



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN

**“ANÁLISIS, DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN OBJETO DE
APRENDIZAJE FUNCIONAL INTEGRADOR (OAFI) ORIENTADO A
MEJORAR EL PROCESO DE APRENDIZAJE E INTEGRACIÓN DE
CONOCIMIENTOS EN INGENIERÍA”**

INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previa a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN COMPUTACIÓN ESPECIALIZACIÓN
SISTEMAS TECNOLÓGICOS**

**INGENIERO EN COMPUTACIÓN ESPECIALIZACIÓN
SISTEMAS MULTIMEDIA**

PRESENTADA POR:

Irene Meiying Cheung Ruiz

David Alonso Jurado Mosquera

**GUAYAQUIL - ECUADOR
2010**

AGRADECIMIENTO

A Dios.

A nuestros padres,

hermanos,

por su paciencia.

A nuestros profesores,

a Ph.D. Chiluiza por

brindarnos sus conocimientos

y en especial al MBA. Marcelo Loor

por su incondicional apoyo

y confianza en todo momento.

A nuestros amigos, y a todos

quiénes nos ayudaron

en la realización

de este trabajo.

DEDICATORIA

*A Dios,
a nuestros padres y hermanos
por poner sus esperanzas en nosotros y
ayudarnos siempre,
a todos nuestros amigos
por su ayuda incondicional y
a nuestros profesores
por sus consejos y buenos deseos.*

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN

PRESIDENTE

Ing. Jorge Aragundi

DIRECTOR DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

MBA. Marcelo Loor R.

MIEMBROS PRINCIPALES

Ph.D. Katherine Chiluzza

Ph.D. Xavier Ochoa

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad por los hechos, ideas y doctrinas expuestas en este trabajo, nos corresponden exclusivamente; y, el patrimonio intelectual de la misma, a la Escuela Superior Politécnica del Litoral”

(Reglamento de exámenes y títulos profesionales de la ESPOL)

Irene Meiyong Cheung Ruiz

David Alonso Jurado Mosquera

RESUMEN

Dentro de la carrera de ingeniería muy pocas veces encontramos espacios en los que se incentive a los estudiantes a integrar varias ramas del conocimiento. En una de las materias en la que se incentiva esto es “Emprendimiento e innovación tecnológica” ya que se pueden realizar proyectos interdisciplinarios y luego se complementa la parte tecnológica con la administrativa. Sin embargo, esto se lo hace una sola vez a lo largo de la carrera, y quedan muchos conocimientos e ideas sin explotar o pulir por la falta de tiempo.

Para mejorar el proceso de enseñanza-aprendizaje en la carrera de ingeniería proponemos la utilización de lo que hemos definido como OAFI. Un OAFI nace del concepto de un objeto de aprendizaje estándar, por lo que ha heredado las mismas características, de ser reusable, autodescriptionable, agrupable y autosuficiente, sin embargo, añade una característica especial, que es la integración de varias ramas de la ciencia.

Para lograr este objetivo de mejora al proceso de aprendizaje, a lo largo de este trabajo se desarrolla una metodología de construcción de OAFIs, la cual se utiliza para generar los prototipos y se procede a analizar los resultados de las pruebas correspondientes.

Este trabajo está dividido en 4 capítulos: en el primero hablaremos un poco del aprendizaje que hemos vivido como estudiantes y nuestra propuesta de OAFI, en el segundo capítulo definiremos los requerimientos que debe cumplir un OAFI y el proceso que conlleva su diseño y utilización en el aula de clases. Durante el capítulo 3 encontraremos la implementación de un OAFI y el desarrollo de los prototipos que hemos desarrollado en conjunto con la metodología aplicada en cada caso. Y en el capítulo 4 describiremos la metodología Cuasi-experimental aplicada para las evaluaciones y las pruebas estadísticas realizadas a las métricas definidas durante este capítulo. Finalmente, encontraremos las conclusiones de este trabajo y recomendaciones para futuros estudios.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTO	ii
DEDICATORIA	iii
TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN	iv
DECLARACIÓN EXPRESA	v
RESUMEN	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE ECUACIONES	xv
INTRODUCCIÓN	1
1. ¿CÓMO APRENDIMOS INGENIERÍA? VS ¿CÓMO NOS GUSTARÍA APRENDER INGENIERÍA?	3
2. ¿QUÉ PROPONEMOS? - LA ARQUITECTURA DE UN OAFI	8
2.1 Requerimientos funcionales y no funcionales de un OAFI.....	11
2.2 Esquema conceptual de un OAFI	13
2.3 Diagramas de Diseño	18
2.4 Métodos de Diseño.....	22
3. ¿CÓMO HACERLO? - LA IMPLEMENTACIÓN DE UN OAFI.....	27
3.1 Prototipo 1: OAFI en el curso de Dibujo Mecánico	28
3.1.1 Elegir Ciencias a Integrar	28
3.1.2 Escoger Conceptos a Evaluar	29
3.1.3 Variables a Medir	30
3.1.4 Diseño del Laboratorio	32

3.1.5	Diseño del Prototipo Físico	39
3.1.6	Diseño del Sistema de Adquisición de Datos y Control (SADC)	41
3.1.7	Documentación del prototipo y del SADC	51
3.1.8	Elaboración de la Evaluación	51
3.1.9	Empaquetamiento y Distribución.....	51
3.2	Prototipo 2: OAFI en el curso de Dinámica.....	52
3.2.1	Elegir ciencias a integrar	53
3.2.2	Escoger los conceptos a evaluar.....	54
3.2.3	Variables que se van a medir.....	55
3.2.4	Diseño del laboratorio	56
3.2.5	Diseño del prototipo Físico.....	61
3.2.6	Diseño de la aplicación del sistema de Adquisición de Datos y Control	62
3.2.7	Documentación del prototipo y del SADC	67
3.2.8	Elaboración de la Evaluación	67
3.2.9	Empaquetamiento y Distribución.....	67
3.3	Prototipo 3: OAFI en el curso de Mecánica de Maquinarias 1	68
3.3.1	Diseño del laboratorio	68
3.3.2	Diseño del prototipo Físico.....	71
3.3.3	Diseño de la aplicación del sistema de Adquisición de Datos y Control	73
3.3.4	Documentación del prototipo.....	73
3.3.5	Elaboración de la Evaluación	73
3.3.6	Empaquetamiento y Distribución.....	73

4. ¿FUNCIONA? – ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	74
4.1 Métodos Paramétricos vs no Paramétricos	77
4.2 Métricas para evaluar la efectividad del OAFI	79
4.3 Pruebas y Análisis	81
4.3.1 Prototipo 1	81
4.3.2 Prototipo 2.....	86
4.3.3 Prototipo 3.....	91
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
Anexos.....	
A. Laboratorio 1 - Anexo Teórico	
B. NxtCommunicator.cs	
C. Manual de Usuario del SADC – Prototipo I	
D. Evaluación – Prototipo I	
E. Manual de usuario del SADC	
F. Laboratorio Biela Manivela – Prototipo II.....	
G. Evaluación – Prototipo II	
H. Laboratorio Biela Manivela – Prototipo III.....	
Referencias Bibliográficas	

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Ejemplo de un OAFI integrando ramas de la ciencia.....	9
Figura 2.2 Cuadro sinóptico del contenido del Capítulo.....	10
Figura 2.3 Esquema conceptual de un OAFI	13
Figura 2.4 Componentes de un OAFI	15
Figura 2.5 Interacción interna de un OAFI durante su fase experimental	18
Figura 2.6 Ciclo de vida del OAFI expresado en un diagrama de estados ...	20
Figura 2.7 diagrama de secuencia sobre la interacción interna de un OAFI.	21
Figura 2.8 Diagrama de Bloques sobre el diseño de un OAFI.....	23
Figura 2.9 Pruebas de diseño de un OAFI.....	25
Figura 3.1 Funcionamiento de un sistema de engranajes	30
Figura 3.2 Proceso de desarrollo del Laboratorio - Prototipo I.....	33
Figura 3.3 Estructura de la Guía de Laboratorio – Prototipo 1.....	34
Figura 3.4 Tren de Engranaje	36
Figura 3.5 Prototipo físico- Caja de Cambios	40
Figura 3.6 Diseño del SADC - Prototipo I	42
Figura 3.7 Capa de comunicación – inicio de conexión	44
Figura 3.8 Capa de Comunicación - desconexión	45
Figura 3.9 Capa de comunicación - envío de mensajes	46
Figura 3.10 Capa de Comunicación - Recepción de mensaje	47
Figura 3.11 Capa de Interpretación – TraductorMensaje()	48
Figura 3.12 Interfaz el SADC	50

Figura 3.13 Mecanismo biela-manivela	54
Figura 3.14 Estructura de la Guía de Laboratorio - Prototipo 2	56
Figura 3.15 Proceso de desarrollo del laboratorio - Prototipo 2	57
Figura 3.16 Ejemplo de Gráfico generado por el prototipo físico	60
Figura 3.17 Prototipo 2 - Mecanismo biela manivela	61
Figura 3.18 Capa de Comunicación - Envío de mensaje prototipo 2	63
Figura 3.19 Capa de Interpretación - prototipo 2	65
Figura 3.20 Interfaz del SADC - prototipo 2	66
Figura 3.21 Estructura de la Guía de Laboratorio - Prototipo 3	69
Figura 3.22 Proceso de Desarrollo del Laboratorio - Prototipo III	70
Figura 4.1 Diseño de las pruebas	76
Figura 4.2 Resultados de las preguntas 1 y 2.....	82
Figura 4.3 Materias recomendadas por los estudiantes para utilizar OAFIs.	82
Figura 4.4 Resultados de la pregunta 3	83
Figura 4.5. Resultados de la pregunta 4	84

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1 Características de un OAFI.....	16
Tabla 3.1 Prototipo 1 - ciencias a integrar	28
Tabla 3.2 Prototipo 1 - conceptos a evaluar	29
Tabla 3.3 Prototipo 1 - Variables a medir.....	31
Tabla 3.4 Objetivos – Prototipo I.....	35
Tabla 3.5 Diseño de la Fase Teórica – Prototipo I.....	35
Tabla 3.6 Diseño de la Fase Experimental - Prototipo I.....	38
Tabla 3.7 Comandos utilizados.....	43
Tabla 3.8 Prototipo 2 - Ciencias a integrar.....	53
Tabla 3.9 Prototipo 2 - Conceptos a evaluar.....	54
Tabla 3.10 Prototipo 2 - Variables a medir.....	55
Tabla 3.11 Objetivos del prototipo 2	58
Tabla 3.12 Metodología para realizar la práctica	58
Tabla 4.1 Estadística Descriptiva – Grupo de Control	86
Tabla 4.2 Estadística Descriptiva – Grupo Experimental	86
Tabla 4.3 Rangos con signo de la prueba de Wilcoxon – Grupo de Control.	87
Tabla 4.4 Prueba Estadística de Wilcoxon – Grupo de Control	88
Tabla 4.5 Rangos con signo de la prueba de Wilcoxon – Grupo Experimental	88
Tabla 4.6 Prueba Estadística de Wilcoxon – Grupo Experimental.....	89

Tabla 4.7 Estadística Descriptiva.....	90
Tabla 4.8 Rangos con signo de la prueba de Mann Whitney U	90
Tabla 4.9 Prueba Estadística de Mann Whitney U.....	90
Tabla 4.10 Estadística Descriptiva – Grupo de Control	92
Tabla 4.11 Estadística Descriptiva – Grupo Experimental	92
Tabla 4.12 Rangos con signo de la prueba de Wilcoxon – Grupo de Control	93
Tabla 4.13 Prueba Estadística de Wilcoxon – Grupo de Control	94
Tabla 4.14 Rangos con signo de la prueba de Wilcoxon – Grupo Experimental	94
Tabla 4.15 Prueba Estadística de Wilcoxon – Grupo Experimental.....	95
Tabla 4.16 Estadística Descriptiva.....	95
Tabla 4.17 Rangos con signo de la prueba de Mann Whitney U	96
Tabla 4.18 Prueba Estadística de Mann Whitney U.....	96

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 3.1	31
Ecuación 3.2	31
Ecuación 3.3	32
Ecuación 3.4	36
Ecuación 3.5 Transmisión a través del número de vueltas.....	38
Ecuación 3.6 Desplazamiento del Pistón	59
Ecuación 3.7 Velocidad del Pistón.....	59

INTRODUCCIÓN

Durante nuestra carrera ingenieril encontramos pocos incentivos para la integración de conocimientos. Por ejemplo, creemos que una manera de mejorar el aprendizaje de la materia Fundamentos de Robótica es enseñarlo en conjunto con conocimientos de construcción de mecanismos básicos, de manera que al estudiante aplique lo aprendido en la construcción de los prototipos desarrollados, así también como aplicar algoritmos de Inteligencia Artificial cuando esta es una ciencia que está siendo ampliamente utilizada en la robótica. De esta manera el alumno no solo se enfocaría en una sola rama sino que estuviera entusiasmado por aprender y/o afianzar conocimientos.

Con el propósito de mejorar el proceso de aprendizaje en ingeniería, decidimos realizar el análisis, diseño y construcción de un objeto de aprendizaje que permita la integración de varias ramas del conocimiento, el cual hemos denominado Objeto de Aprendizaje Funcional Integrador (OAFI).

Un OAFI nace del concepto de un objeto de aprendizaje estándar, por lo que ha heredado las mismas características de ser reusable, auto descriptible, agrupable y autosuficiente; sin embargo añade una característica especial que es la integración de varias ramas de la ciencia, como lo podremos ver a lo largo de este trabajo.

El método de diseño que hemos utilizamos para la implementación de un OAFI es el “Prototipado Incremental”, ya que no contamos con todos los requerimientos funcionales y no funcionales con los que debe cumplir un OAFI. El objetivo de utilizar este método es evaluarlo y realizarle mejoras hasta encontrar un prototipo que produzca una eficacia en el aprendizaje.

El grado de eficacia está definido por métricas las cuales estarán enfocadas en la capacidad de integración de conocimientos y mejoras en el aprendizaje de conocimientos no integrados. Posteriormente, con los resultados obtenidos podremos establecer una metodología de construcción de OAFIs.

CAPÍTULO 1

1. ¿CÓMO APRENDIMOS INGENIERÍA? VS ¿CÓMO NOS GUSTARÍA APRENDER INGENIERÍA?

