis of the relevance of these tools in the context of the mentioned courses. Then, we carried out a survey among undergraduate, postgraduate professors and students to gather feedback, identify areas for improvement, and evaluate the acceptance of this technology within the academic community, especially among those familiar with the subject in the school of mechanical engineering. As part of the project, we created laboratory guides, quick-use manuals, and informative videos. The feedback received during this process was instrumental in making significant adjustments and improvements to the documentation and available resources.

* Bachelor thesis

** Facultad de Físico Mecánicas, escuela de Ingeniería Mecánica, director Jabid Eduardo Quiroga Méndez

Tabla de contenidos

Introducción	14
1. Objetivos	16
1.1 Objetivo General.....	16
1.2 Objetivos Específicos.....	16
2. Marco Teórico.....	17
2.1 Inicios de la Computación	18
2.1.1 Enfoque Análogo	18
3. Selección del Banco.....	39
3.1 Componentes.....	40
3.1.1 Computador Analógico.....	40
3.1.2 Osciloscopio.....	43
3.1.3 Montaje	46
4. Selección de problemas.....	47
4.1 Practicas de laboratorio analítico:.....	48
4.2 Practicas de laboratorio interactivo:.....	52
5. Desarrollo de las practicas	53
5.1 Diagrama SIMULINK	55
5.2 Diagrama analógico	55
5.3 Circuito analógico.....	57
5.4 Grafica osciloscopio.....	59
6. Aporte del laboratorio al curso de sistemas dinámicos.....	59
7. Sondeo de docentes y estudiantes	62

7.1 Encuesta estudiantes	62
7.2 Encuesta docentes	67
8. Conclusiones	71
9. Trabajo futuro	73
Referencias Bibliográficas	75

Lista de Figuras

Figura 1 - Dispositivo Análogo Fermiac	19
Figura 2. Gigante Digital ENIAC	20
Figura 3 - Primer transistor creado en 1947.....	21
Figura 4 - Grafica de Tamaño y Densidad de los Transistores a través del Tiempo	22
Figura 5 - Dispositivos tendencia de cada década	24
Figura 6 - Aumento en la cantidad de transistores y frecuencia operativa	25
Figura 7 - Ejemplo de Diagrama de Bloques en Simulink	28
Figura 8 - Esquema básico Opamp	29
Figura 9 - Limites de Voltaje y Señales Saturadas	30
Figura 10 - Opamp No Inversor.....	31
Figura 11 - Voltaje de Salida Opamp No Inversor	31
Figura 12 – Opamp Inversor	31
Figura 13 – Voltaje de Salida Opamp Inversor	32
Figura 14 - Opamp Sumador.....	32
Figura 15 - Voltaje de salida Opamp Sumador.....	33
Figura 16 - Opamp Multiplicador	33
Figura 17 – Voltaje de salida Opamp Multiplicador	34
Figura 18 - Opamp Integrador	34
Figura 19 - Opamp Derivador.....	34
Figura 20 - Voltaje de Salida Opamp Integrador.....	35
Figura 21 - Voltaje de Salida Opamp Derivador	35
Figura 22 - Propuesta de Procesador Análogo Desarrollado por Mythic AI.....	36

Figura 23 - Especificaciones Generales Owon Series VDS	46
Figura 24 - Esquema Final Montaje Laboratorio.....	47
Figura 25 – Diagrama simulink	55
Figura 26 – Módulos analógicos.....	56
Figura 27 - Diagrama analógico	57
Figura 29 – Grafica osciloscopio OWON.....	59
Figura 30 - Resultados Encuesta Estudiantes	63
Figura 31 – Resultados Pregunta 1 Encuesta Docentes	68
Figura 32 - Resultados Pregunta 2 Encuesta Docentes.....	69
Figura 33 - Resultados Pregunta 3 Encuesta Docentes.....	69
Figura 34 - Resultados Pregunta 4 Encuesta Docentes.....	70
Figura 35 - Resultados Pregunta 5 Encuesta Docentes.....	71

Lista de Apéndices

Ver apéndices adjuntos y pueden ser consultados en la base de datos de la Biblioteca UIS

Apéndice A. GUIA DE USO RÁPIDO PARA COMPUTADOR ANÁLOGO PARA EL CURSO DESISTEMAS DINAMICOS

Apéndice B. GUIA DE USO RÁPIDO PARA OSCILOSCOPIO DE PC PARA EL CURSO DESISTEMAS DINAMICOS

Apéndice C. LABORATORIO DE COMPUTACION ANALOGICA DEL DECRETAMIENTO RADIOACTIVO

Apéndice D. LABORATORIO DE COMPUTACION ANALOGICA DE UN SISTEMA MASA RESORTE Y AMORTIGUADOR

Apéndice E. LABORATORIO DE COMPUTACION ANALOGICA DEL ANALISIS DE CAZADORES Y PRESAS

Apéndice F. LABORATORIO DE COMPUTACION ANALOGICA DE UNA PELOTA REBOTANDO

Apéndice G. LABORATORIO DE COMPUTACION ANALOGICA DEL ATRACTOR DE LORENZ

Apéndice H. LABORATORIO DE COMPUTACION ANALOGICA DE LA ESPIRAL DE EULER

Apéndice I. LABORATORIO DE COMPUTACION ANALOGICA DE UN ATERRISAJE LUNAR

Apéndice J. LABORATORIO DE COMPUTACION ANALOGICA DE UN SISTEMA
TANQUE CON CAUDAL DE ENTRADA Y RESISTENCIA A LA SALIDA

Apéndice K. LABORATORIO DE COMPUTACION ANALOGICA DE UN SISTEMA
MASA RESORTE CON FUNCIÓN DE EXITACIÓN Y CANCELACIÓN DE
VIBRACIONES

Apéndice L. GUIA DE LABORATORIO – SOLUCIONARIO

Lista de Tablas

Tabla 1 - Criterio de Valoración Matriz de Pugh	40
Tabla 2 - Matriz de Pugh Computador Análogo.....	42
Tabla 3 - Matriz de Pugh Osciloscopio.....	45
Tabla 4 - Matriz de Pugh Ejercicios Parte 1	49
Tabla 5 - Matriz de Pugh Ejercicios Parte 2	50

Introducción

La computación moderna, como pilar fundamental de la sociedad contemporánea, ha permitido el manejo eficiente de vastos volúmenes de información y ha mejorado notablemente la calidad de vida de millones de individuos alrededor del mundo. A medida que la sociedad avanza, la evolución y desarrollo de procesadores más potentes es esencial para mantener el progreso tecnológico en diversas aplicaciones. Sin embargo, este avance se encuentra actualmente en una encrucijada debido a los límites intrínsecos de la computación digital.

Remontándonos a los inicios de la computación moderna en la mitad del siglo XX, se consideraron dos enfoques principales para el procesamiento de datos: el enfoque analógico y el digital. A finales del mismo siglo, surgió una tercera alternativa: la computación cuántica. A pesar de estas posibilidades, la tecnología de procesamiento digital emergió como la predominante y, en gran medida, estableció la infraestructura tecnológica basada en hardware digital presente hasta el día de hoy.

El continuo predominio de la tecnología de procesamiento digital se ha debido, en gran medida, al fenómeno conocido como la "Ley de Moore", que ha previsto el aumento constante en la capacidad de procesamiento a través de la reducción del tamaño de los transistores cada dos años. Sin embargo, este enfoque se encuentra próximo a enfrentar límites físicos vinculados al tamaño de los transistores, lo que plantea desafíos significativos para la escalabilidad de los procesadores digitales.

En este contexto, surge una perspectiva intrigante: la exploración de enfoques de procesamiento híbridos que fusionen diferentes paradigmas de procesamiento para abrir nuevos horizontes tecnológicos. Un área particularmente atractiva es la computación análoga, que, si bien fue

rápidamente eclipsada, presenta un potencial inherente para abordar desafíos actuales. La idea de integrar tecnologías como la computación cuántica y el procesamiento análogo ofrece un panorama prometedor para superar los límites impuestos por el enfoque puramente digital.

Dada la etapa temprana de la computación cuántica y la creciente necesidad de soluciones que enfrenten los desafíos de escalabilidad, es imperativo examinar de cerca las razones detrás del declive del procesamiento análogo y determinar cómo puede ser rescatado y fusionado de manera sinérgica con tecnologías emergentes. Esta búsqueda no solo es relevante desde una perspectiva tecnológica, sino que también tiene implicaciones profundas para el campo de la ingeniería y su influencia en la vida profesional de los ingenieros, enriquecerá sus capacidades para abordar problemas complejos y multidisciplinarios.

Esta realidad podría ser tomada como una oportunidad para anexar el tema de la computación análoga e implementarlo de una forma atractiva para incentivar el desarrollo en el campo, y entender a profundidad las implicaciones que tiene en el modelamiento de sistemas reales. Con lo anterior establecido es pertinente indagar cuáles son las materias que se verían más beneficiadas de un equipo con esta arquitectura y que uso se le podría dar.

En el programa de estudios ingeniería mecánica hay un curso que estudia y comprende el comportamiento de los sistemas dependientes del tiempo: sistemas dinámicos y control. Un dispositivo capaz de emitir una simulación de múltiples sistemas y enseñar otro tipo de enfoque de tratamiento de datos representa una experiencia atrayente que puede ser implementada en un laboratorio.

1. Objetivos

1.1 Objetivo General

Implementar un laboratorio para resolver ecuaciones diferenciales ordinarias lineales por medio del uso de un computador analógico para el curso de sistemas dinámicos.

1.2 Objetivos Específicos

Evaluar las distintas alternativas contempladas para la disposición del hardware necesario para el desarrollo del laboratorio, comparando las opciones presentes para el computador análogo, así como el elemento que permita visualizar los resultados. Contemplando además la posibilidad de escoger un producto del mercado, diseñar el hardware propio o construir una opción mixta.

Determinar los problemas que van a ser estudiados en el computador analógico teniendo en cuenta el valor que aportan al laboratorio, así como el tipo de complejidad que posean. Dentro de las temáticas consideradas están problemas de mecánica, térmicos e hidráulica perteneciendo a uno o varios de los siguientes tipos de ecuaciones diferenciales: de primer, segundo o tercer orden, con condiciones iniciales, con función de excitación y no lineales.

Desarrollar las practicas del laboratorio de sistemas dinámicos para cada uno de los problemas propuestos con los siguientes ítems: título de la práctica, introducción, objetivos, modelo, método, instrumento, procedimiento y resultados.

Evaluar la contribución en el entendimiento de la computación analógica utilizando el hardware como material didáctico para construir circuitos eléctricos cuyo funcionamiento sea análogo al problema dinámico estudiado.

Evaluar el impacto e interés presente en los estudiantes con respecto a la implementación de dicho laboratorio en el curso de sistemas dinámicos, así como la opinión de los profesores mediante la realización de entrevistas y encuestas acerca de la experiencia y los conocimientos adquiridos.

2. Marco Teórico

La ingeniería tiene como enfoque usar todos los conocimientos presentes en las diversas ramas de la ciencia y concentrar el recurso humano en el diseño, invención, perfeccionamiento y optimización de múltiples dispositivos y procesos. A lo largo de los años su evolución se ha visto fuertemente vinculada a los procesos de tratamiento de datos y simulación de modelos que permiten el hardware vigente. La infraestructura digital permitió el desarrollo de herramientas de soporte con la capacidad de ejecutar operaciones matemáticas complejas.

Las herramientas se han fortalecido cada vez más, desde la implementación de modelos como el runge-kutta en ordenadores de escritorio, pasando por lenguajes de programación tipo Fortran y similares, en el presente existen multitudes de software que permiten realizar cálculos complejos y modelamientos altamente precisos. Algunos exponentes son Maple, Mathematica y Matlab. Es evidente que las premisas de estos programas son similares, por ejemplo, el Tutorial de Matlab (s.f.) resalta que su aplicación “cuenta con gran variedad de usos, los más importantes son: Simular, Modelar, crear prototipos, analizar datos y encontrar soluciones”.

La importancia de estas herramientas radica en su capacidad para liberar a los profesionales de la carga de realizar tediosos cálculos matemáticos a mano. Esto permite a los ingenieros centrarse en buscar nuevas tecnologías, mejorar las existentes y aprovechar al máximo sus capacidades cognitivas.

2.1 Inicios de la Computación

Pero no siempre fue así, a mitad del siglo pasado al hablar de gigantes computacionales la respuesta no era obvia. Como indica Small (2001) “la palabra computador no se presentaba reservada meramente para el enfoque digital; la interrogante portaba consigo una discusión interesante.”

Por aquella época, en distintas disciplinas existía una demanda por ayudas para solucionar problemas con ecuaciones complejas. Esto se reflejaba en que las incógnitas quedaban inconclusas o tenían aproximaciones engañosas. En consecuencia, la alta velocidad y carácter matemático de los computadores análogos se percibieron adecuados para aquellas circunstancias.

2.1.1 Enfoque Análogo

A comienzos de los años 40's había tan solo un puñado de fabricantes de computadores análogos. Por otro lado, en la década siguiente las potencias mundiales contaban con equipos altamente calificados que invertían sus esfuerzos en industrias como la militar (en el diseño de artillería aeroespacial) o en la misma carrera espacial. La decisión entre digital y análogo era muy importante, las comunidades de cada bando eran muy dedicadas y competían codo a codo. Sin embargo, el argumento falaz de que la tecnología análoga era obsoleta empezó a propagarse; así como lo relata MacLennan (2007) se afirmaba que “las computadoras analógicas electrónicas fueron un predecesor primitivo de la computadora digital, su uso fue sólo un episodio histórico”. Dicho discurso se fortaleció a con el paso del tiempo pues no hay que olvidar que el medio en el que maduran estas tecnologías es una industria, por lo que estos juicios peyorativos fueron de interés en distintos fenómenos políticos y económicos. Los historiadores responsables de recolectar las pruebas de los avances informáticos se han esforzado en sepultar los avances en el campo análogo, de hecho, es un reto conseguir información de proyectos basados en arquitectura

análoga post segunda guerra mundial. Tal como los expresa un adagio popular: “los ganadores son los que cuentan las historias”

Figura 1 - Dispositivo Análogo Fermiac



El FERMIAC fue un dispositivo de medición desarrollado durante el Proyecto Manhattan, que condujo al desarrollo de la primera bomba nuclear. Enrico Fermi diseñó este instrumento con el objetivo de estimar la cantidad de neutrones liberados en una reacción nuclear.