A lo largo de nuestra carrera en más de una ocasión fuimos parte de clases en donde el profesor explicaba los conceptos y luego desarrollaba ejercicios para poder reforzar esos conceptos. Por ejemplo las clases de “Cálculo II” en donde se explicaba mediante gráficos en el pizarrón los conceptos de gradiente. En “Física I” se enseñaban de igual manera los conceptos de movimiento circular uniforme e incluso en la clase de “Estadísticas” cuando nos explicaban los conceptos de determinación de datos aberrantes.

Cada uno de los conceptos mencionados fue aprendido de manera aislada para poder ser fácil de comprender. En algunas materias esa puede ser la mejor estrategia para poder entender mejor esos conceptos y así obtener mejores resultados. Si se está tomando Cálculo II posiblemente los

estudiantes desconozcan que los conceptos aprendidos son la base de los gráficos por computadora y tampoco es necesario que todos lo sepan ya que no todos los alumnos siguen la misma rama de ingeniería y podría llegar a ser confuso.

El método descrito anteriormente es muy similar al Método Pasivo¹, el cual se enfoca en una actitud activa del profesor y una actitud pasiva por parte de los estudiantes, los cuales solo permanecen receptando lo que el profesor enseñe.

“Frutos de este método son la multitud de estudiantes y profesionales sin aptitudes específicas de iniciativa y creatividad, que los hacen prácticamente nulos en ciertos trabajos y profesiones.”²

Uno de los problemas de este tipo de enseñanza es que limitan el aprendizaje interdisciplinario, la innovación y la integración de conocimientos, de tal manera que el estudiante pueda sentirse capaz de resolver problemas de manera más ingenieril y utilizando todas las herramientas y conceptos aprendidos en la carrera.

¹ Método Pasivo: Métodos de Enseñanza:
http://www.canalsocial.net/GER/ficha_GER.asp?id=5506&cat=educacion

² Esta frase ha sido tomada de:
http://www.canalsocial.net/GER/ficha_GER.asp?id=5506&cat=educacion, 06/Dic/2009

Actualmente existen varias propuestas para poder mejorar el aprendizaje en el área de la ingeniería y las ciencias exactas. A continuación mencionamos algunas:

- En la universidad “Joanneum University of Applied Sciences” de Graz – Austria se emplea una propuesta denominada Aprendizaje basado en proyectos (PBL) (1), en donde se trata de motivar a los estudiantes a que apliquen conocimientos teóricos lo más pronto posible. Primero proponen un conjunto de proyectos, en los cuales los estudiantes necesitan de diferentes conocimientos, como matemáticas, mecánica y electrónica, para poder resolver estos problemas. Luego los estudiantes implementan soluciones y estas son comparadas al final del semestre, haciendo que las soluciones sean cada vez más competitivas y promoviendo el espíritu emprendedor e investigativo de los estudiantes.
- La Universidad Politécnica de Valencia se ha desarrollado el Plan de Docencia en Red (2), el cual busca utilizar las TICs en la docencia mediante la creación de un repositorio de Objetos de Aprendizaje (OA) de calidad que puedan ser compartidos por todos los profesores de esta universidad y accedidos desde internet por los estudiantes a través de una plataforma que permite integrar videos, laboratorios, diapositivas, haciendo que el proceso sea interactivo y enriquecedor.

Nosotros proponemos la utilización, en las aulas de clases, de lo que hemos definido como Objeto de Aprendizaje Funcional Integrador (OAFI). El cual pretende convertir la clase inicialmente teórica, en una de tipo práctica, permitiendo a los estudiantes aprender los conocimientos teóricos mediante un prototipo funcional que demuestre la teoría mediante la práctica comparando resultados. Logrando convertir a los estudiantes en entes activos dentro de la clase y al profesor en una guía para entender mejor los conocimientos adquiridos.

Un OAFI siendo un OA se comporta de manera similar, es decir; es reusable, auto descriptible, agrupable y autosuficiente, pero además añade una característica importante, la integración de varias ramas de la ciencia, permitiendo que cada una de estas ramas aporte con un concepto o conocimiento para la resolución de un problema.

Dentro de este trabajo definimos las características, diseño y metodología de construcción que cada uno de los OAFIs debe cumplir para que se pueda soportar de manera adecuada el aprendizaje de los conceptos enseñados. Además de definir métricas para evaluar la eficacia de un OAFI en el aprendizaje en dos aspectos en particular:

- Capacidad de integración de conocimientos para resolver problemas complejos.

- Mejorar el aprendizaje de conocimientos no integrados, es decir; conceptos simples.

Esto permitirá, dependiendo de la eficacia de los OAFIs, que se mejore el proceso de enseñanza-aprendizaje en la ESPOL siguiendo o mejorando la metodología propuesta para construir más OAFIs formando así un repositorio de los mismos.

CAPÍTULO 2

2. ¿QUÉ PROPONEMOS? - LA

ARQUITECTURA DE UN OAFI

Como mencionamos en el capítulo anterior nuestra propuesta es utilizar lo que hemos definido como un OAFI. Un OAFI extiende del concepto de un objeto de aprendizaje (OA) estándar (3), por lo que ha heredado las mismas características, de ser reusable, auto-descriptivo, agrupable y autosuficiente, sin embargo, añade una característica especial, que es la integración de varias ramas de la ciencia, como lo veremos a continuación:

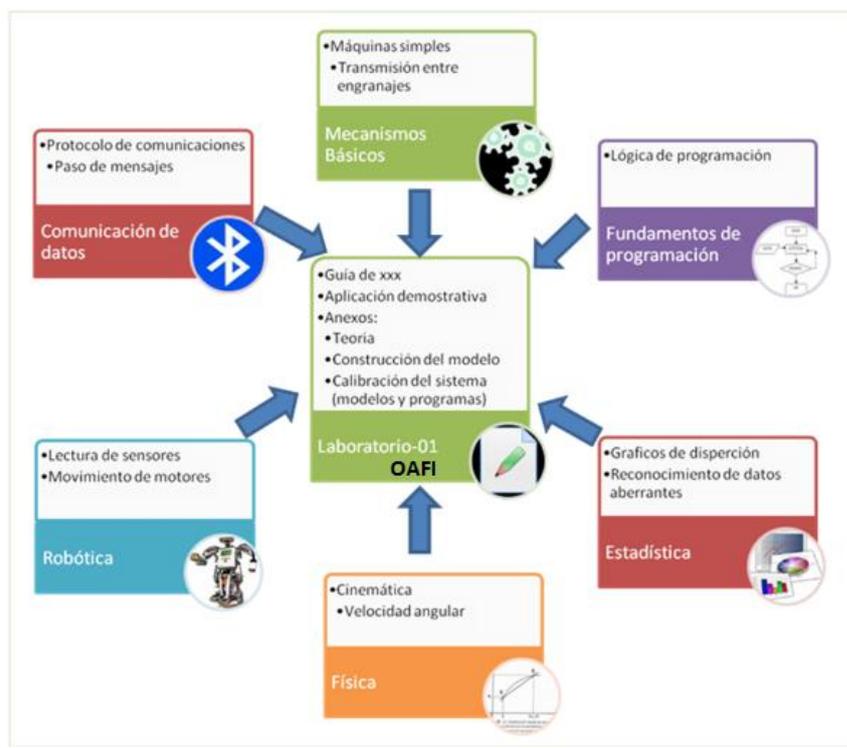


Figura 2.1 Ejemplo de un OAFI integrando ramas de la ciencia

En la Figura 2.1 mostrada, vemos un esquema de las diferentes ramas que pueden formar parte de un OAFI, donde el Laboratorio-01 es el OAFI y Mecanismos básicos, Fundamentos de programación, Estadística, Física, Robótica y Comunicación de datos son las ramas que dan soporte al OAFI, tanto para su construcción, como para la utilización del mismo en el aula de clases.

Cada una de las ramas aporta con un concepto utilizado dentro del OAFI, de tal forma que pueden ser integrados fácilmente. Así tenemos, los conceptos

de transmisión entre engranajes, estos nos sirven para el cálculo de velocidades en las partes móviles, el reconocimiento de datos aberrantes para obtener datos útiles y poder realizar cálculos más precisos en el sistema. La aplicación de adquisición de datos y control nos ayudará para el manejo del prototipo funcional.

Dado el funcionamiento que proponemos del OAFI y los objetivos a los cuales queremos llegar, detallamos los requerimientos que debe cumplir un OAFI así como esquemas y diagramas que nos explicarán de mejor forma la arquitectura y funcionamiento de un OAFI. A continuación un cuadro sinóptico de la información que contiene cada una de las secciones de este capítulo.

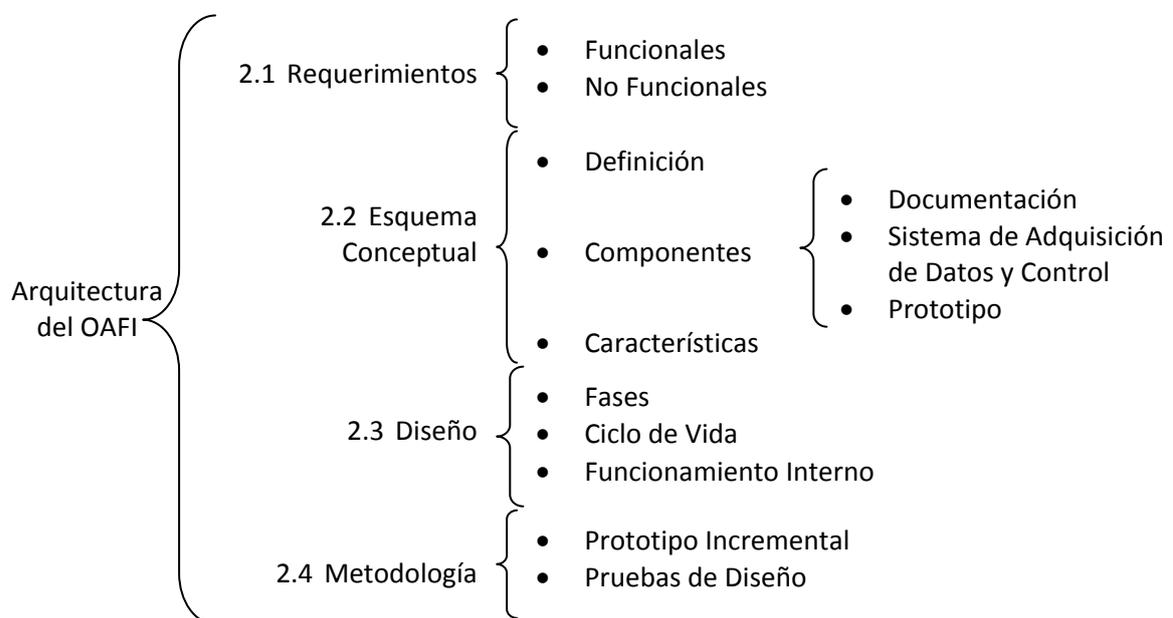


Figura 2.3 Cuadro sinóptico del contenido del Capítulo

2.1 Requerimientos funcionales y no funcionales de un OAFI

Para que un OAFI cumpla con el objetivo de mejorar el aprendizaje mediante la integración de conocimientos, consideramos necesario que cumpla con ciertos requerimientos:

- Integrador.- un OAFI debe poseer por los menos 2 áreas de conocimiento.
- Prototipable.- un OAFI debe poseer un prototipo físico.
- Controlable.- un OAFI debe permitir controlar el prototipo físico mediante un sistema de control.
- Medible.- un OAFI debe ser capaz de medir algo mediante el prototipo.
- Auto-descriptivo.- un OAFI no necesita de otros OAFIs (3) para poderse utilizar o entender.
- Reproducibles.- Es decir debe proveer guías de construcción y de apoyo para poder construir un OAFI desde cero.
- Reusables.- pueden ser empleados en diferentes contextos (3).

Además, existen ciertas características que deben ser tomados en cuenta para la correcta funcionalidad de un OAFI y estas son:

- Transportable.- Deben ser unidades de tamaño pequeño que le permitan ser portables de lugar.

- Facilidad de conexión-uso.- Es decir, que para que se pueda usar el prototipo solo es necesario conectarlo.
- Sencillo.- Las guías que proporcionare el OAFI deben ser fácilmente entendibles para trabajar.
- Poseer un sistema de control y/o adquisición de datos.- para automatizar el proceso de medición de las variables a evaluar en el prototipo físico.
- Documentación.- Debe proveer guías de apoyo como el laboratorio de experimentación así también manuales de construcción y manejo tanto del prototipo como del sistema de control.
- Accesible.- Debe poseer información descriptiva (metadata) fácilmente interpretada de manera que sea encontrada rápidamente en los repositorios de objetos de aprendizaje.
- Corta duración.- La utilización de un OAFI debe durar no más de 45 minutos.

2.2 Esquema conceptual de un OAFI

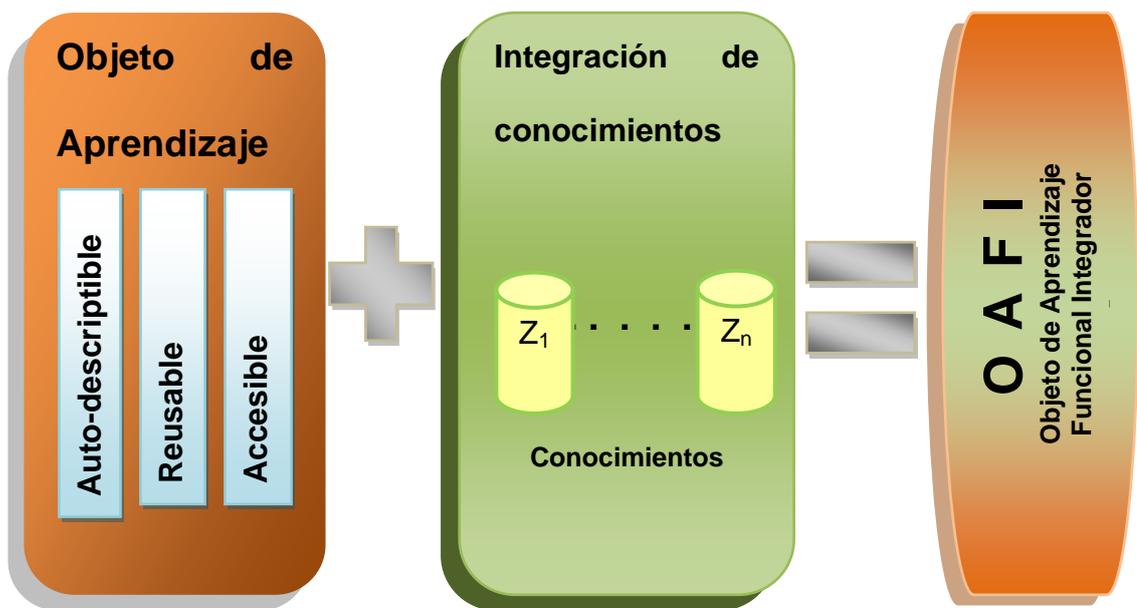


Figura 2.4 Esquema conceptual de un OAFI

Un OAFI nace de dos conceptos, el primero que representa sus raíces como Objeto de aprendizaje y el segundo que es la integración de conocimientos (como vemos en la Figura 2.4). El haber separado la “integración de conocimientos” en un concepto aparte es debido a que integrar varias ramas de conocimiento agrega una complejidad adicional a un objeto de aprendizaje. Un mal manejo de la integración en un Objeto de aprendizaje puede producir que el aprendizaje no se logre y se vuelva confuso. Es por ello que hemos considerado importante la creación de un OAFI, es decir

integrar ciencias mediante un objeto de aprendizaje para satisfacer la necesidad de un aprendizaje más efectivo.

En un OAFI se pueden identificar tres componentes principales: documentación, un sistema de adquisición de datos y control, y un prototipo físico (Figura 2.4).

- La documentación representa el material de apoyo para la construcción y uso del OAFI. Dicho material está constituido por guías de laboratorio, guías de construcción y una evaluación.
- El prototipo físico es el elemento motivador en el aprendizaje (4). Es por ello que hemos considerado que la creación de un prototipo físico es fundamental como parte de un OAFI.
- Un sistema de adquisición de datos y control es lo que necesitará el prototipo físico para que lo maneje y muestre los datos o mediciones adquiridos por este. La función principal del sistema de adquisición de datos y control es la de facilitar la toma de datos experimentales para su posterior interpretación y/o procesamiento.

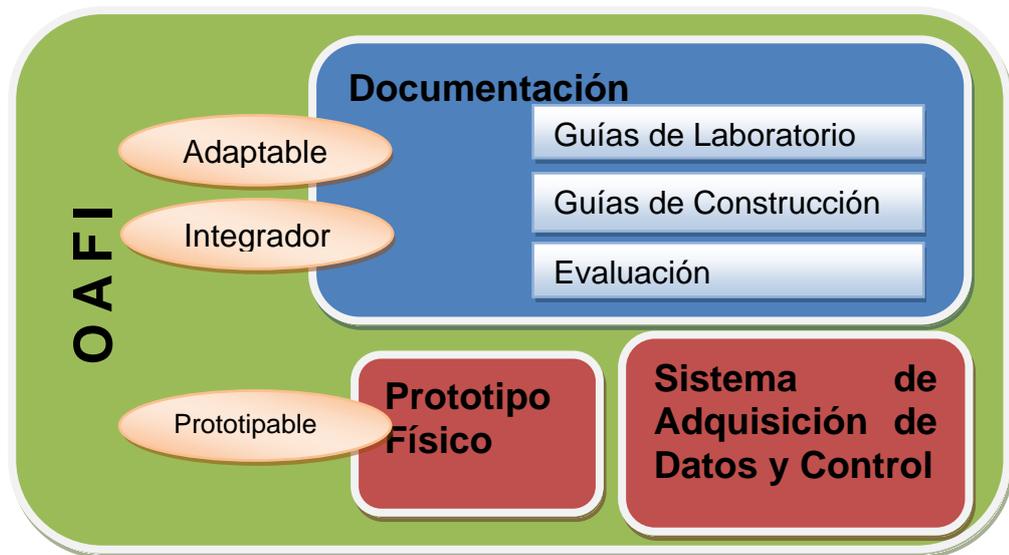


Figura 2.4 Componentes de un OAFI

Con lo visto anteriormente (Figura 2.3 y 2.4), podemos definir las características que posee un OAFI en la siguiente tabla:

OAFI	Características de un OA	Características	Descripción
		Auto-descriptible	Cada OA se explica así mismo
		Accesible	Contiene Información descriptiva que le permitirá ser fácilmente encontrada
		Agrupable	Un OA puede ser usado en conjunto con otros OAs.
	Reusable	Un OA puede ser enfocado a diferentes grupos de alumnos	
	Características Adicionales	Integrador	Hace uso de 2 o más ramas de la ciencia
		Prototipable	Hace uso de un prototipo físico-funcional

Tabla 2.1 Características de un OAFI

En un OAFI la característica de ser auto-descriptivo se mantiene como en un OA, es decir que un OAFI se expresa por si solo sin depender de otros.

El poder usar un OA en conjunto con otros OAs, tiene que ver con la característica de agrupabilidad, sin embargo esta característica se extiende

al momento de hablar de un OAFI ya que en un único OAFI puede integrarse varios conceptos y este puede ser utilizado por diferentes grupos de alumnos los cuales se especialicen en alguna de las ramas de conocimiento que posea el OAFI, lo cual también lo hace reusable. Por ejemplo un OAFI que integre estadísticas, mecánica y computación, puede ser aplicado a estudiantes de la facultad de Estadísticas o a estudiantes de Mecánica o simplemente a estudiantes de Computación. De esta forma, el estudiante de Estadísticas pudiese obtener nuevos conocimientos y además aplicar los conceptos estadísticos a las otras ramas integradas en el OAFI.

La accesibilidad en un OA se refiere a la información descriptiva que le permitirá ser fácilmente encontrado en un repositorio de OA, de igual manera un OAFI puede ser accesible en dichos repositorios.

La Integración de conocimiento es la parte principal de un OAFI, se refiere a que utilizando varios conceptos de diferentes ramas del conocimiento se pueden explicar de manera práctica cada uno de los conceptos que se desea enseñar mediante el OAFI.

Y Finalmente, la característica que hace que un OAFI sea funcional es la capacidad de ser prototipable ya que se manifiesta con un prototipo físico, el cual a través de un Sistema de Adquisición de Datos y Control nos permite obtener los datos que posteriormente nos servirán para afianzar los conocimientos mediante la comparación de resultados teóricos y prácticos.

2.3 Diagramas de Diseño

Como observamos en la Figura 2.4 encontramos los componentes de un OAFI los cuales se dividen en 3 partes: documentación, prototipo y sistema de control. El diseño de los 3 componentes del OAFI deberá cumplir 3 fases fundamentales para el aprendizaje del contenido cognoscitivo del OAFI. La primera fase se basa en desarrollar mediante fórmulas y cálculos teóricos la información que solicite en la Guía de Laboratorio (Documentación).

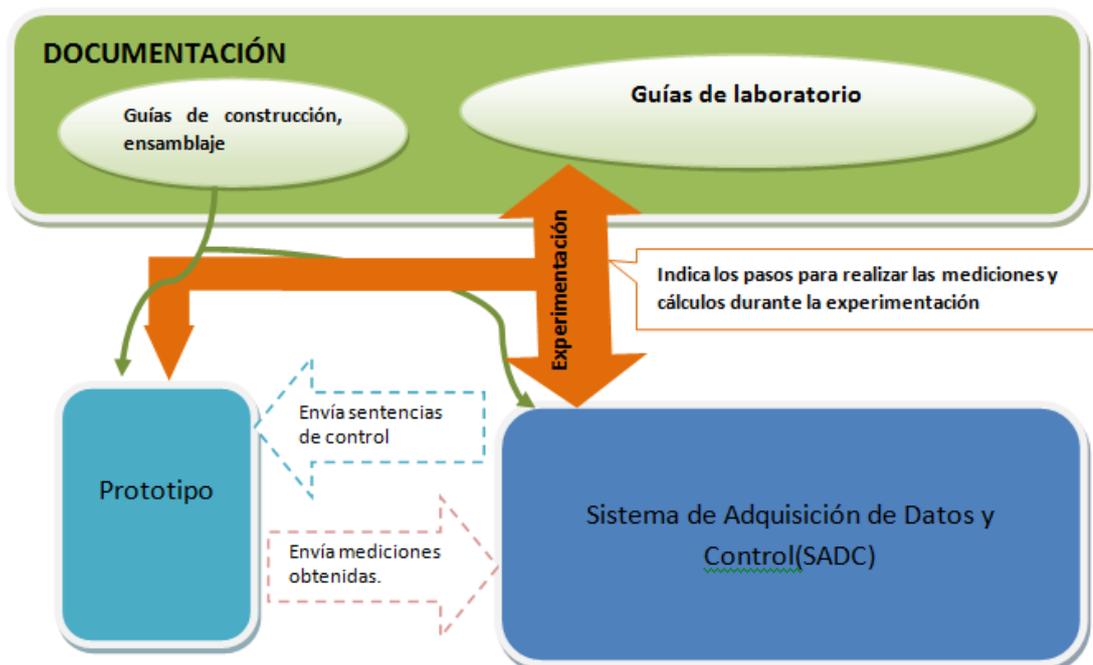


Figura 2.5 Interacción interna de un OAFI durante su fase experimental

Debido a que el OAFI está constituido por una parte Funcional, este se haya representado en la segunda fase, la fase Experimental (Figura 2.5). Dicha fase comprende la utilización del Sistema de Adquisición de Datos y Control

(SADC) junto con el prototipo para obtener mediciones. En la guía de laboratorio se indican los pasos y cálculos que habrá que realizar con el prototipo y el SADC para obtener los resultados experimentales.

La tercera fase es la fase de Análisis y Evaluación. El Análisis es en donde se comparan los resultados obtenidos tanto teóricos como experimentales, para así obtener conclusiones. La Evaluación es lo que permitirá al docente evaluar los conceptos aprendidos por los alumnos. El componente de la Documentación (guía de laboratorio y evaluación) es la encargada de cumplir esta fase.

A continuación detallaremos el ciclo de vida de un OAFI mediante un diagrama de estados:

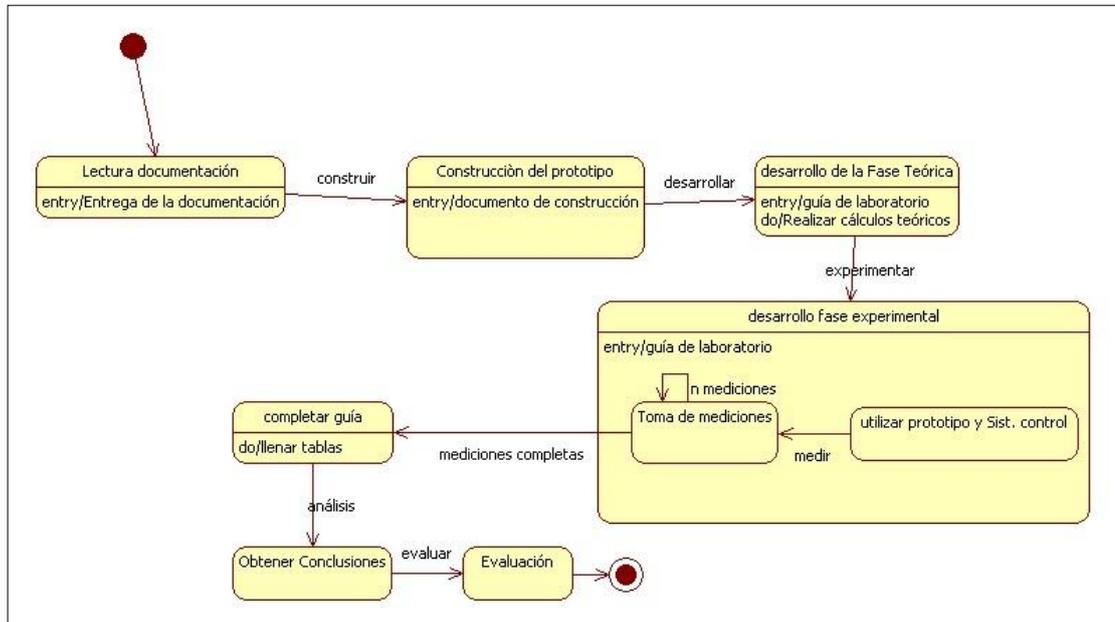


Figura 2.6 Ciclo de vida del OAFI expresado en un diagrama de estados

Como observamos en la Figura 2.6 el ciclo de vida de un OAFI inicia con la lectura de la guía de construcción y de la guía de laboratorio que servirá de preparación para el alumno con respecto al desarrollo del OAFI. Luego con lo preparado en el estado anterior se prosigue a la construcción del prototipo el cual se haya señalado en el documento de construcción. El desarrollo de la fase teórica y de la fase experimental, serán las bases con el cual se podrá completar la guía para así poder realizar un análisis de los datos y obtener conclusiones. Como estado final se encuentra la evaluación que pondrá a prueba los conocimientos adquiridos por el alumno a través de la experiencia con el OAFI.