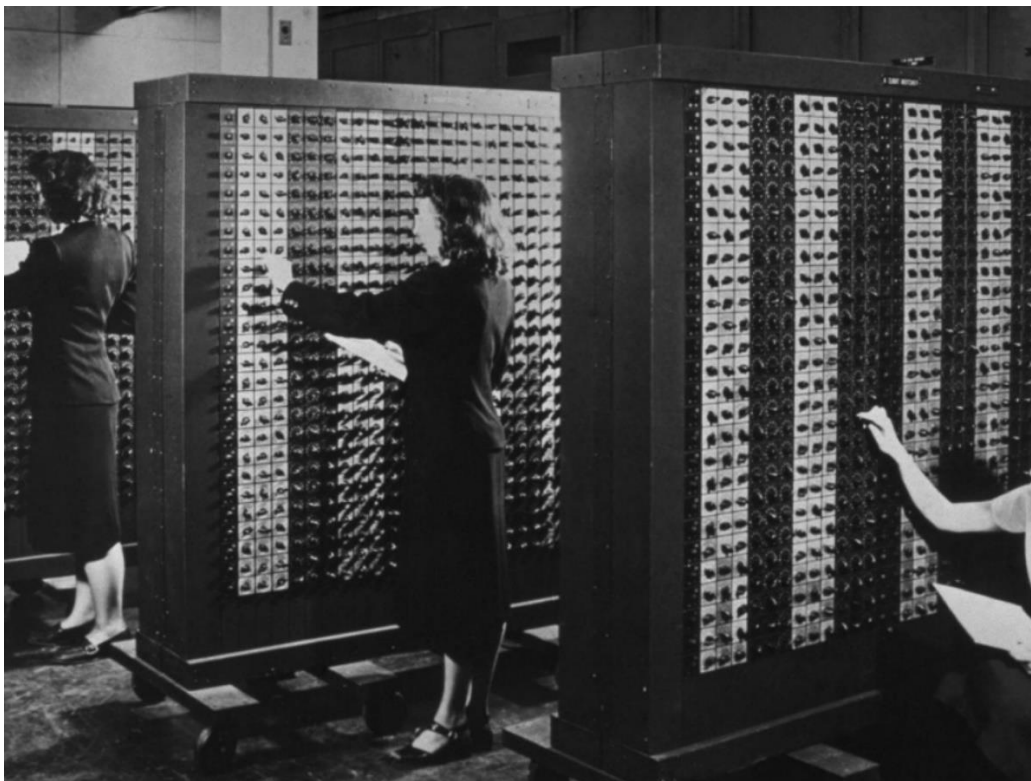
Fuente: <https://www.semanticscholar.org/paper/The-Fermiac-or-Fermi%27s-Trolley-Cocchetti/40f6c8fdd607d286e1a21c7d50c754a44b5917d1>

2.1.2 Enfoque Digital

En la otra cara de la moneda la computación digital en sus inicios tenía características inciertas, el camino hacia equipos más sofisticados no tenía un rumbo fijo. El termino digital con las características que lo conocemos hoy en día comenzó su uso con la primera computadora con logia booleana: la ENIAC era un proyecto especial diseñado entre la armada de los Estados Unidos y un equipo de la Universidad de Pensilvania. Aquel colosal ordenar fue un hito en cuanto a las capacidades que poseía. Los cálculos balísticos que en años previos tomaban dos años en

realizarse, en el ENIAC tomaban solo un par de horas. Algunas empresas empezaron tenían un dominio avanzado de nuevas tecnologías y eran altamente competentes cuando se mudaron al negocio de la computación, pero el mercado no existía, no se había generado una demanda sobre la cual generar ganancias. Para empresas como IBM esta incursión trataba de emprendimiento e incertidumbre, dos factores claves que llevan a la innovación.

Figura 2. Gigante Digital ENIAC



Fuente: <https://elpais.com/tecnologia/2021-02-13/eniac-cumple-75-anos-la-historia-de-exito-tecnologico-y-de-machismo-del-primer-ordenador.html>

Si algún avance tiene que ser nombrado como un hito científico es el transistor. El dispositivo desarrollado en 1956 por John Bardeen, Walter Brattain, y William Shockley llegó para reemplazar la base de los viejos ordenadores: el tubo de vacío. El descubrimiento ganador del premio nobel en física poseía un mejor desempeño y confiabilidad, dimensionalmente era mas pequeño y

disminuía el consumo de energía. La rueda había sido reinventada para la computación digital. La comercialización del transistor dio nacimiento a la industria de los semiconductores, y favoreció el crecimiento de las industrias pioneras como Fairchild, Motorola, Texas Instruments, y RCA. Posteriormente las mejoras condujeron al desarrollo de nuevas tecnologías clave como la memoria de acceso aleatorio (RAM) y el microprocesador.

Figura 3 - Primer transistor creado en 1947



Fuente: <https://www.muycomputer.com/2012/12/17/transistor-cumple-65-anos/>

Fue en ese entonces cuando se inició un ciclo de retroalimentación de la industria en donde las tecnologías copiadas eran mejoradas, y el aumento de poder de procesamiento generaba componentes más potentes. El mercado se desarrollaba ofreciendo servicios que los grandes corporativos consideraban necesarios para los usuarios, y mantenían el hardware y software reservado para uso corporativo. La capacidad de producir ordenadores portátiles estaba latente en el mercado, pero sorprendentemente paso desapercibida. En paralelo y al margen del rubro existían comunidades con personas (mayormente jóvenes o adolescentes) que tenían un ansia por desarrollar y experimentar con los ordenadores.

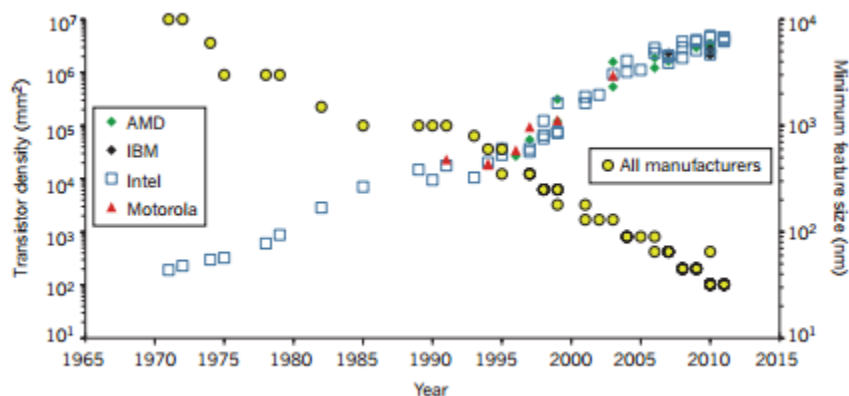
El surgimiento de la microcomputadora y el entusiasmo de la comunidad de hackers allanaron el camino para la computación personal. A pesar de las limitaciones impuestas por las grandes

empresas, surgió un mercado para la computación personal impulsado por individuos creativos y apasionados. La computación personal se convirtió en un espacio para la innovación y la experimentación, lo que cambió la forma en que las personas interactúan con la tecnología.

2.1.2.1 Ley de Moore. El incremento en el volumen de datos con los que se desea trabajar forzó la maquina hasta llevarnos a la edad contemporánea, pero ¿qué significa exactamente? La industria de los semiconductores es consciente de que están alcanzando el limite del tamaño de los transistores; la ley de Moore amenaza con terminar.

La ley de Moore establece que aproximadamente cada dos años los transistores reducirán su tamaño a la mitad, o lo que es lo mismo, que los procesadores contarán con el doble de transistores, duplicando también su poder de procesamiento. Desde la década de los 70's se ha seguido estas tendencias, de hecho, los desarrolladores de software han sabido extraer la mayor parte de las capacidades de los chips más modernos, y los fabricantes se han gestionado para seguir el ritmo. “Esto ha creado también unas expectativas en el consumidor de tener equipos cada vez mejores. Este modus operandi de la industria recibe el nombre de más de Moore” (Waldrop, 2016)

Figura 4 - Grafica de Tamaño y Densidad de los Transistores a través del Tiempo



Fuente: [https://www.researchgate.net/figure/The-evolution-of-transistor-gate-length-minimum-](https://www.researchgate.net/figure/The-evolution-of-transistor-gate-length-minimum-feature-size-and-the-density-of_fig1_282096904)

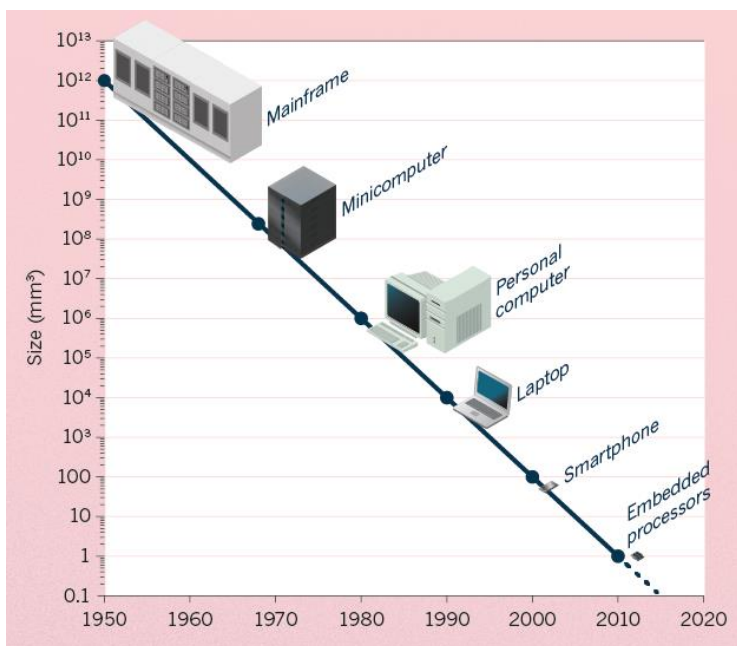
[feature-size-and-the-density-of_fig1_282096904](https://www.researchgate.net/figure/The-evolution-of-transistor-gate-length-minimum-feature-size-and-the-density-of_fig1_282096904)

La duplicación ha empezado a mostrar sus primeras fallas, el calor emitido por el empaquetamiento de tantos componentes electrónicos en un área empeora con cada salto, y la escalabilidad del problema es tal que el tamaño promedio de los transistores es del orden de 2 a 3 nanómetros, lo que indica que tenemos que ir más allá de las leyes del mundo macroscópico y empezar a considerar efectos cuánticos. Llegados a este punto es fundamental empezar a ver el problema desde otros ángulos y explorar alternativas.

Posiblemente sea adecuado pensar en que el hardware y el progreso basado en solo capacidad de procesamiento bruta necesita también otros elementos que permitan sacar mayor rendimiento, aplicativos más eficientes, computación en la nube y una nueva generación de distintos elementos electrónicos. Los líderes en el mercado tienen que seguir sus propias investigaciones y definir cuál es el siguiente paso alejándose del camino actual y definiendo un plan de desarrollo. Los límites son los que impulsan las ideas innovadoras, y existen aspectos de la computación moderna en los que aún queda margen de mejora.

Desde la década de los 50's hasta el presente se han presentado tendencias consecuencia del desarrollo de los procesadores. Las más directas tal vez es la creación de nuevos dispositivos que marcan las décadas. Como lo evidencia la siguiente imagen:

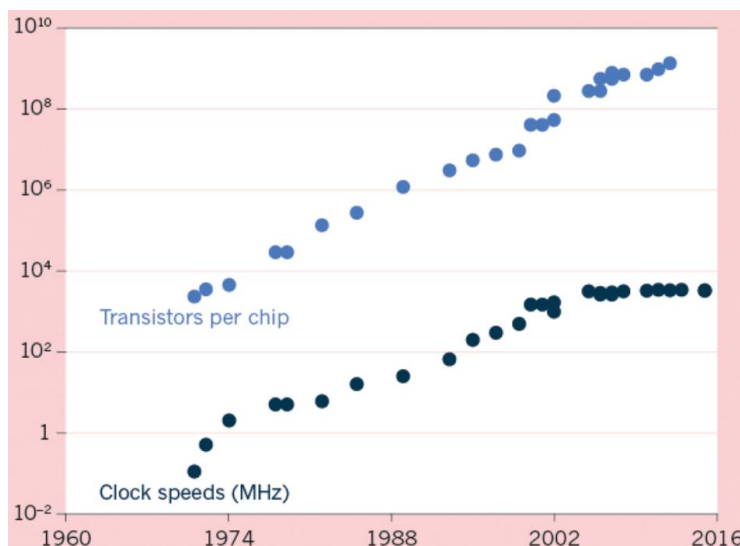
Figura 5 - Dispositivos tendencia de cada década



Fuente: <https://www.nature.com/news/the-chips-are-down-for-moore-s-law-1.19338>

Un fenómeno de gran relevancia que surgió está relacionado con el aumento de la velocidad de ejecución de las acciones, comúnmente conocida como velocidad de operación. Esta velocidad, medida en hercios, aumentó a medida que se incrementaba el número de transistores en los procesadores. Sin embargo, se hizo evidente que seguir la tendencia generaría un nivel de calor insostenible, lo que se convirtió en una limitación a partir de 2004.

Figura 6 - Aumento en la cantidad de transistores y frecuencia operativa



Fuente: <https://www.nature.com/news/the-chips-are-down-for-moore-s-law-1.19338>

La solución a este desafío se encontró en la adopción de múltiples procesadores para llevar a cabo tareas, permitiendo una suma algebraica de las capacidades individuales de cada procesador. Esto condujo a una mayor velocidad operativa. El problema inicial relacionado con el calor se transformó en el desafío de diseñar algoritmos que pudieran dividirse en partes, donde la parte más lenta determinaría el ritmo del conjunto. La optimización de algoritmos es fundamental para garantizar un rendimiento eficiente en sistemas con múltiples núcleos.

Aunque se ha avanzado en la resolución parcial del problema del calor, las investigaciones y exploraciones realizadas han insinuado la posibilidad de hallar un componente que pueda sustituir la tecnología basada en semiconductores, pero con una capacidad de generar calor significativamente menor. La búsqueda de soluciones innovadoras más allá de las limitaciones actuales ha introducido en la discusión alternativas prometedoras, como los esquemas en dos dimensiones (2D), que se asemejan al grafeno, o los materiales espintrónicos. Estas nuevas

direcciones podrían revolucionar la tecnología y abordar los desafíos térmicos asociados con los semiconductores tradicionales.