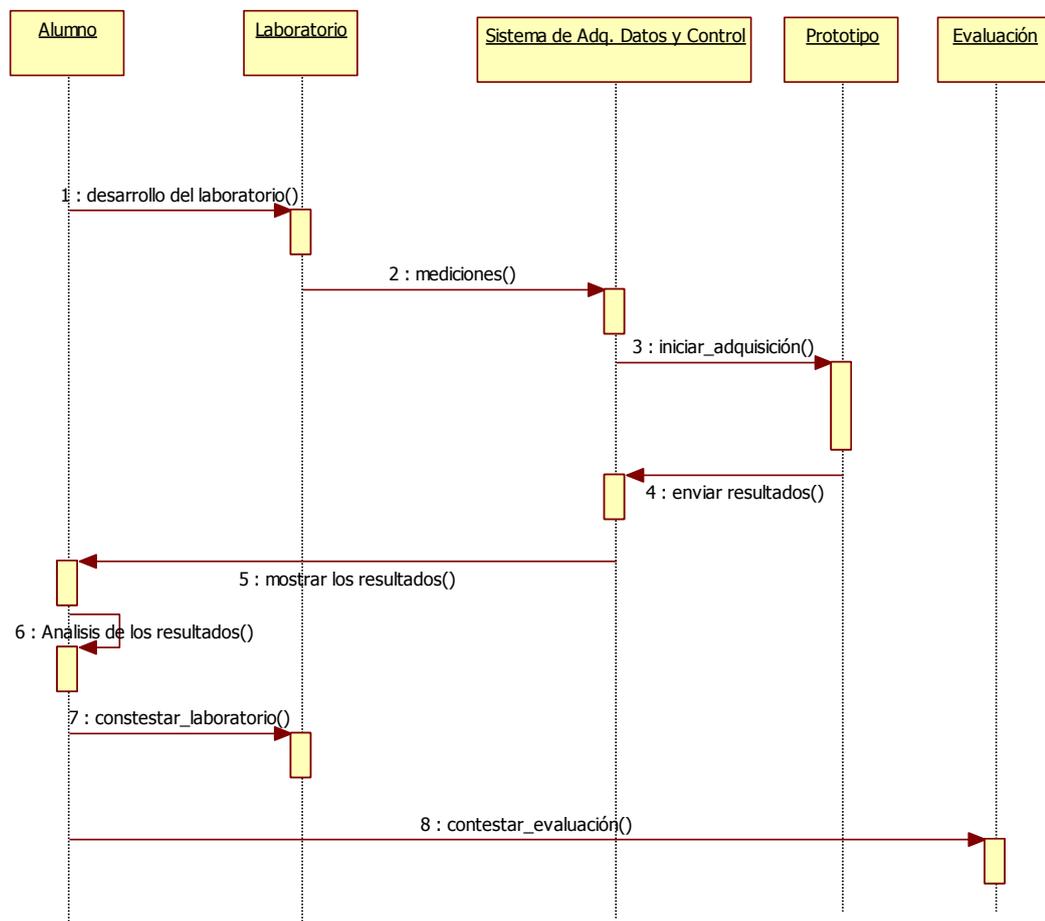


Figura 2.7 diagrama de secuencia sobre la interacción interna de un OAFI

Ahora entendamos como funciona internamente un OAFI (Figura 2.7). Encontramos el objeto alumno que interactúa con las guías para el desarrollo del laboratorio, dichas guías dan la pauta sobre que mediciones realizar al sistema de control y este a su vez enviarle ordenes al prototipo para iniciar la adquisición de datos. Posteriormente el prototipo envía los resultados al sistema de control, el cual mostrará al alumno los datos,

finalmente el alumno interpretara estos datos y contestará el laboratorio según este le diga. Recordemos que esta interacción puede repetirse durante el ciclo de vida del OAFI, según fuese necesario.

2.4 Métodos de Diseño

Como lo indicamos anteriormente, el método de diseño que hemos utilizado para crear un OAFI es el “Prototipado Incremental”, ya que este método nos permite incluir características a medida que vamos desarrollando el OAFI, obteniendo al final un OAFI más completo y eficaz en el aprendizaje. A continuación mostramos 2 diagramas que nos detallarán cual es la metodología que recomendamos seguir para la diseñar un OAFI.

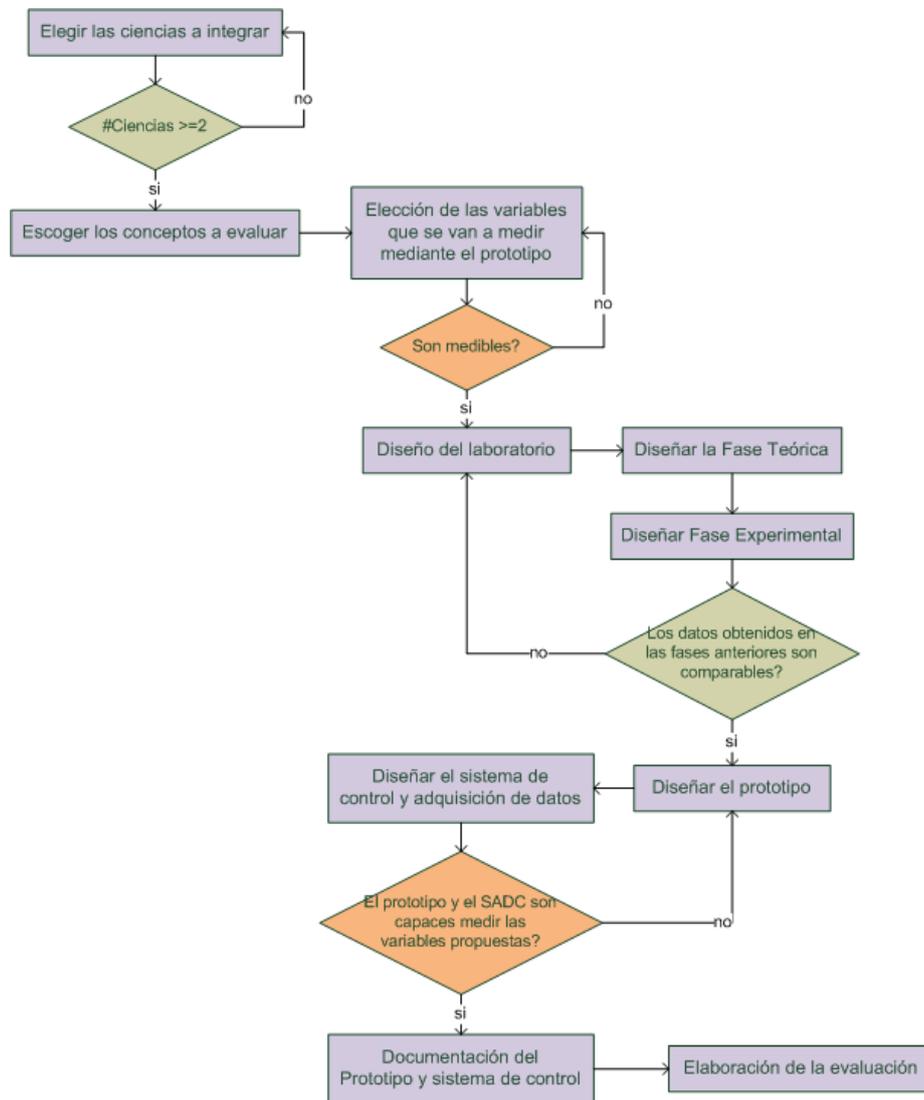


Figura 2.8 Diagrama de Bloques sobre el diseño de un OAFI

En el diagrama de bloques (Figura 2.8), nos muestra cual es el proceso para el diseño de un OAFI. En primera instancia está la elección de las ciencias a integrar, este es un proceso fundamental del diseño de un OAFI, ya que en esto se basará la construcción del mismo. Una vez elegidas dichas ciencias, se escogen los conceptos más representativos que se quieren enseñar.

Dichos conceptos se reflejarán al momento de diseñar el prototipo y al final durante la evaluación. En el siguiente paso se encuentra la experimentación por lo que es necesario elegir las variables a medir. Una vez identificado todo el material teórico básico que manejará el OAFI, se procede al diseño del laboratorio y material de documentación (guías de laboratorio y evaluación), aquí se debe poner en orden las ideas, además que su contenido debe ser lo más claro y conciso posible. Una vez terminado y teniendo en cuenta las variables a medir, diseñamos el prototipo físico en conjunto con el SADC que va a interactuar con el prototipo. Dicho prototipo debe cumplir con la funcionalidad de adquirir los datos que se definieron como variables a medir; si cumple con lo anterior, se procede a documentar mediante la guía de construcción y el manejo del sistema de control.

Luego se deben realizar las guías de laboratorio teniendo en cuenta las características de “Sencillez” y “Corta duración” que se mencionaron anteriormente. La estrategia de desarrollo de estas guías pueden determinar el éxito o fracaso de la experimentación, ya que si son complicadas de entender o toman demasiado tiempo para terminarlas, los alumnos pueden llegar a perder el interés en la práctica. En el siguiente capítulo mencionaremos las estrategias que se implementaron en cada prototipo.

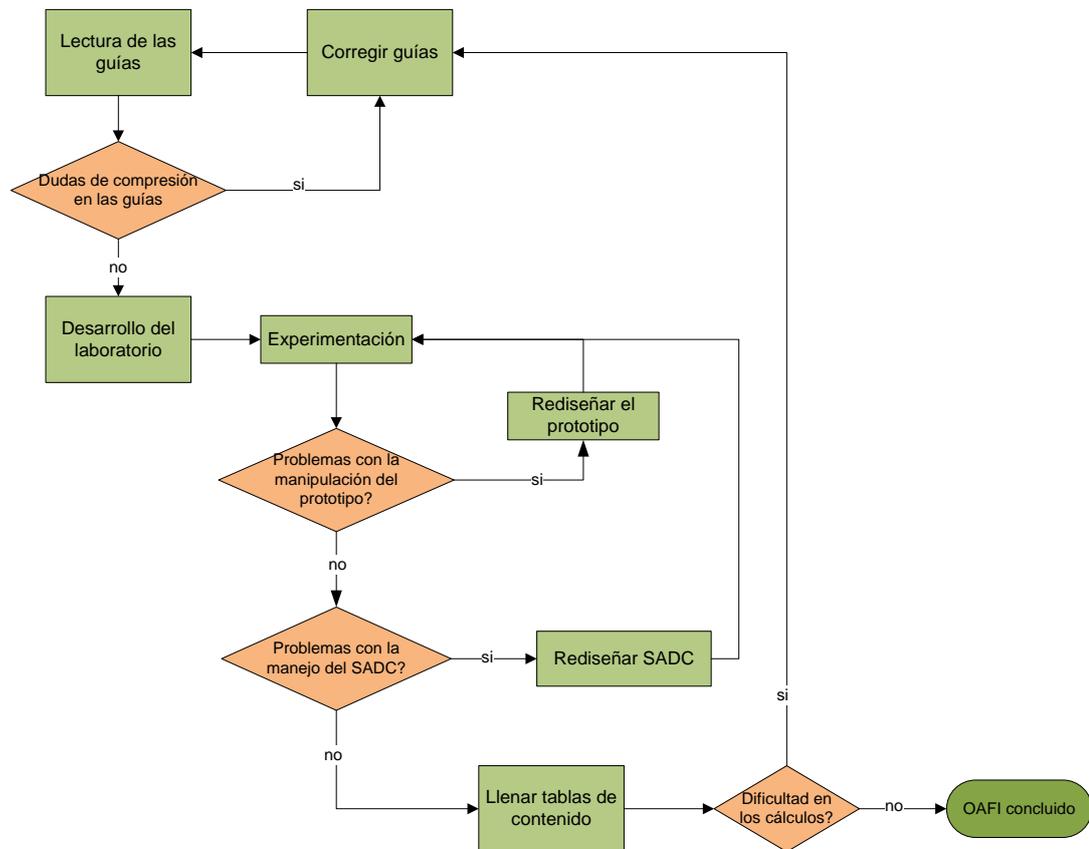


Figura 2.9 Pruebas de diseño de un OAFI

Para probar si nuestro OAFI fue generado exitosamente, sugerimos en la Figura 2.9 un diagrama de flujo de pruebas del diseño del OAFI.

En primera instancia tenemos una lectura de las guías, donde el parámetro a evaluar es la comprensión del mismo; si hay dudas se procede a una corrección de las guías, si no se continúa con el desarrollo del laboratorio y con la experimentación, es decir; con el uso del prototipo y del SADC. Aquí se pregunta si hubieron problemas en el manejo del prototipo para conocer si cumple con el requerimiento de “Facilidad de

conexión-uso”, es decir que sea fácilmente de instalar y utilizar, si existen complicaciones se procede a rediseñar el prototipo, luego se verifica si el SADC tuvo fallas de software o de usabilidad, en tal caso se procede de igual manera a rediseñar este.

Una vez que ya no existan tales problemas, se procede a llenar las tablas de contenido para verificar la dificultad en los cálculos, esto puede suceder en el caso de que las fórmulas que se utilicen requieran de una variable difícil de adquirir, en tal caso, se procede a la corrección de dicha parte en la guía del laboratorio. Una vez terminado todo esto, podemos decir que nuestro OAFI está listo para usarse.

CAPÍTULO 3

3. ¿CÓMO HACERLO? - LA

IMPLEMENTACIÓN DE UN OAFI

Poniendo en práctica la metodología de diseño descrita en el capítulo 2, se realizaron tres prototipos de forma secuencial y utilizando la retroalimentación obtenida en las pruebas de cada uno de estos, se pudo corregir las fallas encontradas y agregar nuevas características.

El diseño de un OAFI responde a un prototipado incremental, permitiendo tener un OAFI final mejor elaborado que un OAFI de primera versión. La implementación de cada uno de estos prototipos lo detallamos a continuación.

3.1 Prototipo 1: OAFI en el curso de Dibujo Mecánico

El diseño del prototipo 1 fue desarrollado usando la metodología de diseño propuesta en 2.4, en las siguientes secciones se irá desarrollando cada fase que corresponden a la implementación del OAFI.

3.1.1 Elegir Ciencias a Integrar

De acuerdo a los requerimientos funcionales de 2.1 para que el OAFI sea *Integrador* es necesario que posea 2 o más áreas del conocimiento. Para ello se eligió utilizar Mecánica junto con Física Experimental (Tabla 3.1).

#	Ciencia	Aporte al OAFI
1	Mecánica	Interacción física Aplique conocimientos de transmisión
2	Física Experimental	Análisis de los datos

Tabla 3.1 Prototipo 1 - ciencias a integrar

La primera fue elegida por permitir mayor interactividad al estudiante y también por contener conocimientos físico-matemático útil para que el estudiante asocie sus conocimientos anteriores con la actividad física. Y la segunda ciencia fue escogida para el análisis de los datos experimentales a adquirir con el prototipo físico.

3.1.2 Escoger Conceptos a Evaluar

A partir de las ciencias elegidas, se propuso desarrollar un OAFI que muestre el funcionamiento de una *caja de cambios*, para demostrar los conceptos de transmisión de engranajes y obtener el error experimental de los datos; los cuales corresponden a Mecánica y Física Experimental respectivamente (Tabla 3.2).

#	Ciencia	Conceptos a Evaluar	Tema Principal
1	Mecánica	Transmisión de Engranajes	Caja de Cambios
2	Física Experimental	Error Experimental	

Tabla 3.2 Prototipo 1 - conceptos a evaluar

Breve descripción de los conceptos a Evaluar

Una caja de cambios está compuesta por engranajes (6) que son ruedas dentadas cuya función es transmitir movimiento y potencia. Su principal efecto palpable es visto en relación a la velocidad del engrane entrante versus el engrane de salida (Figura 3.1), por ejemplo si se introduce una velocidad constante al inicio del sistema, la velocidad de salida puede ser variada por efecto de los engranajes y producir una velocidad mayor o menor. De esta manera funcionan las cajas de cambio permitiendo al conductor poder variar entre velocidades una tras otra.