Más allá de las desafiantes limitaciones inherentes a la tecnología digital, el panorama del mercado contemporáneo plantea demandas caprichosas. La proliferación de dispositivos en la actualidad exige a las industrias la creación de diversos diseños como parte de su estrategia competitiva. Desde la aparición de los teléfonos inteligentes, los consumidores han desarrollado una profunda dependencia de estos dispositivos. Su potencia y versatilidad resultan innegablemente atractivas, sin embargo, su característica desechable se sustenta en la abrumadora oferta de nuevos diseños, una amplia gama de modelos y una constante evolución en sus especificaciones.

En el pasado, era común el diseño de un número limitado de dispositivos de alto rendimiento que se comercializaban en grandes cantidades. En el actual paradigma de consumo, en cambio, se adopta una estrategia que implica la creación de múltiples dispositivos, cada uno con una cuota de mercado reducida en términos de ventas individuales.

2.2 Sistemas Dinámicos

El curso de sistemas dinámicos tiene como objetivo comprender la naturaleza de sistemas en los que el estado varía con el tiempo, permitiendo así la formulación de modelos matemáticos para su representación. Esta disciplina se apoya en potentes simulaciones computacionales para alcanzar sus metas.

La comprensión de estos sistemas dota al estudiante de la capacidad para abordar dinámicamente problemas en áreas como hidráulica, electricidad, neumática y mecánica. Además, proporciona la habilidad de aplicar este conocimiento a sistemas no relacionados con la ingeniería.

Existen términos clave que requieren definición:

2.2.1 Sistema:

Es una combinación de componentes que interactúan para lograr un objetivo. Estos componentes no están necesariamente limitados al mundo físico, pudiendo aplicarse también a situaciones abstractas como la economía o el crecimiento poblacional. La característica dinámica surge de la dependencia de la salida del sistema con respecto a estados previos. Un sistema se considera constante cuando su salida solo depende del valor instantáneo de la entrada y esta permanece constante.

2.2.2 Modelo Matemático:

Es una representación matemática del sistema que puede prever su comportamiento. Para muchos sistemas físicos, estos modelos se expresan en forma de ecuaciones diferenciales.

2.2.3 Ecuaciones Lineales y no lineales:

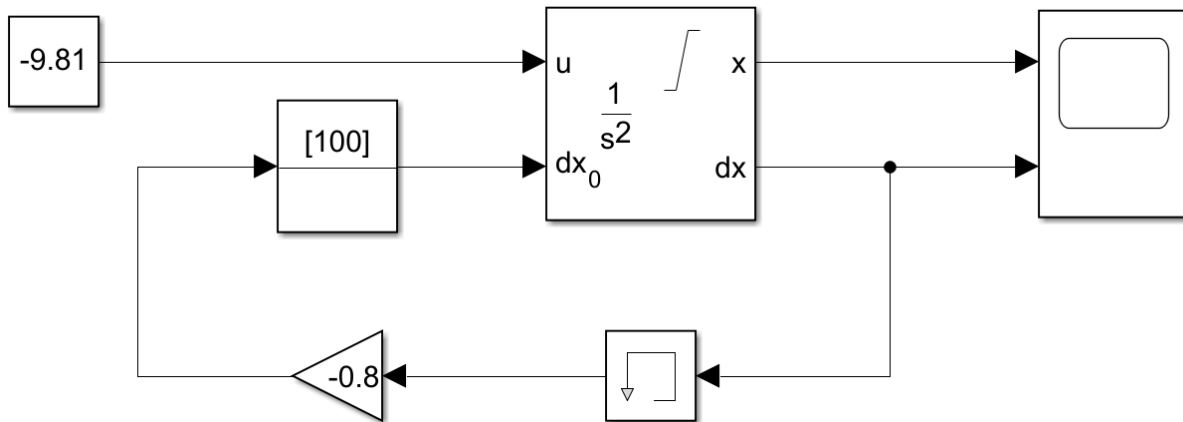
Las ecuaciones lineales involucran combinaciones de términos derivados de la variable independiente multiplicados por coeficientes constantes. En contraste, las ecuaciones no lineales pueden contener términos con relaciones no proporcionales o potencias distintas de uno del término independiente.

2.2.4 Diagramas de bloques de Matlab:

En las herramientas modernas para simular sistemas, Matlab cuenta con un entorno de trabajo llamado Simulink. Dentro de este entorno, es posible construir diagramas de bloques que representen las ecuaciones del modelo matemático y ajustar los parámetros del sistema. Esta representación ofrece la ventaja de presentar la información de manera clara, con flechas que indican la dirección de las interacciones entre los componentes. Sin embargo, a pesar de estas indicaciones, no proporciona información detallada sobre la construcción interna del sistema, lo

que significa que un solo diagrama de bloques no necesariamente representa un único sistema de manera exhaustiva.

Figura 7 - Ejemplo de Diagrama de Bloques en Simulink



Fuente: Autores

2.3 Sistemas de computación análoga:

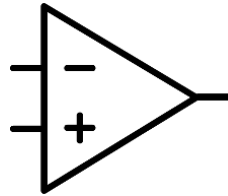
Los sistemas de computación análoga varían en alcance y especificaciones, pero mantienen la estructura básica de funcionamiento intacta. La información en estos dispositivos viaja como una señal sobre la cual se van aplicando distintas operaciones matemáticas. A diferencia del núcleo digital que trabaja con unos y ceros, la computación análoga da la información en un rango de voltaje (definido por los componentes del equipo) que varía con el tiempo dependiendo del cableado y la forma en la que viaja la señal.

2.3.1 Amplificador Operacional:

El componente central en este tipo de computadoras es el amplificador operacional, comúnmente conocido como Op-amp (por su abreviatura en inglés "operational amplifier"). Se trata de un circuito integrado diseñado para amplificar una diferencia de voltaje por un factor conocido como ganancia. El símbolo que representa al Op-amp es un triángulo con dos líneas de

entrada marcadas con símbolos de polaridad negativa y positiva en un extremo, y una salida en el extremo opuesto.

Figura 8 - Esquema básico Opamp



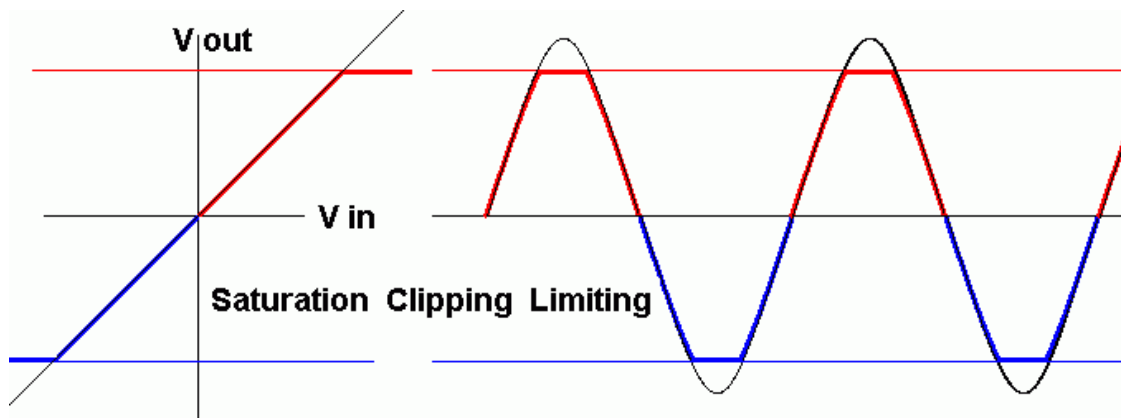
Fuente: <https://www.wisc-online.com/assetrepository/viewasset?id=373>

Las etiquetas "más" y "menos" sirven para distinguir las entradas del Op-amp. La entrada marcada con el símbolo positivo se refiere a la entrada no inversora, mientras que la etiquetada con el símbolo negativo corresponde a la entrada inversora.

La simbología fundamental del amplificador operacional (Op-amp) simplifica ciertos detalles inherentes a este componente. Su operación depende de un voltaje de alimentación que limita los valores de la salida. La polaridad del voltaje resultante estará determinada por la magnitud de las entradas: si la entrada no inversora es mayor, el voltaje resultante será positivo; de lo contrario, será negativo.

Trabajar dentro de los límites impuestos por el voltaje de alimentación es importante por que de otro modo el amplificador estará saturado, y la respuesta no será la adecuada para el problema que se desea trabajar. Debido a las altas ganancias con las que se diseñan la mayoría de estos circuitos integrados es fácil generar una señal con cortes en los intervalos de saturación.

Figura 9 - Limites de Voltaje y Señales Saturadas

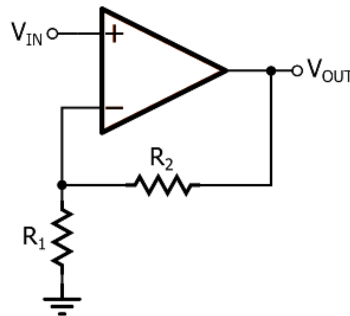


Fuente: <https://revisomatic.org/help/e-op-amp/Op%20Amp%20Ideal%20Device.php>

En el caso de los amplificadores ideales, se supone que su funcionamiento está directamente relacionado con la diferencia de voltaje en la entrada y las redes de retroalimentación utilizadas. La carga aplicada no afecta la respuesta, y la impedancia de entrada es tan alta que la corriente que fluye a través de las entradas es prácticamente nula.

Las distintas configuraciones existentes en el uso de amplificadores involucran un lazo de retroalimentación para el correcto funcionamiento.

2.3.1.1 No inversor. Partiendo de la idea de que los amplificadores trabajan con una ganancia del orden de 10^5 a 10^6 nace la necesidad de crear un circuito que permita controlar o disminuir este valor para adecuarlo a múltiples necesidades. En todas las configuraciones es posible aplicar las leyes de kirchoff y así demostrar la ecuación de cada una teniendo en cuenta que los opamps ideales impiden el flujo de corriente por ambos pines e igualan el voltaje de los mismos.

Figura 10 - Opamp No Inversor

Fuente: <https://www.allaboutcircuits.com/video-tutorials/basic-amplifier-configurations-non-inverting-amplifier/>

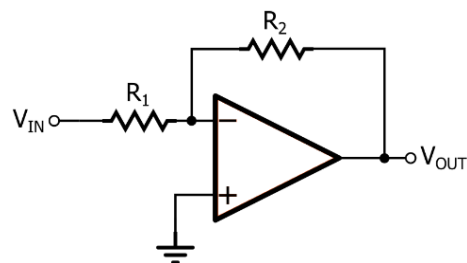
El voltaje de salida viene dado por la expresión:

Figura 11 - Voltaje de Salida Opamp No Inversor

$$V_o = V_i * \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right)$$

Fuente: Autores

2.3.1.2 Inversor. Para múltiples sistemas es necesario cambiar la polaridad de las señales, o matemáticamente multiplicar por menos uno. Con la siguiente configuración es posible hacer, no solamente eso, sino también añadir una ganancia con el uso de las resistencias correctas.

Figura 12 – Opamp Inversor

Fuente: <https://www.allaboutcircuits.com/video-tutorials/the-basic-op-amp-inverting-amplifier/>

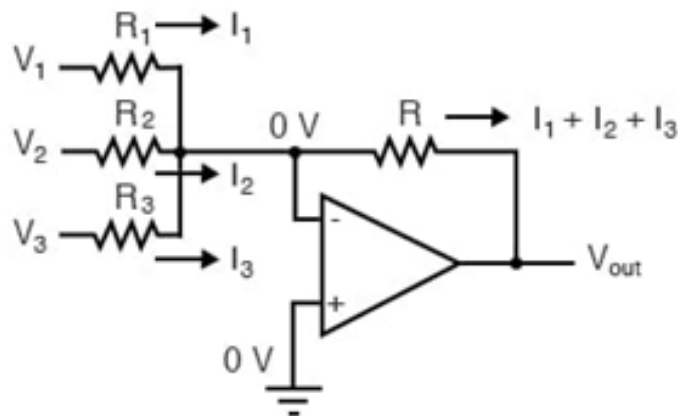
El voltaje de salida viene dado por la expresión:

Figura 13 – Voltaje de Salida Opamp Inversor

$$V_o = -V_i * \frac{R_2}{R_1}$$

Fuente: Autores

2.3.1.3 Sumador. La suma algebraica es una de las operaciones matemáticas básicas. Su montaje viene dado por una serie de resistencias conectadas a un punto que tiene una realimentación ponderada por una resistencia. Tal vez parezca distinta pero la estructura de un sumador es la misma que la de un inversor, solo que cuenta con múltiples entradas. Por el mismo motivo la suma con el uso de amplificadores multiplica la salida por un menos uno. Aunque parezca contraintuitivo la suma convencional no se consigue solo con un bloque sumador, se necesita de un inversor.

Figura 14 - Opamp Sumador

Fuente: <https://www.allaboutcircuits.com/textbook/semiconductors/chpt-8/averager-summer-circuits/>

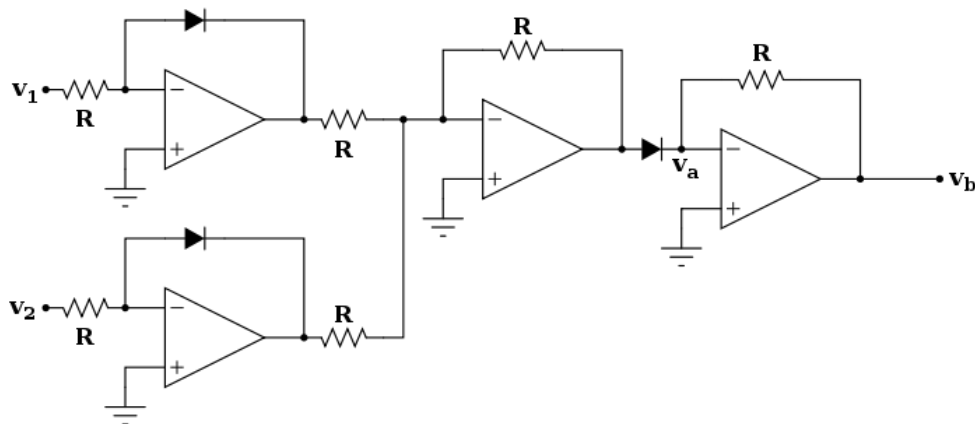
El voltaje de salida viene dado por la expresión:

Figura 15 - Voltaje de salida Opamp Sumador

$$V_o = -R * \left(\frac{V_1}{R_1} + \frac{V_2}{R_2} + \frac{V_3}{R_3} \right)$$

Fuente: Autores

2.3.1.4 Multiplicador. Para conseguir lograr la multiplicación el procedimiento involucra múltiples etapas pues no existen componentes electrónicos para los cuales la descripción matemática del circuito involucre una multiplicación directa. El procedimiento involucra dos amplificadores con diodos en el lazo de retroalimentación para generar un logaritmo natural. Posteriormente se aprovecha la propiedad de los logaritmos que relaciona la multiplicación con la suma de los logaritmos de los productos. En la última etapa se usa un diodo en la entrada para generar la función exponencial natural y eliminar el logaritmo. Las resistencias usadas son del mismo valor para evitar que sus valores ponderen las entradas de forma distinta.

Figura 16 - Opamp Multiplicador

Fuente: https://en.wikibooks.org/wiki/Electronics/Analog_multipliers

El voltaje de salida viene dado por la expresión:

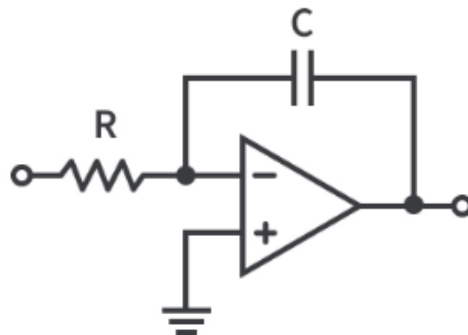
Figura 17 – Voltaje de salida Opamp Multiplicador

$$V_o = -\frac{V1 * V2}{I_o * R}$$

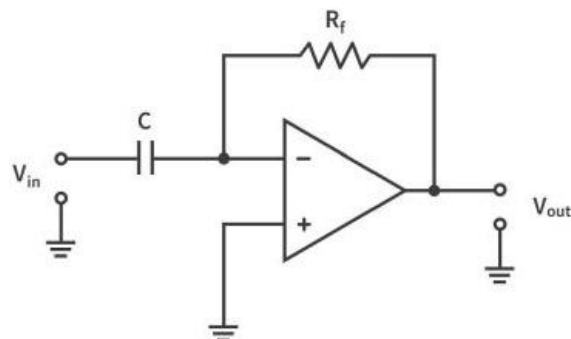
Fuente: Autores

Donde I_o es la corriente de saturación de los diodos del montaje.

2.3.1.5 Integrador y derivador: Se sirve de la curva de carga y descarga que tiene el capacitor con el voltaje para generar una integración. Siendo el módulo integrador el que tiene el capacitor a la salida resulta fácil comprender el módulo derivador, que tiene el capacitor a la entrada. Cualquiera que sea el caso la capacitancia permanece como una constante, así como la resistencia.

Figura 18 - Opamp Integrador

Fuente: <https://www.circuitbread.com/tutorials/op-amp-integrator>

Figura 19 - Opamp Derivador

Fuente: <https://www.circuitbread.com/tutorials/op-amp-differentiator>

Las ecuaciones para los bloques anteriores son:

Figura 20 - Voltaje de Salida Opamp Integrador

$$V_o = -\frac{1}{R * C} \int V_i dt$$

Fuente: Autores

Figura 21 - Voltaje de Salida Opamp Derivador

$$V_o = -R * C * \frac{dV_i}{dt}$$

Fuente: Autores

2.4 Estado del arte

Las limitantes a las que se enfrentaron las computadoras análogas en el pasado ya no están presentes. Los diseños complejos, la manutención elevada, la complicada operación y demás argumentos que se propagaban desde la década de los setenta hoy carecen de valor. En lugar de eso múltiples entusiastas han comenzado a explorar los usos de este enfoque teniendo progresos en el contexto del aprendizaje automático, inteligencia artificial y circuitos biomiméticos.

Algunos aspectos en los que la computación análoga supera su contraparte son en poder de procesamiento y eficiencia energética. Un artículo del portal IEEE Spectrum sugiere que:

Para aprovechar estas características se podrían usar las aproximaciones, y así limitar el rango de evaluación de los problemas, retroalimentando los sistemas ya presentes con un rango aproximado a la respuesta. De esta forma los enfoques complementarían sus carencias y el cálculo digital sería usado para depurar la respuesta. (Tsividis, 2017).

La otrora inversión energética de la computación digital sería repartida en un problema de dos etapas, la primera de alta eficiencia-baja precisión para determinar el intervalo de la respuesta, y

la segunda de alta precisión-baja eficiencia para dar una respuesta discretizada y con tantos decimales como permita la resolución de la parte digital.

Figura 22 - Propuesta de Procesador Análogo Desarrollado por Mythic AI



Fuente: <https://venturebeat.com/ai/mythic-launches-analog-ai-processor-that-consumes-10-times-less-power/>

Esta propuesta compartida por Yannis Tsividis en un artículo para el portal IEEE Spectrum no solo ahonda en la teoría de los procesadores híbridos, sino que también relata los hallazgos y retos a los que se enfrentó en conjunto con sus colegas.

Para la arquitectura predominante la información se trabaja con voltajes que representan el cero y el uno, el cambio de estados es casi instantáneo y el tiempo que los valores permanecen fijos está definido. Por el contrario, la frecuencia operativa del generador de funciones que el equipo de Tsividis desarrolló involucra señales binarias que cambian de valor indistintamente. “Este ritmo de trabajo bautizado como digital tiempo continuo permite una comunicación más fluida entre parte digital y análoga con convertidores” (Tsividis, 2017)..

Desafortunadamente la precisión lograda aun deja mucho que desear frente a un equipo moderno completamente digital. Los problemas no cesan ahí, los bloques computacionales exigen mucho espacio o diseños enrevesados y complejos. Los cableados que necesitan algunos

problemas matemáticos sobresalen por su escala y los diseños bidimensionales se perfilan insuficientes para estas especificaciones.

En el campo de la inteligencia artificial, ciertos circuitos análogos han mostrado un desempeño notable; Adams Zewes en una noticia del 2022 del MIT resalta que “una vez alguien tenga acceso a chips análogos no malgastara tiempo entrenándolas”. La explicación de esta afirmación radica en la estructura subyacente de las redes neuronales, uno de los tipos mas comunes de IA. Estas redes consisten en múltiples capas interconectadas, donde las salidas están ponderadas por valores conocidos como “pesos”. Estos influyen en la suma que determina la respuesta final.

Las computadoras modernas consumen una cantidad significativa de energía en lo que se conoce como la operación multiplicar-acumular (MAC), que entrena las redes neuronales para obtener pesos precisos en cada neurona. “Sin embargo, aquí se plantea una interesante distinción, los requisitos para el entrenamiento y su posterior operación son diferentes. Barreras energéticas más altas aceleran el proceso de aprendizaje, mientras que barreras más bajas permiten una retención más efectiva del conocimiento durante la operación” (Choi, 2021). Estas observaciones respaldan el uso de tecnología análoga para la fase de entrenamiento de las inteligencias artificiales.

Estudios recientes en el ámbito de los materiales han descubierto una propiedad especial en los transistores de campo ferroeléctrico. Su capacidad para polarizarse parcialmente frente a un campo eléctrico y mantener el estado de sus partículas recuerda al comportamiento de un transistor en rango completo. Es crucial determinar si esta propiedad se mantiene al reducir la escala o si, por el contrario, se polarizan completamente las partículas.

Además, “se están llevando a cabo investigaciones que sugieren que las computadoras análogas ópticas pueden ser especialmente eficaces en procesos de propagación inversa de error” (Rorvig,

2023). La modificación de los pesos de las conexiones neuronales mientras la red está en funcionamiento es una tarea que podría beneficiarse enormemente de enfoques análogos basados en señales ópticas transmitidas a través de fibras ópticas. “En este contexto, el algoritmo encargado de la propagación inversa actualiza las ponderaciones de las conexiones en función de la intensidad de los haces de luz detectados, con el riesgo procedido de acumular pequeños errores en uno significativo” (Zewe, 2022b).

Dos de las figuras más prominentes en la industria de los procesadores, el científico jefe de Nvidia, Bill Dally, y el jefe general de productos de inteligencia artificial de Intel, Naveen Rao, han expresado sus posiciones frente al tema de la IA en una publicación escrita por Karen Hao en 2019. El primero sostiene que el desarrollo en este campo ha sido impulsado por hardware capaz, y que un estancamiento del mismo frenaría el avance. De igual modo ha trazado tres caminos de ruta a seguir: el desarrollo de chips más especializados, reducir el tamaño de la computación mediante “pruning” (método que optimiza algoritmos sin afectar la presión de los resultados) o experimentar con chips de arquitectura análoga. Para esta última explica que almacenar números en un rango de valores es más compendioso, pero esta inseguro de cómo proceder con el diseño de un futuro chip. El segundo realiza una reflexión sobre el panorama actual; en específico expone que “cualquier chip, bien sea especializado o flexible, digital o análogo, óptico o lo que sea, es simplemente un sustrato para codificar y manipular información”. Añade también que dependiendo del diseño la distinción puede ser tan importante como la diferencia de capacidades entre humanos y ratas.

Saliendo de los escenarios de investigación que están en pleno furor es posible identificar usos atípicos del enfoque análogo, la profesora de ingeniería eléctrica y computacional de la Universidad del Sur de California, Alice Parker ha indagado en la posibilidad de replicar

comportamientos y trastornos humanos mediante la emulación de procesos biológicos. “Con la ayuda de sus estudiantes la docente ha desarrollado el primer diseño análogo de los astrocitos para replicar la actividad neuronal y comprender aspectos relevantes de la memoria y el aprendizaje” (Goodrich, 2023).

Todos los avances mencionados son un gran incentivo para tomar en serio esta tecnología y verla como un claro diferenciador que está viviendo una segunda época dorada. La posibilidad de ser un profesional con conocimientos sólidos en este ámbito representa una ventaja competitiva. Los estudiantes con acceso a experiencias de primer nivel podrán afrontar futuros desafíos sabiendo que este poderoso recurso está presente y disponible.

3. Selección del Banco

El banco de laboratorio para el de sistemas dinámicos se sirve de un computador analógico, el cual es un dispositivo de cálculo que opera utilizando señales continuas y variables físicas para representar y manipular datos. A diferencia de las computadoras digitales convencionales, que trabajan con valores discretos y digitales, los computadores analógicos utilizan magnitudes físicas como voltaje, corriente, posición y velocidad, entre otras, para llevar a cabo operaciones matemáticas y resolver problemas. El funcionamiento de un computador analógico se basa en la premisa de que las señales analógicas pueden representar y procesar información de manera continua, lo que les permite realizar cálculos de manera simultánea y en tiempo real.

Para lograr introducirse en el manejo del computador analógico el estudiante deberá comprender las relaciones de los diagramas de control desarrollados en simulink dentro de la

carrera y la composición de los circuitos y diagramas analógicos para dar respuesta a los mismos problemas.

Se ha diseñado un riguroso proceso de selección de alternativas con el fin de evaluar y descartar diversas opciones, eligiendo aquellas que mejor se adecúen a nuestros requisitos específicos. A continuación, se presentará el procedimiento seguido para cada uno de los componentes del banco de laboratorio.

3.1 Componentes

Para la selección de sus componentes utilizamos la herramienta de la matriz de Pugh, donde nuestras valoraciones están definidas en un intervalo de (-1 a 1) donde -1 es una valoración negativa, 0 una valoración neutral y 1 una valoración positiva con respecto a las demás alternativas.

Tabla 1 - Criterio de Valoración Matriz de Pugh

VALORACION	
-1	Negativo
0	Normal
1	Positivo

Fuente: Autores

3.1.1 Computador Analógico Como su nombre lo indica realiza el cómputo de las distintas entradas de voltaje generadas en el dispositivo en sí. Para lograr este objetivo es necesario tener módulos que usen amplificadores operacionales y sus distintas configuraciones. Por ende, el equipo debe poder generar varias señales y modificarlo en módulos diseñados específicamente para cada operación.

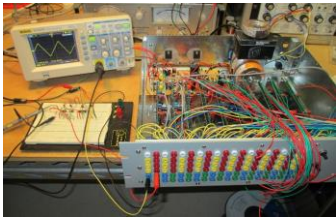

Adicionalmente debe mostrar de forma clara cuales son las partes con las que se puede interactuar para mantener un carácter didáctico; con una vista rápida debe resultar intuitivo el cómo se debe manipular.

En materia de seguridad es necesario que el dispositivo cuente con avisos y/o alertas, bien sea visuales o auditivos, que indiquen si el funcionamiento del circuito montado es correcto.

El proceso de selección contempla 2 alternativas, una fabricada apegándose a los requerimientos previamente enunciados, y un computador con modesta popularidad en elementos con arquitectura análoga. Los ítems presentes en la subsecuente matriz de pugh son:

- Tamaño y movilidad: Facilidad para transportar el osciloscopio.
- Costo: Menor coste (englobando producción, importación y otros).Tiempo de desarrollo o llegada: Tiempo necesario hasta tener el equipo operando.
- Potencia: Rango de voltaje operativo para los amplificadores (sin saturar).
- Módulos: Contempla la cantidad de módulos disponible para realizar operaciones.
- Seguridad: Protección contra conexiones erróneas y avisos visuales/auditivos.
- Facilidad Operativa: Diseño amigable para los neófitos al paradigma análogo.

Tabla 2 - Matriz de Pugh Computador Análogo

CRITERIOS	ALTERNATIVAS	
	Computador Fabricado	THAT
		
Tamaño	-1	1
Costo	-1	0
Tiempo de desarrollo/llegada	0	0
Potencia	1	0
Modulos	1	0
Seguridad	0	1
Facilidad operativa	0	1
PRIORIDAD	0	3

Fuente: Autores

La conclusión que se esclarece de la matriz de pugh revela al computador THAT por sus iniciales referentes a “THE Analog Thing” como el que mas cumple requerimientos. Es importante aclarar que al momento de construir un dispositivo muchos de estos ítems se ven influenciados unos por otros, es decir, un mayor número de módulos implica replicar un circuito múltiples veces aumentando el costo.

Uno de los factores mas importante al definir las valoraciones fue considerar que cualquier proceso de diseño casi de forma intrínseca está sujeto a rediseños y múltiples etapas. Los prototipos se vuelven extremadamente necesarios para comprobar si la propuesta funciona en la vida real. Teniendo en cuenta que muchos de los elementos comprados debían ser adquiridos en pequeñas cantidades para testear el funcionamiento de los módulos en su primera versión habría sido costoso repetir el proceso hasta lograr dar con las especificaciones y luego fabricar los demás módulos

como copias. En adición el tiempo requerido para las pruebas se vería afectado por la compra y tiempos de llegada de resistencias, capacitores, diodos y demás elementos de comercialización escasa o con especificaciones complejas.