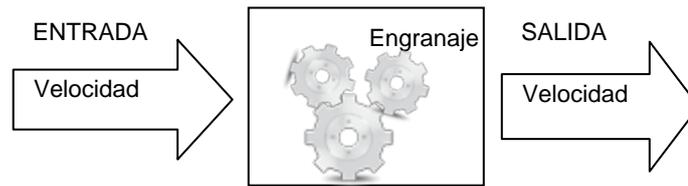


Figura 3.1 Funcionamiento de un sistema de engranajes

Debido a que se utilizó un SADC³ para adquirir los datos medidos por el prototipo físico, era necesario encontrar el error relativo de nuestras mediciones y poder definir la exactitud de medición del prototipo.

El error experimental puede ser expresado de manera relativa y absoluta, conceptos que la Física experimental utiliza para determinar la precisión por el cual se elegirá uno que otro instrumento u método (7).

3.1.3 Variables a Medir

Como se definió anteriormente los engranajes sirven para transmitir potencia y velocidad, y para poder medirla se lo realizará de dos formas, uno a través de la velocidad angular⁴ y el otro mediante el número de dientes que posea el engrane.

³ SADC: Sistema de Adquisición de Datos y Control

⁴ Velocidad Angular: Es una medida de velocidad de rotación. Se la define como el ángulo girado por unidad de tiempo y se la designa mediante la letra griega ω . Su unidad en el S.I. es el radián por segundo (rad/s).

< http://es.wikipedia.org/wiki/Velocidad_angular>[Citado el 28 de Febrero 2010]

#	Ciencia	Conceptos a Evaluar	VARIABLES a medir
1	Mecánica	Transmisión de Engranajes	<ul style="list-style-type: none"> • Velocidad Angular • Número de dientes
2	Física Experimental	Error Experimental	Error relativo

Tabla 3.3 Prototipo 1 - Variables a medir

Descripción del procedimiento a seguir para las mediciones

Para obtener la transmisión mediante la velocidad angular, se medirá la velocidad angular de la rueda conductora y la rueda conducida. Para este caso se utilizará la fórmula de transmisión (8) como se muestra:

$$\tau = \frac{\omega_{conducido}}{\omega_{conductor}}$$

Ecuación 3.1

Donde ω es la velocidad angular y τ es la relación de transmisión.

La transmisión medida por el número de dientes es muy similar a la anterior y está dada por la siguiente fórmula (8) :

$$\tau = \frac{Z_{conductor}}{Z_{conducido}}$$

Ecuación 3.2

Donde z es el número de dientes del engrane o rueda. Otra de las variables que se quiere obtener mediante este OAFI es el error relativo (7) para determinar que tan precisos fueron los datos obtenidos. Para ello utilizamos la siguiente fórmula:

$$\varepsilon = \left| \frac{x - x_0}{x_0} \right|$$

Ecuación 3.3

Donde x es el valor medido, x_0 es el valor exacto o real y ε es el error relativo.

3.1.4 Diseño del Laboratorio

La guía de laboratorio es uno de los materiales de apoyo que forma parte de la fase de Documentación del OAFI descrita en el capítulo 2.

Descripción del proceso de desarrollo del laboratorio:

Para el desarrollo de este laboratorio, se divide a los estudiantes en grupos (el número de estudiantes por grupo lo decide el profesor), a cada grupo se le entrega la guía de laboratorio. El profesor interactúa con el prototipo físico

y los grupos observan y desarrollan el laboratorio como es indicado en la guía.

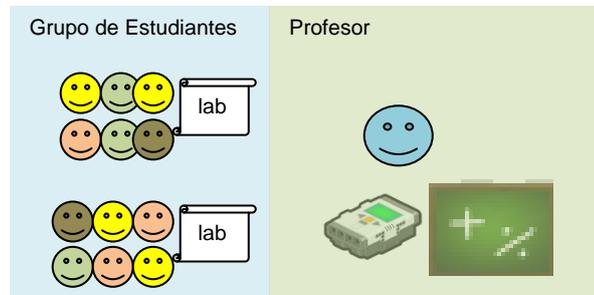


Figura 3.2 Proceso de desarrollo del Laboratorio - Prototipo I

Esta guía comprende de los siguientes componentes: Objetivos, Fase Teórica y Fase Experimental. A continuación se muestran estos componentes y los elementos que las componen.



Figura 3.3 Estructura de la Guía de Laboratorio – Prototipo 1

3.1.4.1 Objetivos

En esta fase se definen cuales son los objetivos general y específicos del OAFI, el cual brinda una rápida idea de lo que se quiere conseguir con esta herramienta. Para este prototipo se definieron los siguientes objetivos:

OBJETIVOS	
GENERAL	Comprobar a través de cálculos teóricos la relación de transmisión que se obtiene de manera empírica al realizar esta práctica
ESPECÍFICOS	<p>Obtener la relación de transmisión entre tres pares de engranajes</p> <p>Obtener la relación de transmisión de todo el sistema</p> <p>Comprobar, utilizando fórmulas de transmisión entre engranajes de diferente tamaño, la relación entre los engranajes teórico y práctico</p>

Tabla 3.4 Objetivos – Prototipo I

3.1.4.2 Fase Teórica

Durante esta fase se trata de encontrar la transmisión total del sistema utilizando solamente el número de dientes de los engranes utilizados.

Tarea	Metodología a usar	Material de Apoyo
Encontrar la transmisión total del sistema	<ol style="list-style-type: none"> 1. Encontrar las transmisiones por par de engranajes por el z^* 2. Multiplicar todas las transmisiones obtenidas en 1 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar las ecuaciones dadas en el laboratorio • Guía Teórica TEO01 • Gráfico proporcionado por el SADC

Tabla 3.5 Diseño de la Fase Teórica – Prototipo I

* Número de dientes del engrane

Descripción del contenido de la Fase Teórica

Para la parte teórica se decidió utilizar la *Ecuación 3.2* para encontrar la transmisión para pares de engranajes, y para un sistema de engranajes normalmente llamado tren de engranajes se tomará en cuenta todas las transmisiones que intervienen como se muestra en la siguiente *Ecuación 3.4* tomada de (8):

$$\tau = \frac{\prod z_{\text{conductores}}}{\prod z_{\text{conducido}}}$$

Ecuación 3.4

Por ejemplo véase la siguiente figura:

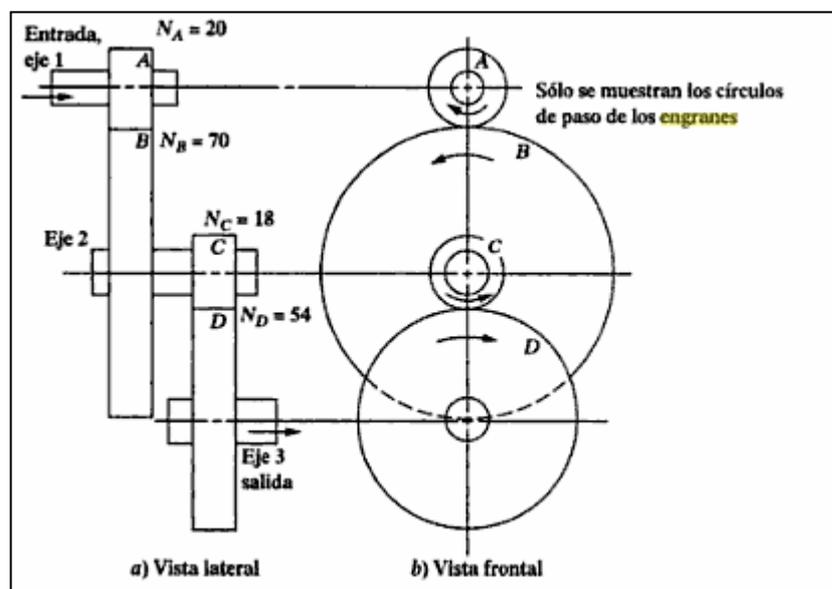


Figura 3.4 Tren de Engranaje sacado de la referencia (6)

Donde N_x es igual al número de dientes que posee la rueda dentada. En este caso para encontrar la transmisión total del tren de engranajes utilizamos la *Ecuación 3.4* de la siguiente manera:

$$\tau = \frac{N_A}{N_B} \cdot \frac{N_C}{N_D} = \frac{20}{70} \cdot \frac{18}{54} = 0.0957$$

Como consecuencia tenemos que $\tau = 0.0957$ obtenido teóricamente mediante la *Ecuación 3.4*.

Para este prototipo I se escribió una referencia teórica que se puede ver en el *Anexo A*, el cual explica a mayor detalle los conceptos sobre la transmisión y los engranajes, incluyendo las fórmulas que aquí se describen, como material de apoyo para el estudiante.

3.1.4.3 Fase Experimental

La fase experimental consiste en tomar mediciones mediante el prototipo físico y con ellos realizar cálculos. En esta fase se trata de obtener la transmisión a través de la velocidad angular del sistema utilizando la *Ecuación 3.1*.

Tarea	Metodología a usar	Material de Apoyo
Encontrar la transmisión total del sistema	<ol style="list-style-type: none"> Tomar las muestras de #vueltas dadas en la salida y el motor usando el prototipo físico y el SADC Utilizar la Ecuación 3.5 para los cálculos 	<ul style="list-style-type: none"> Hoja de Instrucciones Guía Teórica TEO01 Manual de Construcción del prototipo físico Manual de uso del SADC

Tabla 3.6 Diseño de la Fase Experimental - Prototipo I

Descripción del procedimiento en la Fase Experimental

Para obtener la transmisión mediante la Ecuación 3.1 se convirtió la velocidad angular a su equivalente en número de vueltas por un determinado tiempo, lo cual es igual a decir cuántos 360 grados giró la rueda en x tiempo (segundos). Así nos quedaría la ecuación:

$$\tau = \frac{\omega_{conducido}}{\omega_{conductor}} = \frac{n_{conducido}/x_{at}}{n_{conductor}/x_{bt}} = \frac{n_{conducido}}{n_{conductor}}$$

Ecuación 3.5 Transmisión a través del número de vueltas

Donde x_{at} y x_{bt} es el tiempo en segundos, $n_{conducido}$ y $n_{conductor}$ es el número de vueltas que realizan las ruedas conducida y conductora en dicho tiempo respectivamente. Como resultado $x_{at} = x_{bt}$ pueden ser eliminados de la ecuación.

Por consiguiente esta ecuación puede ser generalizada para un tren de engranajes, donde solo se toma en cuenta la velocidad angular de entrada y la velocidad angular de salida, que por definición se menciona en (6):

“Cuando hay más de dos engranes en un conjunto, el término valor del tren (TV) representa la relación de la velocidad de entrada (del primer engrane del tren) entre la velocidad de salida (del último engrane del tren)...”

Con esto último permitirá en la fase experimental tomar datos del tiempo y número de vueltas tanto del primer engrane como del último y poder hallar así la transmisión en cada una de las velocidades de la caja de cambio que tuviese nuestro laboratorio.

3.1.5 Diseño del Prototipo Físico

La Figura 3.5 muestra el diseño del prototipo físico, este prototipo está basado en un modelo referenciado en (9), donde se muestra una caja de cambios con acelerador y embrague. Lo que se hizo fue modificarlo añadiéndole nuevas funcionalidades:

- 1) Se le añadió un cuarto movimiento “la reversa”
- 2) Se añadió la capacidad de contar las vueltas de la rueda final de la transmisión.

Debido a las modificaciones anteriores el modelo (9) fue modificado en tamaño y algunas partes fueron removidas para mejor maniobrabilidad como se observa en la Figura 3.5. En (21) se encuentra el manual de construcción, el cual fue generado mediante el programa Lego Digital Designer (10).

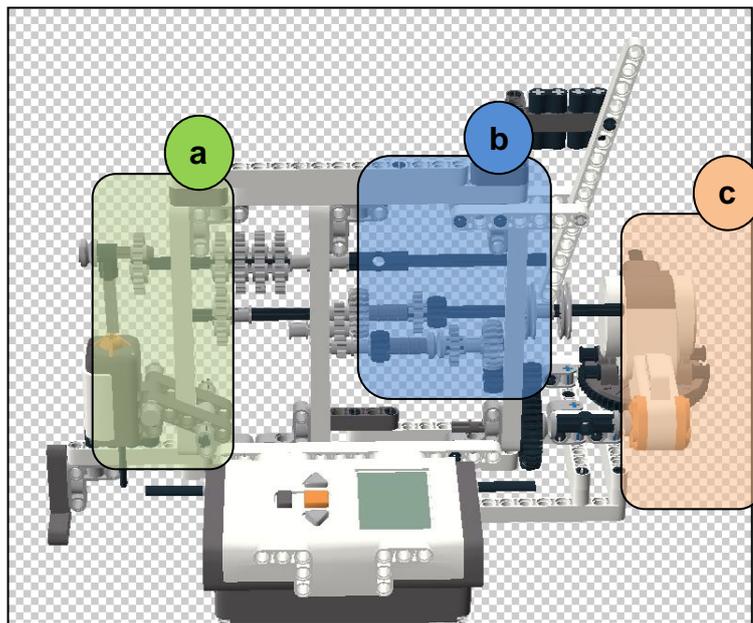


Figura 3.5 Prototipo físico - Caja de Cambios

- a) Sensor de toque, que medirá el número de vueltas de salida del sistema
- b) Sistema de engranes que reproduce 4 velocidades: Primera, segunda, tercera y reversa.
- c) Motor conductor del sistema cuya velocidad es constante.

Recordemos que la capacidad de poder contar las vueltas de la rueda final tiene por objetivo poder calcular la velocidad angular de salida influenciada por la transmisión de la caja de cambios (necesario para la fase experimental del laboratorio). Además, para la medición de la velocidad angular de entrada se utilizó las vueltas del motor conductor obtenidas mediante el SADC el cual envía comandos de control vía bluetooth para sensar los grados transcurridos así determinar el número de vueltas dadas, esto se detallará en la siguiente sección.

3.1.6 Diseño del Sistema de Adquisición de Datos y Control (SADC)

Lo que se pretende lograr con el diseño del SADC es la capacidad de interactuar con el prototipo físico. Esta interacción consiste en permitir enviar comandos de control al prototipo físico para que realice una determinada acción y/o adquirir datos que se obtengan como respuesta a dichos comandos. Como resultado el SADC se encargará de convertir las respuestas en información útil para que el estudiante pueda desarrollar el laboratorio (fase experimental).