Por otro lado, el computador THAT tiene una estructura académica y una naturaleza divulgativa. Su diseño esta enfocado a ser de uso simple en pro del aprendizaje. Pese a tener un costo considerable y módulos ausentes de notable importancia como el derivador, en general es una alternativa más equilibrada que, frente a un proceso diseño experimental, tiene bien definidas sus características y alcance.

Las especificaciones presentes en THAT son:

- 8 potenciómetros para ajustar coeficientes cada uno
- 5 integradores
- 4 sumadores
- 2 multiplicadores
- 2 comparadores
- 1 panel medidor

El dispositivo cuenta además con otros elementos menores como capacitores y diodos, así como funciones asociadas al manejo.




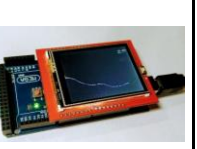
3.1.2 Osciloscopio Su función principal es mostrar gráficamente cómo una señal eléctrica varía con el tiempo en forma de una onda en su pantalla. Esto es útil para medir voltajes en diferentes puntos del circuito, entender la forma de onda de la señal, calcular parámetros temporales como la frecuencia o el ancho de pulso, y diagnosticar problemas en circuitos electrónicos. Los osciloscopios son herramientas esenciales para ingenieros y técnicos que trabajan en el diseño,

mantenimiento y resolución de problemas en sistemas eléctricos, electrónicos. En este caso lo usamos para interpretar señales eléctricas analógicas que dan respuesta a los modelos planteados.

Para el proceso o de selección se postularon 4 alternativas para su implementación dentro del banco; cada una de estas alternativas cuenta con características distintas las cuales usamos para el desarrollo de la matriz de pugh, las cuales son las siguientes.

- Tamaño y movilidad: Facilidad para transportar el osciloscopio.
- Costo: Menor coste (englobando producción, importación y otros).
- Interfaz: Facilidad en el entendimiento de los valores y opciones en pantalla.
- Potencia (Precisión y Frecuencia): Capacidades y especificaciones del dispositivo.
- Facilidad de uso: La facilidad para empezar a usarlo correctamente.
- Montaje: facilidad en el desarrollo, acoplamiento y configuración para la práctica.
- Tratamiento de señales: herramientas para trabajar, medir voltaje, situar marcadores.

Tabla 3 - Matriz de Pugh Osciloscopio

CRITERIOS	ALTERNATIVAS			
	Osciloscopio profesional	Osciloscopio portatil	Osciloscopio para pc	Osiloscopio fabricado
				
Tamaño y movilidad	-1	1	1	1
Costo	-1	0	1	1
Interfaz	1	0	1	1
Potencia	1	0	0	-1
Facilidad de uso	0	1	1	0
Montaje	1	0	-1	-1
Tratamiento de señales	1	0	0	-1
PRIORIDAD	2	2	3	0

Fuente: Autores

Al terminar el desarrollo de la matriz y calificar los osciloscopios encontramos que el que más se ajustó a nuestros requerimientos era el “Osciloscopio para pc”, se revisaron catálogos y fichas técnicas de cada uno de los tipos de osciloscopios para definir las características de cada uno, y en el osciloscopio fabricado se buscaron alternativas de cómo realizar uno con una tarjeta de “arruino” UNO o DUE para su desarrollo y su complejidad en la fabricación.

El osciloscopio adquirido es un osciloscopio marca “OWON” modelo “VDS1022I”, cuenta con 2 canales de salida para poder analizar señales XY, una banda ancha de 25 MHZ, frecuencia de muestreo de 100MSa/s, y una longitud de registro de 5K, con capacidad máxima para 400V.

Figura 23 - Especificaciones Generales Owon Series VDS

VDS Series PC Oscilloscope

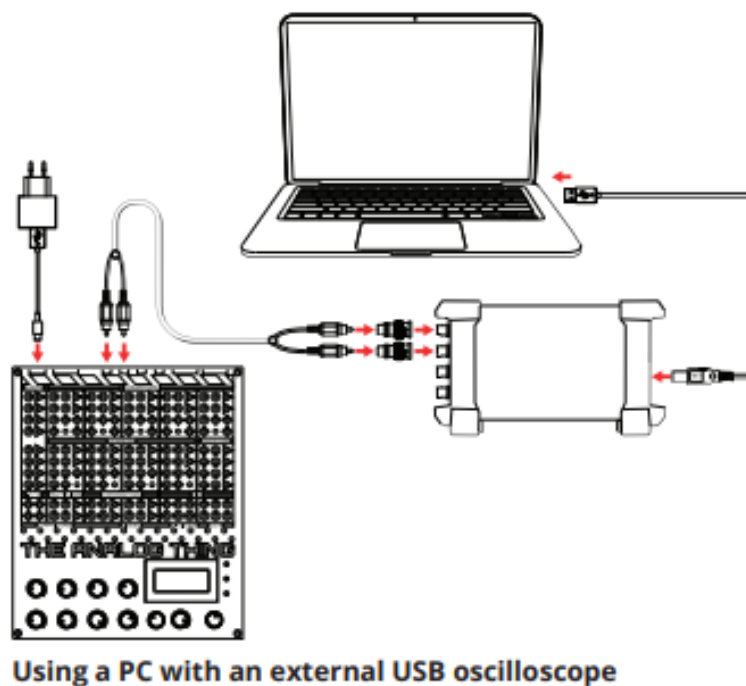
- + Up to 100MHz bandwidth,
and max 1GS/s real-time sample rate
- + 2/ 4 channels
- + Max 10M record length
- + Friendly UI : FFT, or X-Y, and waveform 2 views
displayed on the same screen
- + Multi-trigger option :
edge, video, slope, pulse, and alternate
- + USB isolation - less signal interference,
more PC protection
- + USB bus powering, and LAN remote control (optional)
- + Ultra-thin body design, easy portability
- + SCPI supported
- + LabVIEW supported (only in VDS3102, and VDS3104)

Fuente: VDS1022I-Owon-datasheet-153472836.pdf (octopart.com)

Este Osciloscopio a diferencia del resto a excepción por algunos métodos del fabricado, necesita de un computador portátil o de mesa con acceso a un programa para poder mostrar las señales en pantalla, sin embargo, con las facilidades que manejan la mayoría de estudiantes y profesores no supondría un problema, además de que la interfaz del programa es de mayor sencillez en cuanto a manejo y comprensión que hasta los propios osciloscopios profesional y portátil.

3.1.3 Montaje En conclusión, el sistema se compone por 3 componentes principales, los cuales son primero el computador analógico el cual es el encargado de generar las señales a evaluar según la configuración que nosotros generemos dentro de nuestro modelado analógico. El segundo componente es el osciloscopio seleccionado previamente en la sección anterior el cual transforma las señales obtenidas por el computador analógico en señales de video y señal ajustables para un computador digital que corresponde a nuestro tercer componente, el cual tendrá instalado el programa oficial de OWON para generar la interfaz que se usa para visualizar las gráficas.

Figura 24 - Esquema Final Montaje Laboratorio



Fuente: The analog thing, First steps, anabrid, pdf

4. Selección de problemas

Dentro de las prácticas de laboratorio decidimos separarlas por 2 tipos de prácticas. Las clasificamos como prácticas de laboratorio analítico e interactivo, en donde cada una de estas se encargará de objetivos distintos.

Para el proceso de selección se utilizó el mismo método planteado en la selección de los componentes del computador analógico, donde se realizó una “matriz de pugh” para evaluar las diferentes características de cada uno de las practicas planteadas. Cabe aclarar que este método solo se implementó en la selección de las prácticas de laboratorio analítico, debido a que las

prácticas de laboratorio interactivo, fueron preseleccionada como recomendaciones de profesores y e investigaciones que permitieran explotar el potencial del computador analógico.

La valoración que manejamos fue la misma mostrada en la “Ilustración X”, donde nuestras valoraciones están definidas en un intervalo de (-1 a 1) donde 1 es una valoración negativa, 0 una valoración neutral y 1 una valoración positiva con respecto a las demás alternativas.

4.1 Practicas de laboratorio analítico:

La función de las prácticas de laboratorio en el ámbito analítico se desarrolló con el propósito de establecer una relación entre el concepto de computador analógico y los temas que forman parte de nuestra carrera profesional. Este enfoque busca facilitar a los estudiantes la comprensión y la retroalimentación mediante el uso del computador analógico en el contexto de la ingeniería mecánica. El objetivo principal es utilizar esta herramienta para llevar a cabo una amplia variedad de análisis y pruebas con el fin de investigar, medir, cuantificar y evaluar fenómenos físicos comunes, de manera que resulten más accesibles y comprensibles para los estudiantes.

Para llevar a cabo este análisis, se consideraron diversos factores y características que nos permitieron evaluar cuáles de las opciones preseleccionadas eran las más adecuadas para implementar en el laboratorio. Entre estas, se pueden destacar las siguientes:

- **Fácil entendimiento:** Define la complejidad del sistema considerando el avance y conocimientos previos con los que el estudiante enfrenta el problema.
- **Relación con la carrera:** Hace referencia al tema al que pertenece el problema y si es afín a los estudiados en ingeniería mecánica.
- **Relación con sistemas dinámicos:** Indica la importancia que tiene el sistema en la catedra.
- **Manejo de módulos:** Variedad en las funciones usadas en los ejercicios.

- Cantidad de variables: Expresa la cantidad de magnitudes que dependen del tiempo
- Adaptabilidad: Capacidad de un ejercicio para aumentar de complejidad sin modificar
- Complejidad teórica: Especifica la cantidad de conceptos que involucra el laboratorio.
- Relación con otras prácticas: Capacidad del problema y su solución matemática para ser extrapolada a otros contextos.
- Cantidad de ecuaciones: Complejidad matemática del sistema.
- Desarrollo analógico: Señala la dificultad del diagrama de bloques y por ende del cableado a construir.

Tabla 4 - Matriz de Pugh Ejercicios Parte 1

CRITERIOS	ALTERNATIVAS					
	Sistema masa resorte	Cancelacion de vibracion	Tanque con caudal de entrada y valvula a la salida	Decrecimiento radioactivo	Circuito RCL	Pendulo doble
Facil entendimiento	1	1	1	1	1	-1
Relación con la carrera	1	1	1	1	-1	1
Relacion con sistemas dinamicos	1	1	1	1	-1	1
Manejo de módulos	1	1	1	0	0	1
Cantidad de variables	0	1	0	-1	1	1
Adaptabilidad	1	1	1	0	0	1
Complejidad teorica	1	0	1	1	0	-1
Relacion con otras practicas	1	1	0	1	1	-1
Cantidad de ecuaciones	0	0	0	0	1	0
Desarrollo analogico	1	1	1	1	1	-1
PRIORIDAD	8	8	7	5	3	1

Fuente: Autores

Ilustración X – Esquema del diseño final seleccionado del computador analógico

Tabla 5 - Matriz de Pugh Ejercicios Parte 2

CRITERIOS	ALTERNATIVAS				
	Pelota rebotando	Circuito RC	Sistema LC	Pelota rebotando en un cuarto cerrado	Crecimiento poblacional
Facil entendimiento	0	1	1	-1	1
Relación con la carrera	0	-1	-1	0	-1
Relacion con sistemas dinamicos	1	0	0	1	1
Manejo de módulos	1	0	0	1	0
Cantidad de variables	1	-1	-1	1	0
Adaptabilidad	0	1	1	-1	0
Complejidad teorica	1	1	1	-1	1
Relacion con otras practicas	1	0	0	1	0
Cantidad de ecuaciones	0	0	0	1	0
Desarrollo analogico	1	1	1	-1	1
PRIORIDAD	6	2	2	1	3

Fuente: Autores

El umbral de aprobado se definió en 4 por lo que todas las practicas con una puntuación igual o mayor serán escogidos para los laboratorios. A continuación, se mencionarán los problemas avalados por la matriz de pugh y sus puntos fuertes en el desarrollo del laboratorio.

Decrecimientos Radioactivo: Es la prueba más sencilla de todas, de alguna forma se asemeja a un tutorial para aprender la estructura del resto de prácticas. El reto está en empezar a usar los equipos y conocerlos, para ello los manuales diseñados. Los cálculos son simples y permiten identificar a los estudiantes cuales son las posibles fuentes de error al definir puntos en las gráficas y realizar medidas. Esta practica comprende sistemas de primer orden con condiciones iniciales.

Sistema masa resorte: El aporte adicional que sostiene este laboratorio es poseer un montaje más complejo que exige al estudiante estar alerta con las implicaciones al momento de usar los

bloques análogos, la comprensión de la estructura de los op-amps ayudará a interiorizar el comportamiento de los sumadores e integradores con su respuesta (la cual cambia de signo). Esta segunda practica será menos guiada pero no por eso menos compleja. El uso del sistema masa resorte sitúa a los alumnos en un escenario ingenieril, pues es un sistema fundamental para el estudio de las vibraciones. Este problema comprende sistemas de segundo orden con condiciones iniciales.

Tanque con caudal de entrada y válvula a la salida: El aporte de este laboratorio es plantear más escenarios en donde es útil y versátil el uso de la computación análoga, ya habiendo explorado los temas relacionados con las vibraciones, será enriquecedor tener problemas de la rama de hidráulica. Además, se planteará la posibilidad de hacer control sobre la válvula de salida para regular el nivel del líquido, con esto la parte de la materia relativa al control empezará a fusionarse con las prácticas en el dispositivo análogo. Dicho de otra forma, con el montaje adecuado los participantes en el laboratorio verán estructuras similares a las de un diagrama de bloques de matlab simulink con la capacidad de modificar las constantes del controlador y ver la respuesta de inmediato. Este problema comprende sistemas de segundo orden con condiciones iniciales y control.

Población cazadores y presas: Es materia de estudio para el curso de sistemas dinámicos aquellas agrupaciones de componentes que presentan una conducta predecible y que pueden ser plasmadas en ecuaciones matemáticas. Para el ser humano, como raza dominante, la necesidad de discriminar los periodos en los que las poblaciones de algunas especies proliferan es importante; con el uso de algunas ecuaciones matemáticas es posible realizar aproximaciones a este fenómeno y ver la variación en los números de una especie en relación a sus depredadores por distintos periodos. Este ejemplo sirve para extrapolar los conceptos de la materia a otros campos y no

limitarlos a un contexto ingenieril. Este problema comprende sistemas de primer orden con condiciones iniciales.

Pelota rebotando: En este laboratorio será indispensable tener un uso total de los equipos. El montaje tiene una complejidad elevada, el movimiento del cuerpo puede ser descrito por las ecuaciones y leyes aprendidas a lo largo de la carrera por lo que los resultados deben tener una alta precisión. Este laboratorio será el último en contar con graficas comparables a las de simulink.

4.2 Practicas de laboratorio interactivo:

Los Sistemas planteados para la sección de laboratorios interactivos, se enfocan en mostrar las capacidades que tiene nuestro computador por medio de modelos que requieran más actividades en su manejo e interacción. Por ello esta lista de prácticas se dejaron al gusto del director de proyecto. Dentro de esas están las siguientes.

Atractor de Lorenz: El atractor de Lorenz es un concepto en la teoría del caos y la dinámica no lineal que describe un sistema tridimensional de ecuaciones diferenciales que generan un patrón caótico y altamente sensible a las condiciones iniciales. Fue propuesto por el meteorólogo Edward Lorenz en la década de 1960 y se caracteriza por su forma distintiva de mariposa, que representa la imprevisibilidad inherente en ciertos sistemas dinámicos no lineales. La mayor interacción que nos brinda es que nos permite evaluar el sistema en el plano XY y el manejo de una alta cantidad de módulos debido a su complejidad en el contenido de sus ecuaciones.

Espiral de Euler: Es una curva matemática que se extiende a medida que se avanza a través de la gráfica. Al igual que en anterior ejemplo, es un ejercicio que enseña un modelado en dos coordenadas, por tanto, se hace uso del sistema XY del osciloscopio, además de eso nos permite explotar las expresiones sinusoidales para el modelado a través de ecuaciones parametrizadas, y nos enseña un nuevo uso para los potenciómetros con respecto al escalado de la gráfica.

Aterrizaje lunar: El aterrizaje lunar con computadoras analógicas fue un hito histórico. En el Apolo 11, Neil Armstrong y Buzz Aldrin confiaron en estas máquinas para controlar su descenso a la Luna en 1969. Las computadoras analógicas resolvieron ecuaciones en tiempo real para ajustar la velocidad y el ángulo de la nave, garantizando un aterrizaje suave. A pesar de las dificultades, el módulo lunar tocó la superficie con éxito y cambió nuestra comprensión de la exploración espacial. En esta práctica lo que se buscó regular el manejo del combustible de la simulación para hacer un aterrizaje exitoso, para esto se manejó un sistema XY donde se evaluaba la altitud de la nave con respecto a la superficie y el nivel de combustible a manejar. Esta actividad además de manejar otra serie distinta de módulos como lo es el módulo if, también permite interactuar con los potenciómetros en tiempo real para dar respuesta a la simulación planteada.

Cancelación de vibración: El objetivo en este laboratorio será darles a los estudiantes un sistema ya estudiado, pero con variaciones en su planteamiento, la fuerza de excitación y de cancelación de vibraciones tendrán que ser añadidas de forma inteligente al montaje, se estudiarán los efectos de ambas fuerzas y el protagonismo estará en la comprensión del fenómeno en sí, pues en determinado momento la fuerza generará una resonancia al encontrarse en la misma frecuencia que el sistema, y luego invirtiendo la fase será posible mitigar las vibraciones del sistema.

5. Desarrollo de las practicas

Para incorporar un laboratorio de forma natural es imperativo tener conocimientos de los objetivos de la materia objetivo, de ese modo el aporte de las practicas estará dirigido a fortalecer las competencias deseadas. Dentro de los propósitos de esta catedra hay algunos que guardan una gran relación con los equipos que están siendo utilizados, por ende, la construcción de los

laboratorios partirá de los mismos. De la rúbrica de actividades académicas del curso de sistemas dinámicos se escogieron los siguientes ítems:

- Capacidades para modelar distintos sistemas usando las distintas relaciones analíticas y leyes de la física aplicados a: sistemas mecánicos, sistemas térmicos, sistemas mecatrónicos, sistemas eléctricos, sistemas de transporte de fluidos y energía, control.
- Capacidad de simular las distintas condiciones que se le presentan a los sistemas dinámicos usando herramientas computacionales

El modelado de los sistemas dinámicos es uno de los objetivos intrínsecos de cada práctica, en ellas la construcción y despliegue de la gráfica es fundamental para conocer el fenómeno y constituye el primer paso en el estudio de las características, así como el comportamiento del sistema al afectar los parámetros que lo definen. Por ello el conjunto de las primeras prácticas (sistema de decaimiento radioactivo y masa resorte amortiguador) se enfocan en afianzar los conocimientos para generar las simulaciones.

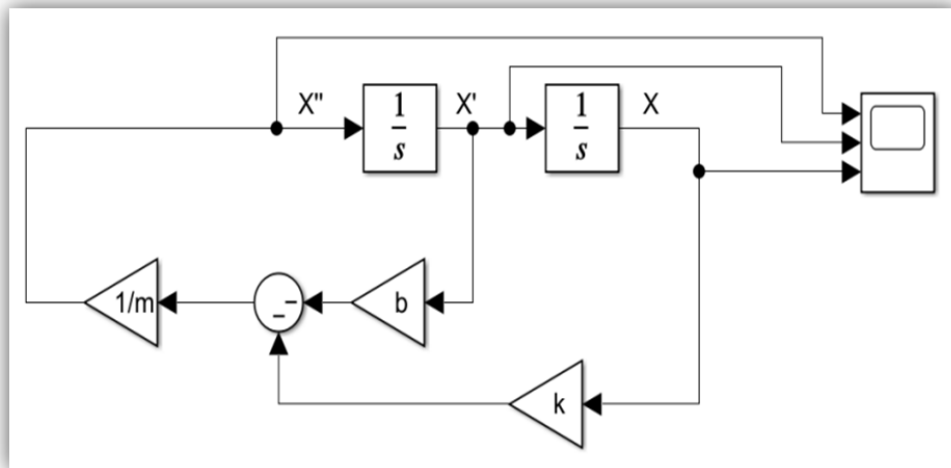
Los laboratorios posteriores cuentan con múltiples elementos adicionales para enriquecer el conocimiento de los estudiantes y replicar condiciones en específico de los sistemas modelados; el sistema de tanques con control de nivel es un ejemplo en donde el reto abordado se constituye de generar el diagrama de bloques del sistema y luego someterlo a las condiciones de un controlador. En posteriores prácticas las características del equipo darán lugar a modelados únicos y de sistemas abstractos.

El método usado para generar los laboratorios se basó en todos los laboratorios analíticos por igual, en una estructura que comprendían 4 pasos en su desarrollo:

5.1 Diagrama SIMULINK

Los estudiantes desarrollaran un diagrama en la herramienta trabajada en el modelado de diagramas de bloques en las materias de control y sistemas dinámicos. Esto se desarrolla con el fin de lograr que los estudiantes obtuvieran los datos usados como datos teóricos para el análisis de datos, porcentaje de error y desviación estándar. Con los conocimientos previos obtenidos los estudiantes implementaran esta herramienta para modelar el sistema.

Figura 25 – Diagrama simulink



Fuente: Autores

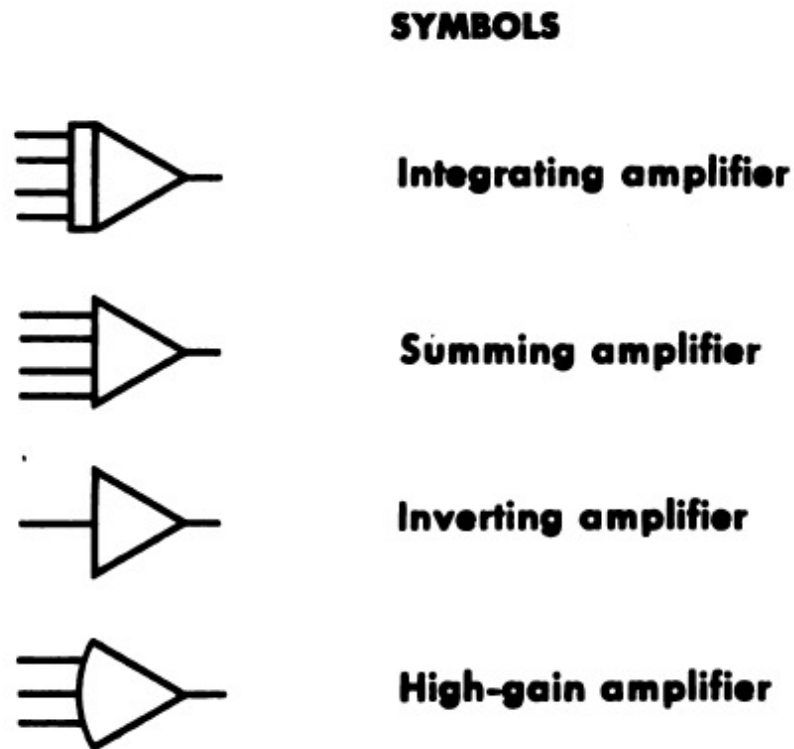
La ilustración 19 muestra el diagrama de bloques en SIMULINK de un sistema masa resorte y amortiguador. Un ejemplo visual para el tipo de diagrama que se realizó en la primera sección de los laboratorios analíticos.

5.2 Diagrama analógico

Después de tener montado el diagrama de bloques en SIMULINK los estudiantes montaran el respectivo diagrama analógico interpretando los módulos que el computador analógico nos brindan

a través del diagrama anteriormente montado, debido a que ambos sistemas son homólogos en su estructura.

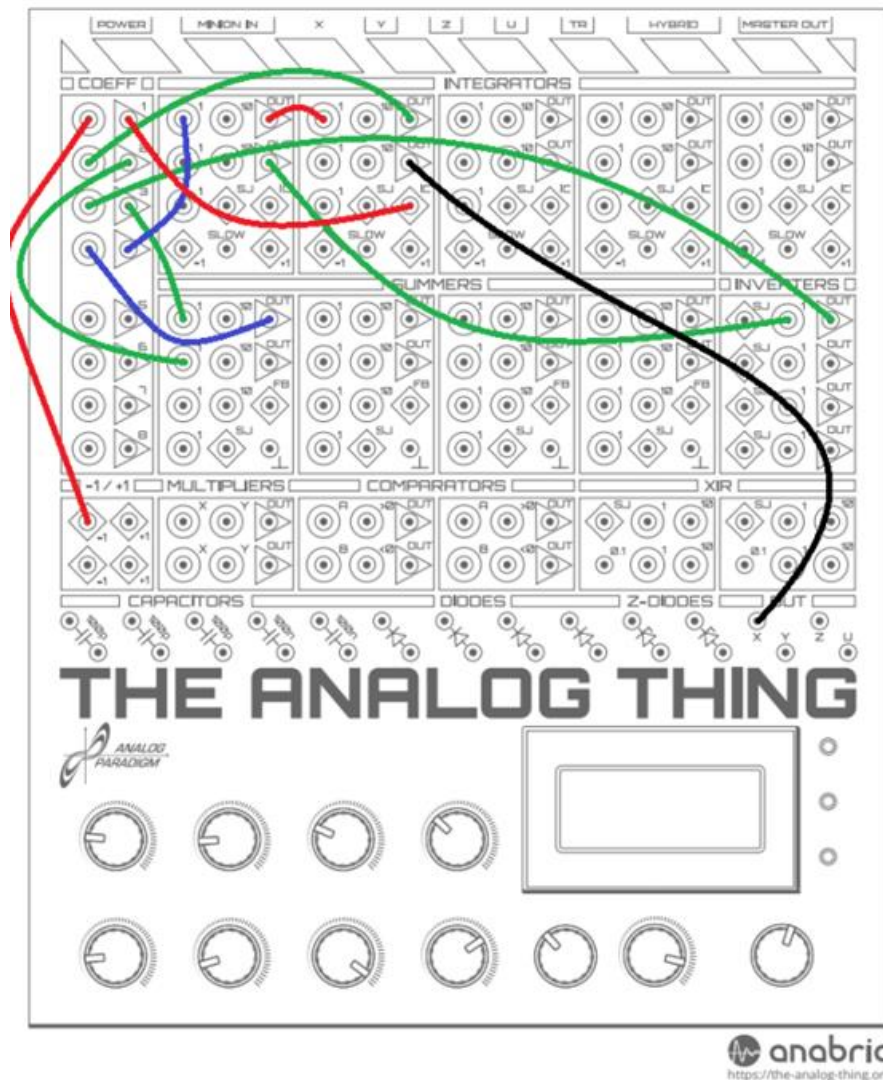
Figura 26 – Módulos analógicos



Fuente: <https://spectrum.ieee.org/not-your-fathers-analog-computer>

En la Ilustración 20 se puede observar como cada módulo analógico representa cada uno de los componentes de la ecuación, por tal razón la estructura a la cual se armaron los diagramas analógicos de los laboratorios fueron similares a los diagramas de SIMULINK de cada uno de ellos.

Figura 28 – Circuito analogico



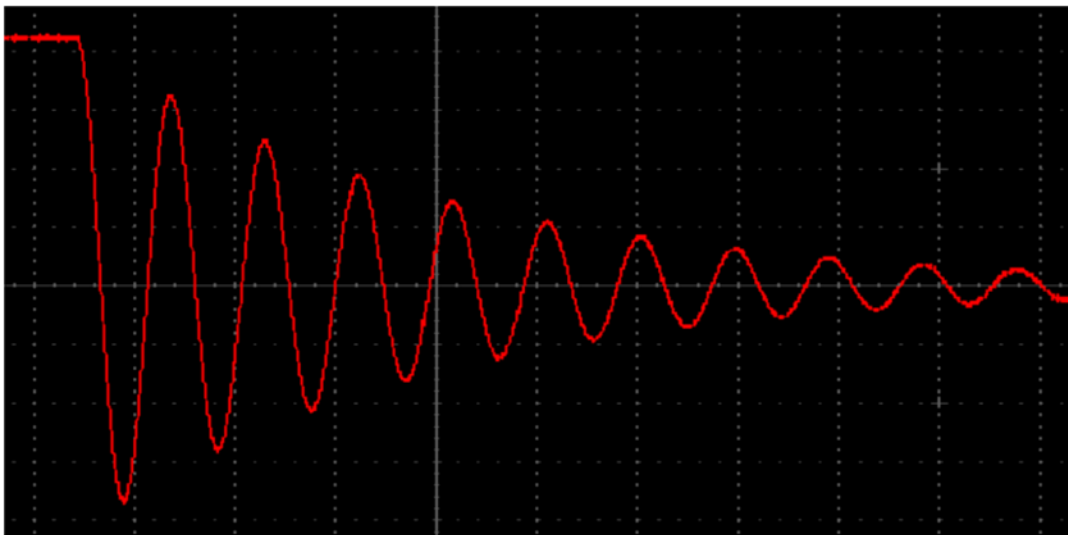
Fuente: Autores

La ilustración 22 nos muestra el circuito analógico realizado para el sistema masa resorte y que es homologo al diagrama analógico de la ilustración 21 donde los colores tanto del circuito y el diagrama representan las mismas secciones de la ecuación del sistema.