Todos los procesos que va a realizar el SADC se encuentran graficados en la siguiente figura, ahí se muestra el envío de comandos de control y recepción de respuestas vía bluetooth, luego la interpretación de las respuestas y finalmente ser mostrados en la interfaz:



Figura 3.6 Diseño del SADC - Prototipo I

Debido a los procesos mencionados anteriormente, el SADC se lo dividió en 3 capas: La capa de interfaz, capa de interpretación y la capa de comunicación. Donde la capa de comunicación es la capa inicial de interacción, luego la de interpretación y finalmente la capa de interfaz.

Descripción de las capas:

3.1.6.1 Capa de Comunicación

Como se mostró en la Figura 3.6 la vía de comunicación entre el SADC y el prototipo físico es a través de mensajes vía RFCOMM⁵. El protocolo de comunicación que se utiliza es “ Direct Command Protocol” de LEGO® NXT,

⁵ RFCOMM: Es el protocolo que reemplaza el cable por una comunicación en radio frecuencia usado para crear un flujo virtual de datos serial. Tomado de: http://en.wikipedia.org/wiki/Bluetooth#RFCOMM_.28Cable_replacement_protocol.29[17/06/2010].

el cual permite controlar el brick⁶ NXT con el envío de mensajes. Estos mensajes pueden ser de 3 tipos: mensaje con respuesta (ej. leer el estado de un sensor), mensaje sin respuesta (ej. enviar a mover un motor) y la respuesta en sí. Además dentro de estos mensajes se especifica el tipo de comando a ejecutarse (11)(12) los cuales están constituidos por un conjunto de bytes⁷ que dependiendo de su estructura pueden servir para mover los motores, leer los valores obtenidos por los sensores, conocer el estado de las baterías, entre otras funciones. A continuación un listado de los comandos que hemos utilizado para este prototipo:

Comando	Funcionalidad
SetOutputState	Envía información a los puertos de salida para mover los motores.
ResetMotorPosition	Permite volver a 0 las variables de los motores (rotaciones, ángulos, etc.)
GetOutputState	Permite obtener información de los motores
GetInputValues	Permite obtener información de los sensores

Tabla 3.7 Comandos utilizados

La aplicación SADC se desarrolló bajo el framework de .Net, debido a la facilidad con la que nos permite acceder al puerto serial y establecer una comunicación Bluetooth con el brick NXT. El archivo **NxtCommunicator.cs**

⁶ Brick: Es el cerebro del kit de Lego NXT en el cual se puede cargar subprogramas o rutinas de comandos a realizar. Por ejemplo Mover el Motor A durante 10 segundos.

⁷ Byte: Término utilizado para definir una unidad digital en computación, generalmente de tamaño de 8 bits, donde 1 bit puede ser 0 o 1.

(Anexo B) es una clase que empaqueta métodos de comunicación con la clase “SerialPort⁸”; contiene funciones para iniciar y finalizar la conexión, lectura de comandos, formación de comandos (12) y constantes. A continuación se muestran los métodos más importantes de la capa de comunicación.

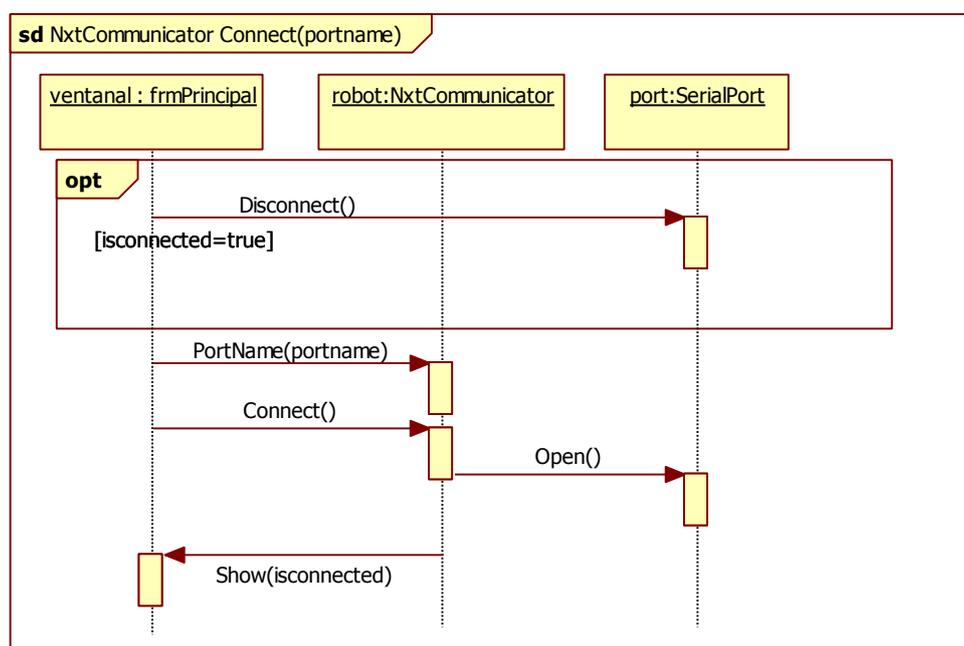


Figura 3.7 Capa de comunicación – inicio de conexión

El diagrama de secuencia de la Figura 3.7 presenta el proceso que se sigue para el inicio de conexión con el puerto serial, por el cual se comunica con el prototipo físico. Este proceso comienza con el objeto *ventana*, si la propiedad *isconnected* es verdadera este interactúa con el objeto *port* de la

⁸Serial Port Clase que usa el servicio de puerto serial que expone el dispositivo Bluetooth a través de RFCOMM. Perteneciente al framework .Net, permite controlar un puerto serial proveyendo entradas y salidas sincrónicas y es orientados a eventos.

clase “SerialPort”, para abrir el puerto de conexión bluetooth entre la SADC y el brick NXT. Lo primero indica el nombre del puerto a conectarse mediante *setPort(portname)*, posteriormente el objeto *ventana* inicia la conexión utilizando *Connect()*, en este método se utiliza el método *Open()* del objeto *port*, luego el objeto *robot* muestra si se logró conectar o no mediante *Show(isconnected)*.

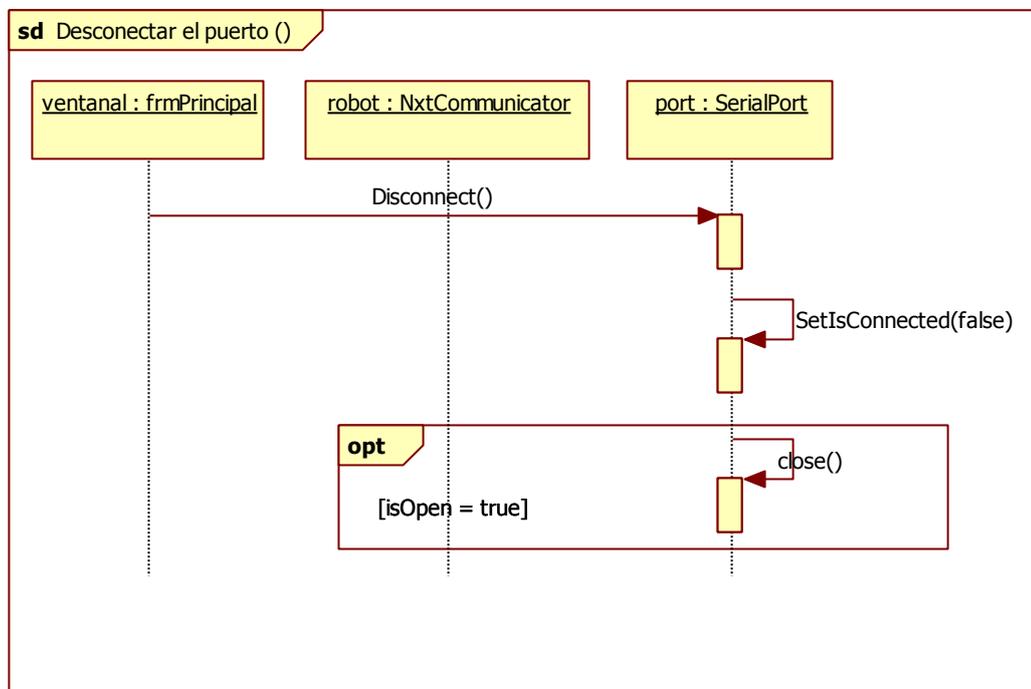


Figura 3.8 Capa de Comunicación – desconexión

El proceso de desconexión del puerto se realiza de igual manera utilizando los objetos *ventana*, *robot* y *port* de sus respectivas clases. Esto inicia mediante un requerimiento de desconexión (*Disconnect()*) enviada por *ventana* a *robot*, este último cambia a *false* el estado de la conexión

mediante *SetIsConnected(false)* luego *port* pregunta si está abierta la conexión mediante *isOpen* y de ser verdadero cierra la conexión utilizando *Close()*.

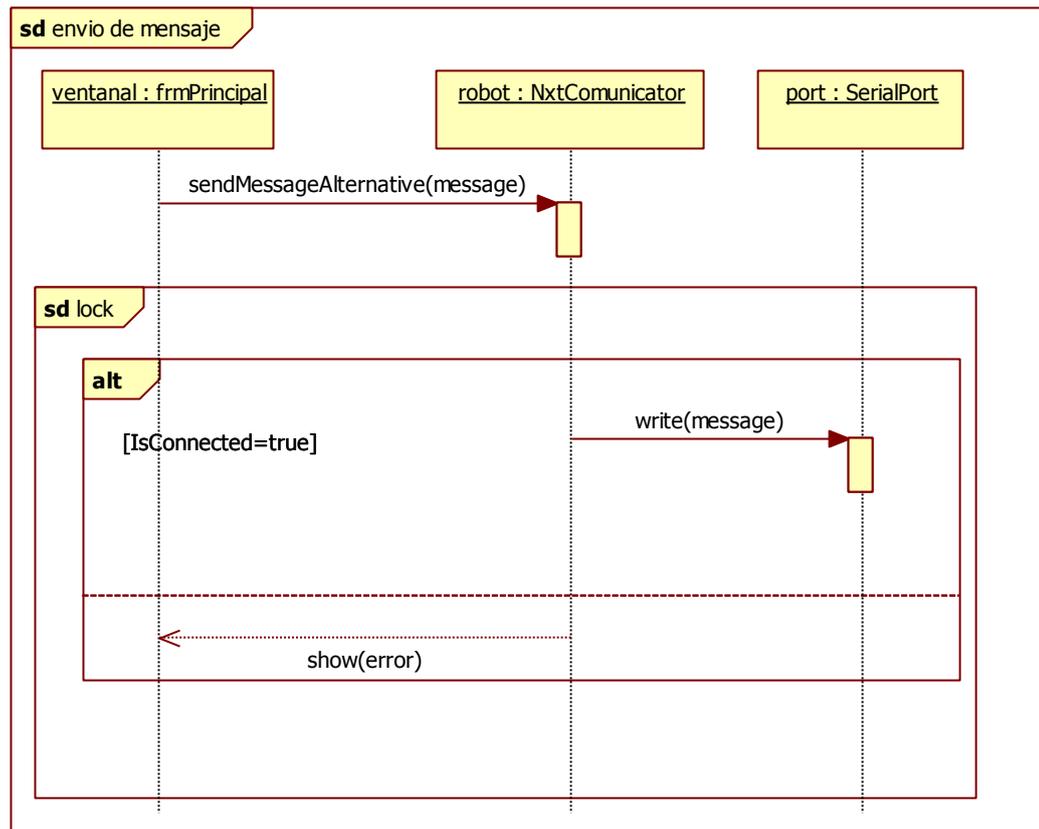


Figura 3.9 Capa de comunicación - envío de mensajes

Otra de las tareas que se encarga esta capa es el envío de mensajes (Figura 3.9) al prototipo físico mediante el puerto serial. Para ello se utilizará los objetos mencionados anteriormente *ventana*, *robot* y *port*, el primero se encargará de armar el mensaje de acuerdo a (12) y luego se obtiene un candado sobre el objeto *port* para que otro proceso no pueda interferir en el

envío, por último si aún está conectado con el brick se envía el mensaje, sino se muestra un error.

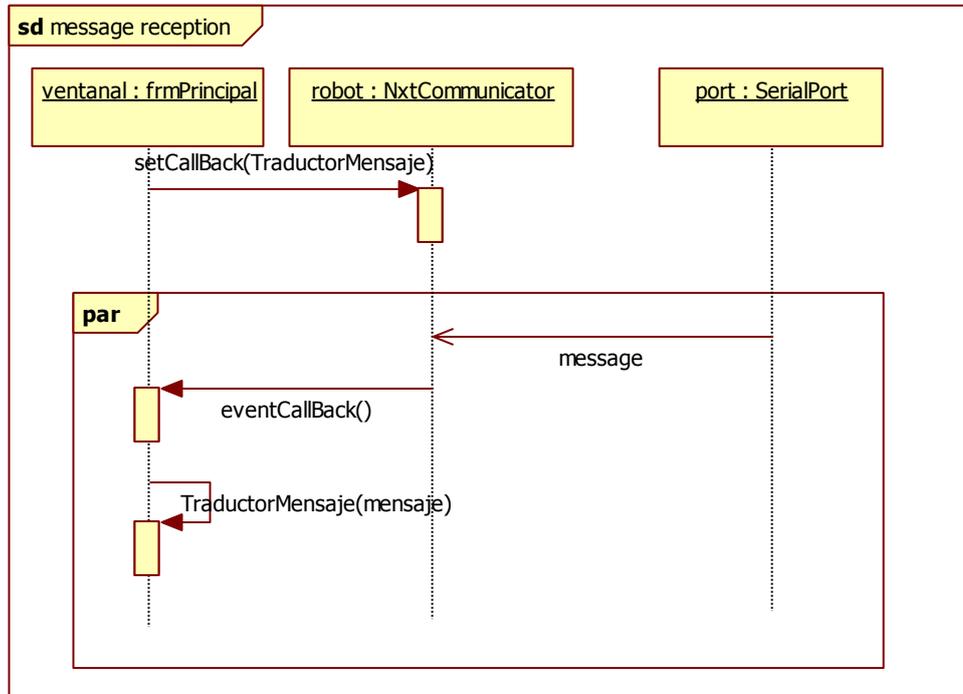


Figura 3.10 Capa de Comunicación - Recepción de mensaje

La recepción de los mensajes se la realiza de forma asíncrona, es decir; la recepción está preguntando continuamente si es que hay algún mensaje para leer, si lo hay, se lo lee mediante *TraductorMensaje()*, definido inicialmente para este fin.