5.4 Grafica osciloscopio

Después de armar el circuito, los estudiantes deberán de analizar la gráfica por medio del osciloscopio seleccionado anteriormente. donde se tomarán datos experimentales del modelo planteado en el computador analógico y se corroborarán con los datos teóricos obtenidos a través de Matlab SIMULINK.

Figura 29 – Grafica osciloscopio OWON



Fuente: Autores

La ilustración 23 nos muestra la gráfica obtenida del circuito de masa, resorte y amortiguador por medio del osciloscopio OWON, Se tomarán 4 puntos en los picos o lugares específicos que sean sencillos de evaluar a la hora de compararlos con los datos teóricos obtenidos.

6. Aporte del laboratorio al curso de sistemas dinámicos

Responder a esta incógnita es equivalente a preguntarse ¿es fundamental la herramienta?, tal vez no, el aprendizaje de la computación analógica se puede desarrollar en ausencia de equipos que

materialicen los conceptos, pero la experiencia estaría ausente. Puede que sea más valiosa para algunos que otros. Pero frente a un asunto que de momento despierta actitudes de indiferencia para algunos ingenieros, la posibilidad de enfrentarse a los equipos sea suficiente para generar conciencia del tema.

De alguna forma a lo largo de los programas universitarios ese ha sido el *modus operandi*. Al estudiar los temas referentes al cálculo se suelen mencionar levemente las aplicaciones cuando estas son las más importantes. Resulta común ver en distintas materias que la parte teórica es desarrollada de forma extendida antes de siquiera pensar en la práctica en la que dichos conceptos serán los protagonistas.

Los laboratorios están diseñados para llegar a ellos con una cantidad de preparación previa significativa. La voluminosa cantidad de información que condensan en algunos casos genera una barrera entre los estudiantes que han interiorizado los temas trabajados y los que no. Por ello, el diseño de las prácticas debe desarrollarse de forma exponencial, el paso a través de cada experiencia construirá ideas sólidas que asistirán al estudiante más allá de una formación meramente teórica.

En la universidad industrial de Santander el pensum de una ingeniería contiene gran cantidad de materias en las cuales muchas brillan por la gran cantidad de conocimientos que proveen, mismos que podrían ser aplicados en el computador análogo. Lo importante de THAT es que comprende varias áreas de interés más allá de la computación análoga en sí. Los ejemplos más directos son cálculo, física, y control. En cálculo, el dispositivo podría ser usado para reconocer formas comunes de gráficas, luego en física sería materia de estudio los principios que dominan el funcionamiento de los amplificadores operacionales y por último en control se verían los distintos diagramas de bloques que pueden ser montados en el dispositivo. En este aspecto el curso de

sistemas dinámicos es un compendio de las disciplinas mencionadas, y por ello es el laboratorio que más puede explotar sus capacidades.

Para cursos avanzados de los últimos semestres de ingeniería mecánica la complejidad y escala de los laboratorios representa un reto para la escuela en más de un sentido. Al diseñar un banco experimental el objetivo es presentar la experiencia más similar a lo encontrado en un escenario profesional, pero con escala reducida. Este problema de escala no está presente con el uso de THAT; en él están agrupadas todas las practicas del curso, con la ventaja de poder cambiar cada uno de sus parámetros. Tomando como ejemplo el sistema masa resorte es más fácil cambiar algunos parámetros que otros; la posición inicial solo requiere situar la masa en un punto inicial distinto, pero la masa, constante del resorte y amortiguación están asociadas a elementos físicos del sistema. Aun considerando que se poseen un juego de resortes y masas, las posibilidades están limitadas por el número de combinaciones.

La robustez de THAT está en la posibilidad de construir múltiples circuitos en un elemento didáctico, dando significado a los coeficientes presentes en el montaje de forma análoga al sistema real y poder asignar una infinidad de valores cambiando el valor de los potenciómetros.

En conclusión, la propuesta presentada quiere dar soporte al curso de sistemas dinámicos aportando variedad a la catedra con el tema de la computación análoga con la ventaja de que los equipos son compactos y reemplazan una gran cantidad de sistemas reales y abstractos. También se tiene como meta dotar al estudiante con nociones básicas de otros enfoques de procesamiento de datos e incentivar el uso del equipo en futuros proyectos.

7. Sondeo de docentes y estudiantes

La construcción de cualquier proyecto por simple que sea debe someterse a críticas para mejorar. Para el presente caso hubo métodos rigurosos de selección para escoger el hardware necesario y los ejercicios que se aplicarían en este, pero es incorrecto afirmar que con eso sería suficiente. De acuerdo a lo anterior nace la necesidad de realizar una encuesta a ciertos sectores del plantel de ingeniería mecánica.

Primero se escogieron los grupos mas valiosos para aportar retroalimentación a la implementación del laboratorio. Se observó que los estudiantes y profesores relativos al curso son los mas importantes para este objetivo, los primeros indicaran que les gustaría ver al momento de empezar con las practicas y si poseen interés en el tema. Los segundos podrían exponer las flaquezas o puntos débiles del laboratorio para luego incorporar los comentarios y fortalecer el desarrollo del concepto a exponer.

7.1 Encuesta estudiantes

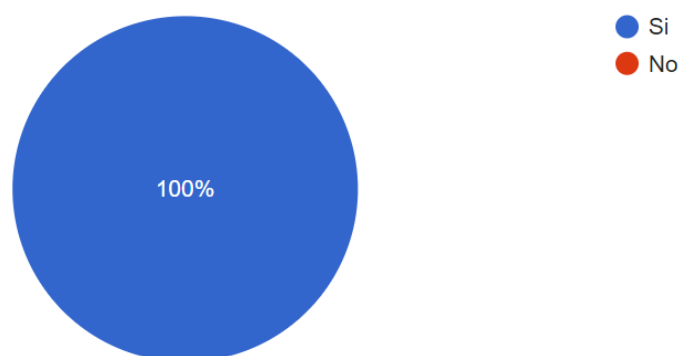
Para los estudiantes como primer punto a evaluar fue su interés en el tema, conocimientos previos y opinión sobre el futuro de este paradigma de tratamiento de datos, como segundo punto se tuvo en cuenta la estética pues al ser equipos nuevos deben llamar la atención del estudiantado, y por último se preguntó acerca del impacto de este campo de estudio en ingeniería mecánica y el curso de sistemas dinámicos.

Las preguntas con sus respectivas respuestas se presentan a continuación:

Figura 30 - Resultados Encuesta Estudiantes

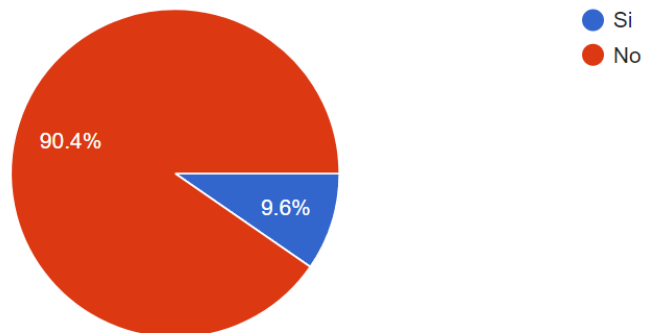
Teniendo en cuenta la descripción del laboratorio (presente al comienzo de la encuesta), ¿considera que esta experiencia le ayudaría a entender la computación análoga?

52 respuestas



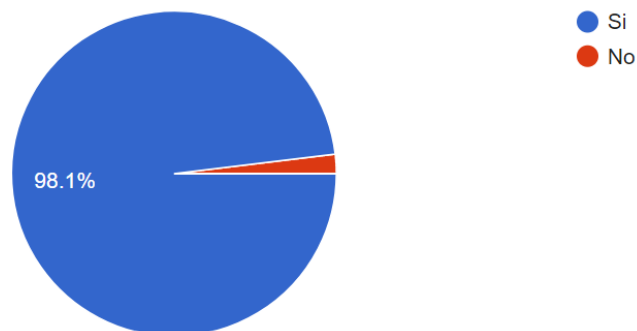
¿Posee algún conocimiento de procesamiento de datos que no sea por medio de herramientas digitales?

52 respuestas



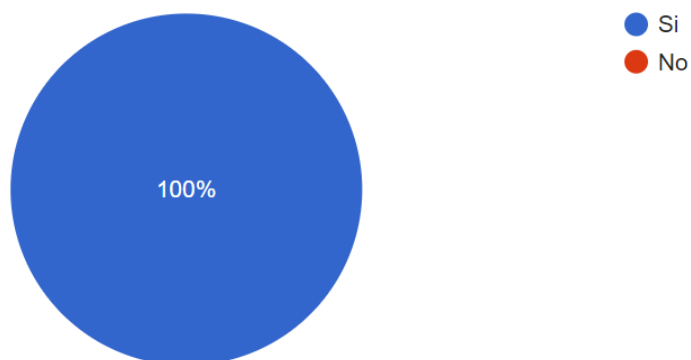
¿Considera enriquecedor conocer otro tipo de tecnologías para ampliar sus conocimientos?

52 respuestas



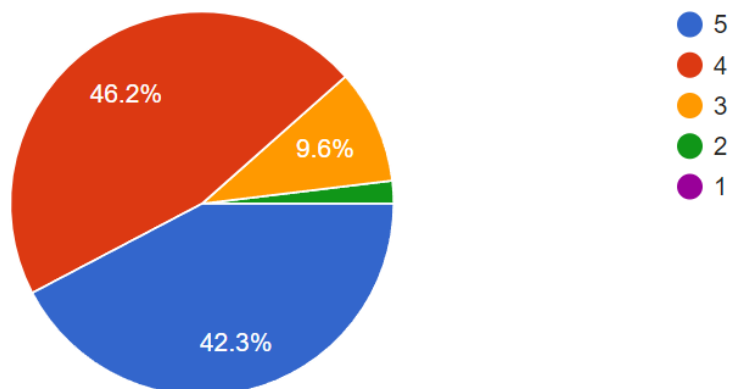
¿Considera que a futuro será importante conocer otras formas de procesamiento así como sistemas mixtos (analógico-digitales)?

52 respuestas



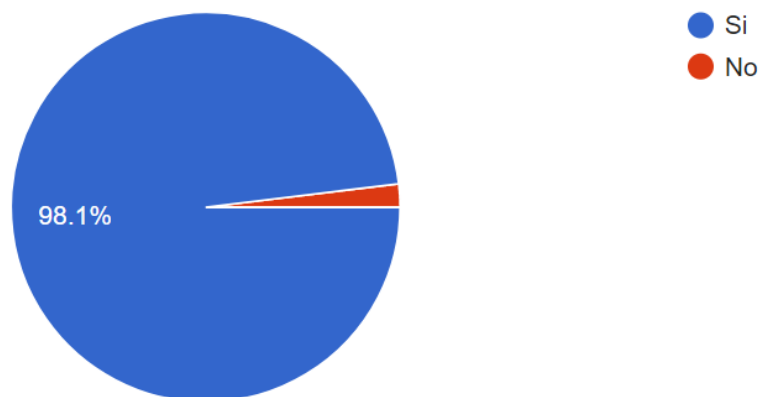
La foto de la derecha muestra los equipos del laboratorio, estéticamente como los evaluaría de 1 a 5

52 respuestas



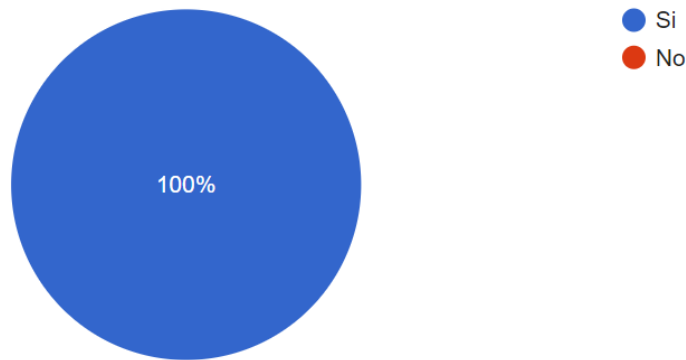
¿Cree usted que el tema estudiado es de interés para la Ingeniería Mecánica?

52 respuestas



¿Considera apropiado un laboratorio como primer acercamiento a nuevos enfoques de procesamiento de datos?

5 respuestas



Fuente: Autores

Los resultados indican mayormente que los estudiantes desconocen la computación análoga pero el tema despierta interés en ellos. También se observa que estéticamente el montaje es competente, recibiendo calificaciones mayormente positivas. Por ultimo se hace claro que el interés en el curso de sistemas dinámicos se intensifica con nuevos equipos, y que el estudiantado considera valioso explorar este campo.

Al final de la encuesta se optó por abrir una sección para comentarios en la que hubo variación en cuanto a las peticiones de los estudiantes. Algunos de ellos son:

- Añadir en el manual el equivalente de la simbología en simulink
- Obviamente tener más equipos para una experiencia más personalizada, videos explicando
- Implementación de un control P y de una metodología de comparación con simulink
- Tener circuitos hechos previamente a disposición en forma de "tablas de conexiones"
- Elaboración de un laboratorio en control para llegar con conocimientos del banco antes
- Más instrucciones para el manejo

- Que el manual sea bastante estricto con el uso, para que no se dañe, sería injusto para nuevos estudiantes no tener esa experiencia
- Mejorar el banco del computador analógico
- Más difusión
- Dar un resumen a los conocimientos previos necesarios para el laboratorio y otorgar referencias y otros guías en caso de que el estudiante quiera expandir su conocimiento más allá del laboratorio

Estos puntos se pueden resumir en que el material introductorio del laboratorio debe ser voluminosos y estar más complejo. Las quejas también están asociadas al salto de una plataforma a otra, se sugiere que los manuales sean mas robustos, que haya explicaciones a detalles de montajes y mejores instrucciones. Para este punto tal vez lo mas importante sea recalcar que los manuales van a sufrir cambios basados en estos comentarios y que los videos sobre montajes y sistemas ya funcionando estarán presentes en un pequeño canal del YouTube administrado por el docente que dicte la materia.

7.2 Encuesta docentes

Para los profesores se plantearon las siguientes series de preguntas que consideramos importantes para tener referencias con respecto a la opinión de personas más experimentadas, esto con el fin de evaluar los aspectos positivos y negativos de nuestra practica de laboratorio.

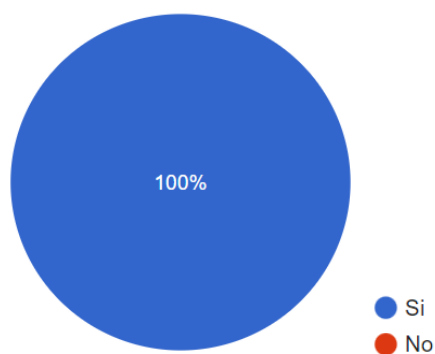
A diferencia de la encuesta para los estudiantes, en esta se realizó un análisis más exhaustivo debido a que los docentes y estudiantes de posgrado tienen un conocimiento más profundo sobre el tema, lo cual impulso en mayor medida el modificar puntos clave del laboratorio.

1. ¿Considera apropiado un laboratorio como primer acercamiento a nuevos enfoques de procesamiento de datos?

2. ¿Cree que el laboratorio tiene el nivel apropiado para estudiantes de pregrado?
3. ¿Considera que la "guía de uso rápido" tiene el material adecuado para empezar la practica con el computador analógico?
4. ¿Considera que el laboratorio planteado para el equipo es el adecuado para el curso de sistemas dinámicos?
5. ¿Cómo considera su experiencia con la interacción con el computador analógico?

En respuesta a la pregunta 1 se obtuvieron los siguientes resultados.

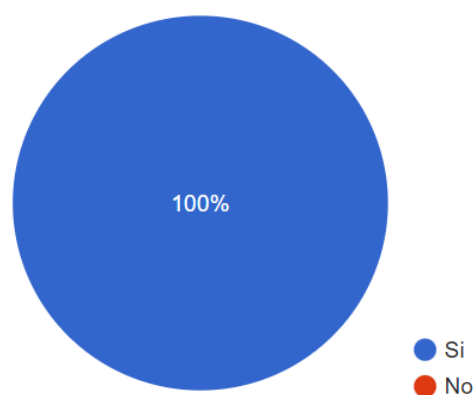
Figura 31 – Resultados Pregunta 1 Encuesta Docentes



Fuente: Autores

Como se puede observar todos los profesores y estudiantes de posgrado consideraron apropiada la idea del desarrollo de un laboratorio para introducir a los estudiantes a nuevas tecnologías, encuesta que impulso aún más el desarrollo de las prácticas.

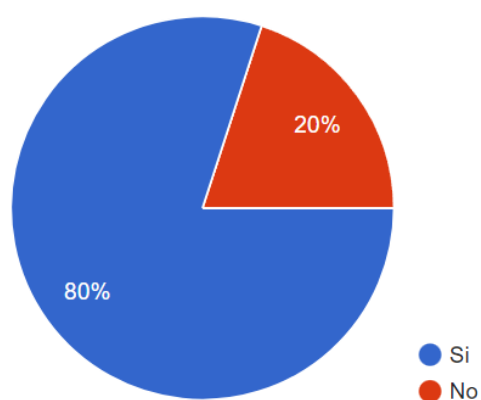
En respuesta a la pregunta 2 se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 32 - Resultados Pregunta 2 Encuesta Docentes

Fuente: Autores

Al preguntar sobre el nivel de la práctica para los estudiantes de pregrado se obtuvo una respuesta completamente positiva, dándonos a entender que el nivel de las prácticas de laboratorio era el adecuado para que los estudiantes de pregrado se introdujeran al tema e interacción con el computador analógico sin presentar dudas e inconvenientes.

En respuesta a la pregunta 3 se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 33 - Resultados Pregunta 3 Encuesta Docentes

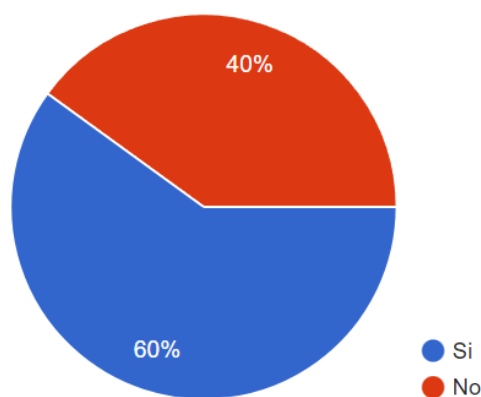
Fuente: Autores

Al preguntar sobre la “guía de uso rápido” para los estudiantes de pregrado se obtuvo una respuesta en su mayor parte positiva. Dándonos a entender que un 20% muestra inconformidad con respecto al nivel de la práctica o cree que los estudiantes no están preparados para esta.

La guía de uso rápido se creó con el fin de introducir a los estudiantes al manejo del computador analógico, por tal motivo el preguntar sobre su contenido y facilidad de comprensión es fundamental en nuestro desarrollo de la práctica. Al ver el descontento de un 20% de los encuestados, se preguntó de forma específica que recomendaciones podían brindarnos para mejorar el documento. Donde se obtuvo que la “guía de uso rápido” tenía que ser más específica en cuanto su metodología y clara con respecto a la implementación en un modelo. Cosa que tuvimos en cuenta a la hora de describir cada uno de los componentes y al desarrollar ejemplos de la práctica añadiendo graficas más detalladas de los módulos analógicos y sus conexiones con algunos ejemplos de prácticas.

En respuesta a la pregunta 4 se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 34 - Resultados Pregunta 4 Encuesta Docentes



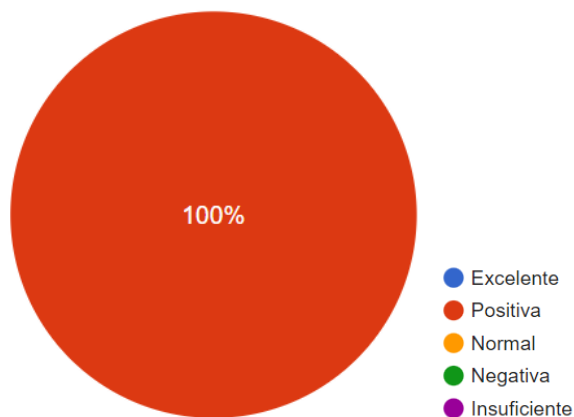
Fuente: Autores

Se obtuvo que un 60% estuvo de acuerdo en que el laboratorio era adecuado para la materia, más sin embargo se observó un descontento de un 40% de los encuestados, donde ellos

recomendaban o decían que el laboratorio requería mostrar el alcance del mismo en la actualidad, razón por la cual se inició el desarrollo de un sistema PID para crear un sistema de control.

En respuesta a la pregunta 4 se obtuvieron los siguientes resultados.

Figura 35 - Resultados Pregunta 5 Encuesta Docentes



Fuente: Autores

Por último y no menos importante preguntamos a los profesores y estudiantes de pregrado su experiencia con la interacción del computador analógico, la cual, a pesar de no ser excelente, dejó una experiencia positiva en todos los que participaron.

8. Conclusiones

El diseño de un laboratorio para el curso de sistemas dinámicos llevó al estudio de un nuevo enfoque en el procesamiento de datos. Este proyecto implicó una rigurosa selección de los mejores equipos y temas para ofrecer a al estudiantado, frente a lo cual se concluyó que:

Los equipos seleccionados ofrecen especificaciones valiosas con relación a su costo y representan una aproximación a los elementos de la industria. El computador THAT destaca por

su diseño intuitivo y sencillo, facilitando a los usuarios la operación de sus diversos módulos para evaluar su potencia y alcance. Además, los valores de voltaje que emplea son tan reducidos que minimizan cualquier riesgo de accidente. Como introducción al tema, es una herramienta competente.

Al analizar el osciloscopio OWON, es evidente que se trata de un instrumento de medición de nivel profesional. Sus capacidades rivalizan con las de otros equipos, lo que significa que cualquier persona que opere eficientemente este elemento del laboratorio desarrollará las habilidades para manejar otros osciloscopios.

El laboratorio como un todo reemplaza muchos sistemas físicos en el aula en equipos compactos y versátiles con la posibilidad de variar cualquiera de los parámetros de estos. Añade también la posibilidad de modelar fenómenos abstractos con lo cual extiende los temas trabajados en sistemas dinámicos a otros ámbitos.

Los factores de escala son realmente valiosos para aprovechar las capacidades del dispositivo. El rango de la señal emitida de no puede ser un impedimento para modelar sistemas complejos y de gran escala. Los ejercicios propuestos muchas veces pueden adaptarse para dar una respuesta válida en la simulación del computador análogo. Los mejores exponentes de esta situación son la espiral de Euler y el atractor de Lorenz; sus respectivas simulaciones en simulink trabajan valores muchos más grandes en su forma original, sin embargo, es posible hacer un despliegue de los sistemas manteniendo sus geometrías características en un rango establecido.

Se incluyeron prácticas con todos los ítems que se tenían como objetivo, abarcando sistemas de ecuaciones de primer, segundo y tercer orden, con condiciones iniciales y función de excitación. Además, se optó por mostrar las capacidades de la computación análoga escogiendo fenómenos llamativos. En problemas como el atractor de Lorenz y el aterrizaje lunar, la experiencia varía

enormemente al tratarse de un computador digital o análogo. Para el primero es posible ver como se generan las trayectorias en tiempo real, y para el segundo el sistema cambia dependiendo de las entradas generadas por la persona operando el equipo. La decisión de dividir la practicas en dos tipos permite que los estudiantes puedan ver la computación análoga como una herramienta de apoyo en modelado de sistemas ingenieriles, o como un campo con mucho potencial de estudio que comienza a crecer en popularidad.

Se concluyó además que el elemento en sí no es indispensable en una cátedra de computación análoga, pero las capacidades que ofrece y las oportunidades de experimentación son amplias. Las practicas propuestas apenas rascan la superficie del tema con el propósito de ser una introducción valiosa para futuros profesionales o estudiantes interesados en explorar e investigar en dicho campo.

Finalmente, se determinó que la aceptación de las prácticas fue satisfactoria, ya que los resultados de las encuestas están claramente inclinados hacia respuestas positivas. La retroalimentación recibida resultó valiosa para implementar cambios en la forma en que se presenta el tema. Los docentes centraron sus críticas en fortalecer las características del computador y en mejorar la enseñanza sobre las capacidades del equipo, mientras que los estudiantes solicitaron guías más detalladas y material adicional para evitar un uso irresponsable.

9. Trabajo futuro

En general todavía existen múltiples cambios que se pueden aplicar para mejorar el laboratorio, muchos de ellos no son indispensables, pero optimizarían la experiencia del estudiantado en el banco de trabajo. De igual forma las aplicaciones que se han buscado para este dispositivo tienen

un enfoque puramente académico y divulgativo, pero ello no quiere decir que no pueda hacer parte de proyectos de mayor escala.

- Modulo derivativo: La ausencia de la capacidad de derivar perjudica el planteamiento de ciertas prácticas pues exige diseños más complejos para suplantar este vacío. Se considera que, a corto plazo, se establezca la meta dentro del estudiantado de completar el desarrollo del laboratorio generando un diseño que tenga las especificaciones adecuadas para trabajar en conjunto con los equipos ya establecidos de forma armónica. Con esto se enfatiza en el límite del voltaje de trabajo definido por THAT.
- Circuitos de control: Este punto está vinculado al anterior debido a que, pese a tener multitud de herramientas con las que trabajar, el diseño de un controlador PID involucra generar la derivada de la función error, por eso se puede afirmar que el tema de control no se ha explorado de forma eficiente y que solo se ha visto de forma restringida.
- Mayor número de sistemas: Las posibilidades de generar multitud de sistemas queda presente y el laboratorio no se puede quedar solo ahí. Como punto de inicio los fenómenos seleccionados se miran agradables como introducción para las practicas, pero las experiencias no se pueden quedar estancadas en las primeras propuestas, tienen evolucionar según aumente el dominio e interés de los usuarios de estas herramientas.
- Diseño de PCBs: Como recurso para ser extrapolado a prácticas en postgrado el computador análogo posee la desventaja de que los tiempos necesarios para construir los sistemas son dispendiosos y exigen atención. Por esto con circuitos que

se trabajen de forma iterativa sería valioso tener placas PCB con conectores banana de 2 milímetros y el cableado de los sistemas incorporado, de esta forma los tiempos muertos al momento de instalar un montaje se eliminarían.

- Computación híbrida: El computador tiene un puerto híbrido que permite al THAT ser controlado por dispositivos digitales, permitiendo el desarrollo de programas analógico-digitales. Esta característica está latente en el dispositivo y merece ser estudiada a fondo en trabajos posteriores.

Referencias Bibliográficas

- Choi, Q. C. (2021). Promise of Analog AI Feeds Neutral Net Hardware Pipeline. <https://spectrum.ieee.org/new-devices-for-analog-ai>
- Tutorial Matlab. (s.f.).
http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lep/garcia_b_s/capitulo2.pdf.
- Goodrich, J. (2023). This USC Professor is Developing an Artificial Brain. <https://spectrum.ieee.org/usc-professor-developing-artificial-brain>
- Hao, K. (2019). The next AI explosi3n will be defined by the clips we build for it. <https://www.technologyreview.com/2019/03/26/136381/the-next-ai-explosion-will-be-defined-by-the-chips-we-build-for-it/>
- MacLennan, B.J. (2007). A Review of Analog Computing. En University of tennessee (Ed.), (pg 1-11).
- Rorvig, M. (2023). Optical Algorithm Simplifies Analog AI Training. <https://spectrum.ieee.org/analog-ai-optical-training>

- Scott, N. R. (1960). Analog And Digital Computer Technology. En University of Michigan (Ed.), (pg 10-14).
- Small, J. (1930). The Analog Alternative. https://books.google.es/books?hl=es&lr&id=71ayYlt_1MkC&oi=fnd&pg=PR1&dq=history+of+analog+computing&ots=YxPzKTaTK_&sig=DALKOxx5N8JAV0iv2a3s0B4bBoM#v=onepage&q&f=true (pag 1-9).
- Truitt, D. T. (2020). Analog Computers. En J. F. Rider (Ed), (pg 11-18).
- Tsividis, Y. (2017). Not Your Father's Analog Computer. <https://spectrum.ieee.org/not-your-fathers-analog-computer>
- Waldrop, M. M. (2016). The chips are down for Moore's law. Nature, 530(7589). <https://www.nature.com/news/the-chips-are-down-for-moore-s-law-1.19338>, (pag. 144-147).
- Zewe, A. (2022). Breaking the scaling limits of analog computing. <https://news.mit.edu/2022/scaling-analog-optical-computing-1129>
- Zewe, A. (2022). New hardware offers faster computation for artificial intelligence, with much less energy. <https://news.mit.edu/2022/analog-deep-learning-ai-computing-0728>