3.1.6.2 Capa de Interpretación

Durante esta capa se interpreta los datos enviados por el brick NXT. Esto requiere analizar byte a byte el mensaje recibido y darle un significado que se pueda interpretar y mostrar en la interfaz. A continuación se mostrará los métodos más importantes que realizan esta tarea:

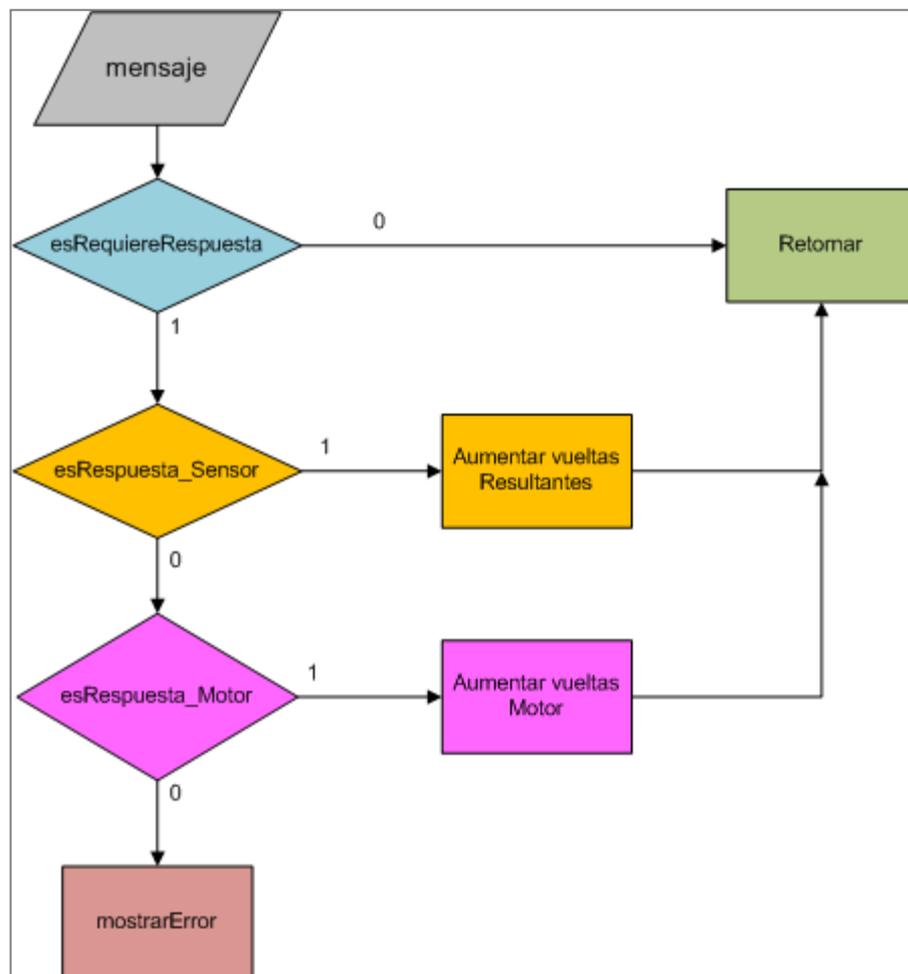


Figura 3.11 Capa de Interpretación – TraductorMensaje()

En este método *TraductorMensaje*(byte[] paquete) se leen las respuestas de todos los mensajes anteriormente enviados. Si es una respuesta del sensor se aumenta un contador de las vueltas resultantes caso contrario si es respuesta del motor se aumentan las vueltas del motor, pero si no es ninguna de las anteriores se muestra un error ya que es un tipo de respuesta no esperada.

3.1.6.3 Capa de Interfaz

La capa de interfaz es la que interactúa directamente con el usuario. En ella se encuentran 3 partes, la parte de conexión para abrir y cerrar la misma, la segunda que muestra el número de vueltas de la rueda resultante y la del motor, y la tercera muestra una tabla que dependiendo lo que el usuario quiere graficar, se agrega a esta tabla y se grafica en la parte derecha.

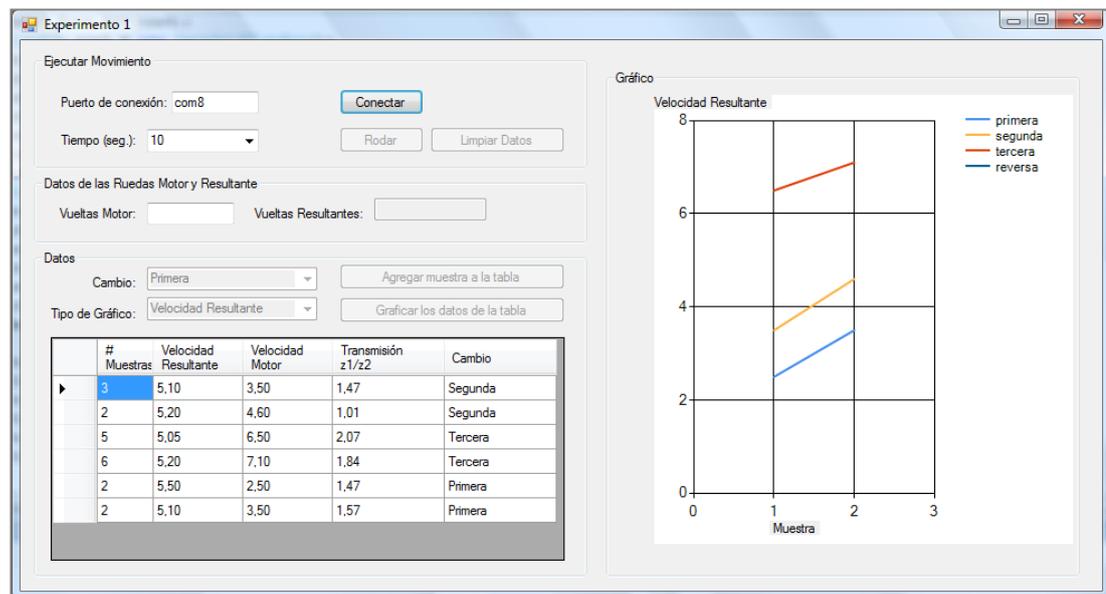


Figura 3.12 Interfaz el SADC

El botón de *Conectar* es el que inicia la conexión con el brick NXT utilizando el puerto especificado en el *Puerto de conexión*, luego de conectarse se habilita el botón *Rodar*, este procederá a hacer mover el motor de prototipo físico durante el tiempo especificado en el combobox *Tiempo (seg.)*, mientras este rodando el motor del prototipo se envían mensajes para conocer la posición del motor y del sensor para determinar mediante las capas anteriores cuantas vueltas ha dado cada uno y así mostrarlo en *Vueltas Motor* y *Vueltas Resultantes*. Para terminar el usuario debe escoger en que velocidad está puesto el prototipo físico y añadirlo a la tabla para que pueda ser graficado en la sección derecha de la interfaz.

3.1.7 Documentación del prototipo y del SADC

La documentación del prototipo y del SADC se conforma de un manual de construcción del prototipo físico (21) y el manual de usuario para la utilización del SADC (Anexo C).

3.1.8 Elaboración de la Evaluación

La evaluación que se desarrolló para este primer prototipo fue una evaluación de satisfacción, la cual se halla en el Anexo D. Se realizó este tipo de evaluación ya que se quería obtener la opinión de los estudiantes frente del uso de un OAFI en el aula de clases, y posteriormente tomar las correcciones respectivas. Los resultados se muestran en el capítulo 4.

3.1.9 Empaquetamiento y Distribución

Reuniendo todo el material desarrollado en este prototipo se creó un paquete SCORM (13) (Sharable Content Object Reference Model), el cual es un conjunto de estándares que define como debe ser empaquetado el material en formato zip para luego ser distribuido en los LMS⁹ (Learning

⁹ Un LMS es un programa (aplicación de software) instalado en un servidor, que se emplea para administrar, distribuir y controlar las actividades de formación no presencial o e-Learning de una institución u organización. [http://es.wikipedia.org/wiki/LMS_\(Learning_Management_System\)](http://es.wikipedia.org/wiki/LMS_(Learning_Management_System))[Citado el 2 de Marzo 2010]

Managment Sytem) que se encuentran en la web. Esto se lo realizó haciendo uso de la aplicación Reload Editor que facilita la creación objetos de aprendizaje basándose en los estándares. Además se llenó la metadata del paquete (LOM¹⁰, learning Object Metadata) de manera que sus características y su uso sean mejor entendidos por la comunidad. Actualmente este paquete OAFI1.zip esta subido a los servidores de ESPOL y puede ser accedido en <http://aridne.cti.espol.edu.ec>.

3.2 Prototipo 2: OAFI en el curso de Dinámica

Tal como el prototipo 1, el prototipo 2 se desarrolló siguiendo la metodología de diseño del Capítulo 2. Para el diseño del prototipo 2 se tomó como tema central el mecanismo biela manivela tomando la recomendación de algunos profesores¹¹ de la Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP).

Se puede decir que el prototipo 2 no es una mejora del prototipo 1 en el aspecto de contenido, pero si a nivel de proceso de desarrollo del laboratorio (véase 3.2.4) y pruebas (véase capítulo 4).

¹⁰ Es un modelo de datos, usualmente codificado en XML, usado para describir un objeto de aprendizaje y otros recursos digitales similares usados para el apoyo al aprendizaje. <http://es.wikipedia.org/wiki/LOM> [Citado el 2 de Marzo 2010]

¹¹ Ing. Jorge Duque, Ing. Mario Patiño, Ing. Marcos Tapia, Eduardo Orces, Rodolfo Paz, Gonzalo Zavala.

3.2.1 Elegir ciencias a integrar

Debido a que el tema central del prototipo 2 es el mecanismo biela-manivela las ciencias que se eligieron para explicar el contenido fueron: Mecánica, Cálculo, Física Experimental y Estadística.

#	Ciencia	Aporte al OAFI
1	Mecánica	Aplicar conocimientos del mecanismo biela-manivela
2	Cálculo	Conceptos de Derivada
3	Física Experimental	Análisis de los datos
4	Estadística	

Tabla 3.8 Prototipo 2 - Ciencias a integrar

La Mecánica es la ciencia de la cual se tomó el tema central de este prototipo, además el estudio de este mecanismo se lo realizará a través de un análisis de velocidad y aceleración utilizando Cálculo Diferencial y para el análisis de los datos experimentales se utilizarán las ciencias de Física Experimental y Estadística.

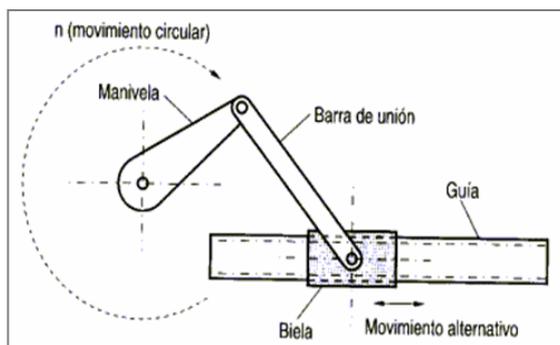


Figura 3.13 Mecanismo biela-manivela¹²

3.2.2 Escoger los conceptos a evaluar

Lo que se pretende obtener es que empleando el mecanismo biela-manivela el alumno sea capaz de comprender la transformación del movimiento circular a lineal y definir sus implicaciones respecto a la velocidad y trayectoria de movimiento. Se empleará conocimientos de la derivada del desplazamiento del pistón para obtener la velocidad.

#	Ciencia	Conceptos a Evaluar	Tema Principal
1	Mecánica	Transformación de movimiento	Mecanismo Biela-manivela
2	Cálculo diferencial	Derivada	
3	Física Experimental	Error Experimental	
4	Estadística	Cuartil	

Tabla 3.9 Prototipo 2 - Conceptos a evaluar

¹² Imagen tomada de <http://www.todomonografias.com/industria-y-materiales/biela-manivela/> [27/05/2010]

Por ello los conceptos que se evaluarán de las respectivas ciencias son: mecanismo biela-manivela (Mecánica), la derivada o pendiente (Cálculo). Adicionalmente se utilizará el error experimental (Física Experimental) y el cuartil¹³ (Estadística) para analizar los datos obtenidos experimentalmente.

3.2.3 Variables que se van a medir

Las variables a medir experimentalmente para el mecanismo biela manivela están enfocadas en el desplazamiento del pistón y la velocidad instantánea.

En este prototipo se plantea medir las variables mencionadas bajo la condición de mantener constante la longitud de la biela y la velocidad angular de la manivela. Adicionalmente, se variará el radio de la manivela para cada caso respectivamente (en la siguiente sección se detallará los casos en el diseño del laboratorio).

Variables	Condición	Variables a Medir
Longitud de la Biela	Constante	<ul style="list-style-type: none"> Desplazamiento del pistón Velocidad Instantánea del pistón
Velocidad Angular de la Manivela		
Radio de la manivela	Variable	

Tabla 3.10 Prototipo 2 - Variables a medir

¹³ Cuartil: En estadística descriptiva los **cuartiles** son los tres valores que dividen al conjunto de datos ordenados en cuatro partes porcentualmente iguales.
http://es.wikipedia.org/wiki/Medidas_de_posici3n_no_central [Citado el 4 de Abril 2010]

3.2.4 Diseño del laboratorio

Al igual que el prototipo I, la guía del laboratorio se encuentra dividido en 3 partes con una ligera adición dedicada a los gráficos de los datos en la fase experimental.

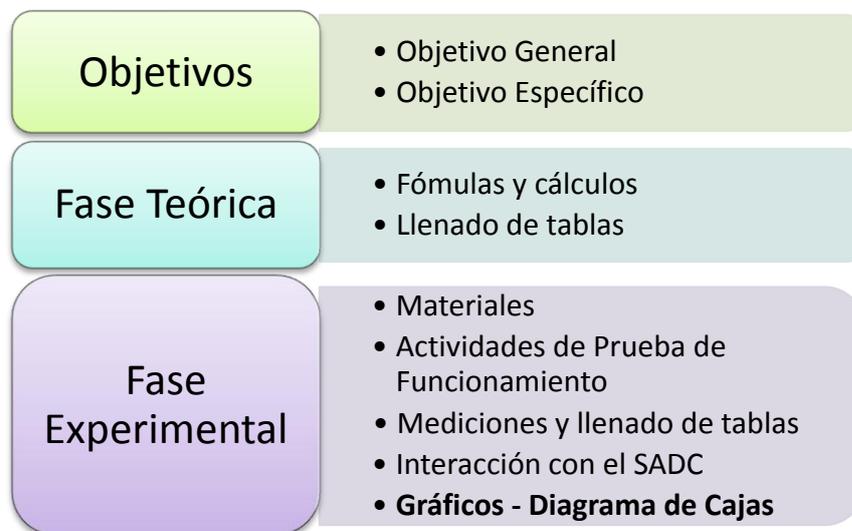


Figura 3.14 Estructura de la Guía de Laboratorio - Prototipo 2

El contenido del laboratorio se basa en el estudio de 2 modelos cuya única variación es el radio de la manivela. La meta de este laboratorio es comparar ambos modelos y concluir cual es el efecto que produce variar el radio de la manivela en la velocidad y desplazamiento del pistón. Adicionalmente se aplicará el análisis de los cuartiles para graficar los datos experimentales.

El material de referencia que se adjuntó a este laboratorio fueron: una guía de construcción del prototipo físico (22) y un manual de uso (para el correcto uso del prototipo físico con el SADC - Anexo E).

Descripción del proceso de desarrollo del laboratorio:

Para el desarrollo de este laboratorio, se divide a los estudiantes en grupos de mínimo 4 hasta 5 estudiantes, por cada grupo se le entrega una guía de laboratorio junto al material de apoyo, una laptop y un kit de lego para armar el prototipo físico.

Luego los grupos prosiguen con al armado del prototipo físico y desarrollo del laboratorio como es indicado en la guía. Aquí el profesor se encuentra en un rol de facilitador durante el proceso.

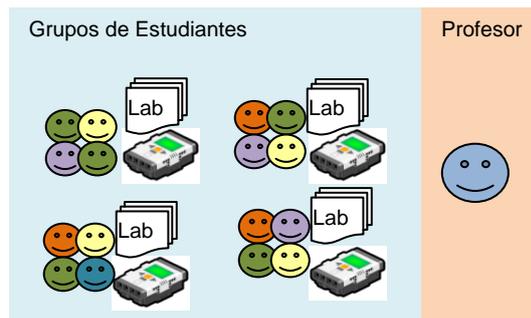


Figura 3.15 Proceso de desarrollo del laboratorio - Prototipo 2

3.2.4.1 Objetivos

Los objetivos que se plantearon para este prototipo fueron:

OBJETIVOS	
GENERAL	Comprobar a través de cálculos teóricos la distancia recorrida y la velocidad del pistón obtenida de manera experimental al realizar esta práctica.
ESPECÍFICOS	<p>Calcular la velocidad instantánea del pistón obtenido desde la gráfica en el papel</p> <p>Comprobar, utilizando fórmulas del desplazamiento y velocidad del pistón los datos obtenidos experimentalmente</p> <p>Experimentar la influencia que conlleva el tener una manivela de diferente radio y una biela de diferente longitud.</p>

Tabla 3.11 Objetivos del prototipo 2

3.2.4.2 Diseño de la Fase Teórica

En esta fase el objetivo es encontrar la velocidad máxima promedio de los 2 modelos utilizando la fórmula dada, sin embargo se puede hacer uso del SADC para obtener dichos datos más fácilmente.

Objetivo	Metodología a usar	Material de Apoyo
Encontrar la velocidad máxima promedio	<ol style="list-style-type: none"> 1. Ejecutar el prototipo físico 2. Obtener del SADC el desplazamiento máximo del pistón 3. Obtener del SADC la velocidad máxima del pistón 	<ul style="list-style-type: none"> • Utilizar las ecuaciones dadas en el laboratorio • Guía Teórica TEO02 • Manual de usuario del SADC

Tabla 3.12 Metodología para realizar la práctica

Descripción del contenido de la Fase Teórica

La fase teórica se basó en la fórmula del movimiento del pistón (5) para encontrar su desplazamiento y velocidad:

$$x = r * \cos(\omega * t) + \sqrt{l^2 - r^2 * \text{sen}^2(\omega * t)} - \sqrt{l^2 - r^2}$$

Ecuación 3.6 Desplazamiento del Pistón

$$v = -r * \omega * \text{sen}(\omega * t) \left(1 + \frac{r * \cos(\omega * t)}{\sqrt{l^2 - r^2 * \text{sen}^2(\omega * t)}} \right)$$

Ecuación 3.7 Velocidad del Pistón

En esta fase no se incluyó la demostración de las fórmulas anteriores porque aumentan la duración del desarrollo del OAFI además que no es uno de nuestros objetivos, es decisión del profesor realizarlo en clase.

También puede prescindir del SADC para encontrar la velocidad máxima reemplazando el tiempo (t) de las Ecuación 3.6 y Ecuación 3.7 mediante pruebas, hasta encontrar el tiempo que dé un desplazamiento cercano al máximo, sin embargo el SADC facilita la obtención de este cálculo (ver 3.2.6).

3.2.4.3 Diseño de la Fase Experimental

Para esta fase del laboratorio se utilizará el gráfico que genera el prototipo físico sobre el rollo de papel (ver Figura 3.17) para encontrar el desplazamiento máximo y la velocidad máxima.

La Figura 3.16 simula la trayectoria que realizaría el pistón que genera el prototipo sobre el rollo de papel, a partir de él obtiene el desplazamiento máximo midiendo con una regla desde el pico inferior al pico superior. En el caso de la velocidad máxima se escogerá un punto y se trazará una tangente a la curva, luego mediante una hoja milimetrada de acetato se medirá la pendiente de dicha curva y así obtener la velocidad máxima.

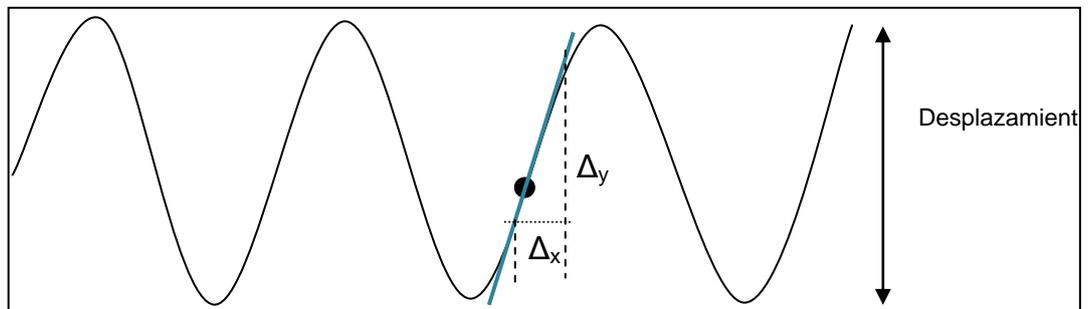


Figura 3.16 Ejemplo de Gráfico generado por el prototipo físico

3.2.5 Diseño del prototipo Físico

Para el diseño de este segundo prototipo se propuso modificarlo para que sea capaz de dibujar la trayectoria del pistón. A continuación la Figura 3.17 muestra el prototipo físico que se construyó:

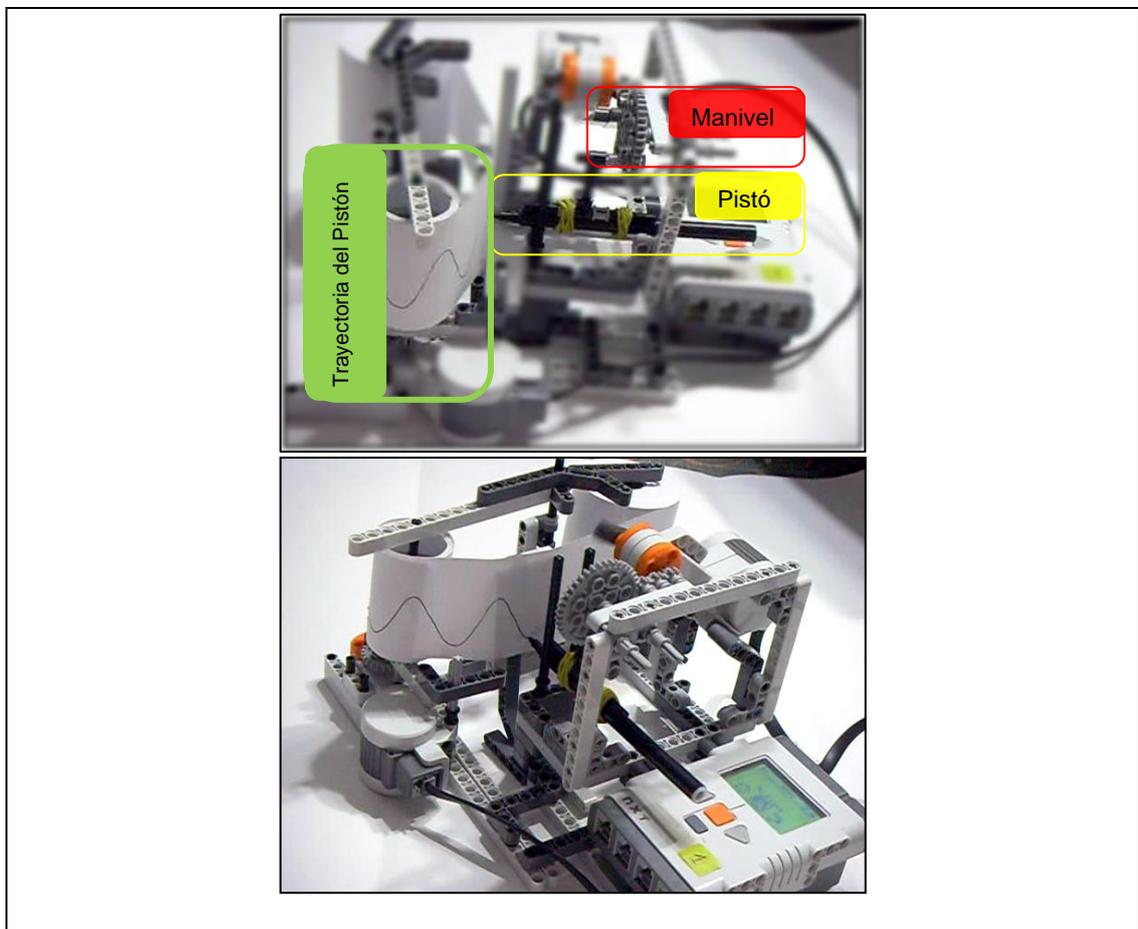


Figura 3.17 Prototipo 2 - Mecanismo biela manivela

3.2.6 Diseño de la aplicación del sistema de Adquisición de Datos y Control

El diseño del SADC para el prototipo 2 sigue el mismo esquema del prototipo uno como se muestra en la Figura 3.6. De igual manera se lo dividió en 3 capas: la capa de interfaz, la capa de interpretación y la capa de comunicación. A diferencia del prototipo anterior, los tiempos de respuesta a los mensajes fueron mejorados debido a que se empleó envío y recepción de mensajes de manera sincrónica evitando que se encolen los mensajes.

Descripción de las capas:

3.2.6.1 Capa de Comunicación

Siguiendo el diseño del SADC, esta capa al igual que en el prototipo 1 realiza el mismo procedimiento para conectarse y desconectarse del puerto (ver Figura 3.7 y Figura 3.8 respectivamente) por lo que no lo volveremos a detallar aquí. La diferencia con el prototipo anterior se encuentra cuando se envían los mensajes, debido a que se efectúa de manera sincrónica permitiendo enviar comandos y recibir las respuestas secuencialmente. Por ello en esta capa no es necesario preguntar por respuestas en el puerto

continuamente ya que espera hasta que la respuesta llegue para poder ejecutar la acción predeterminada.

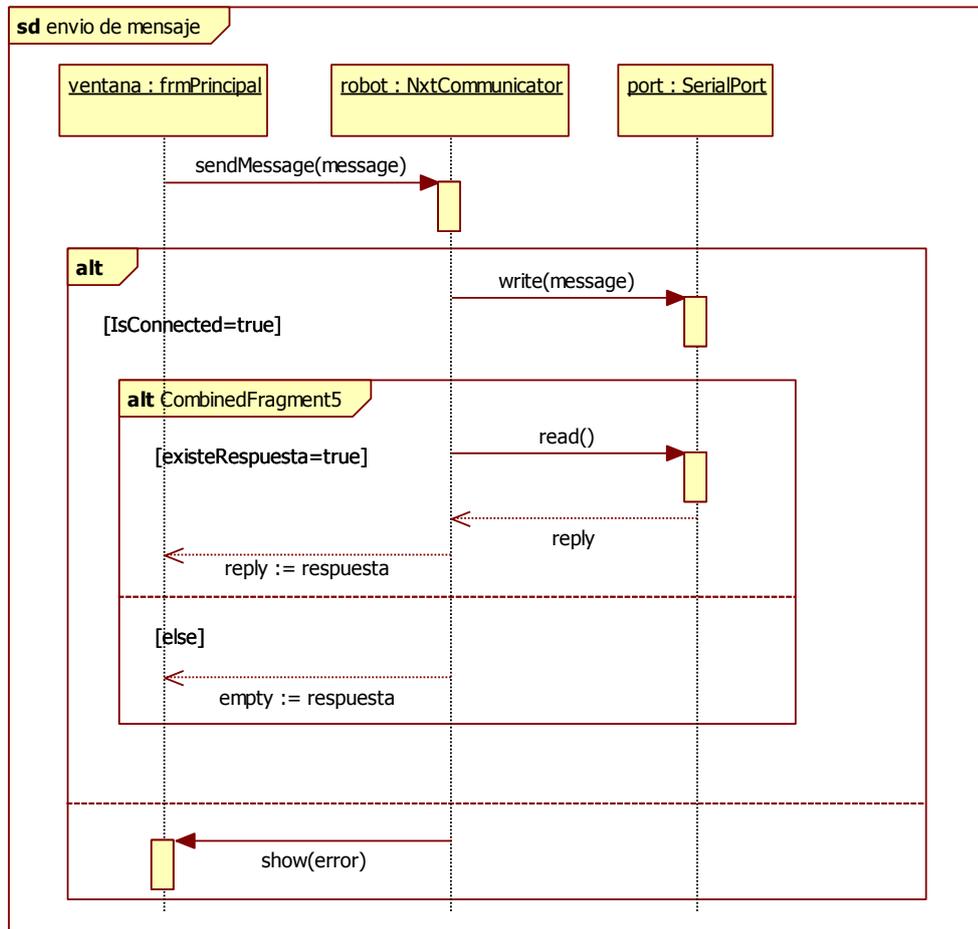


Figura 3.18 Capa de Comunicación - Envío de mensaje prototipo 2

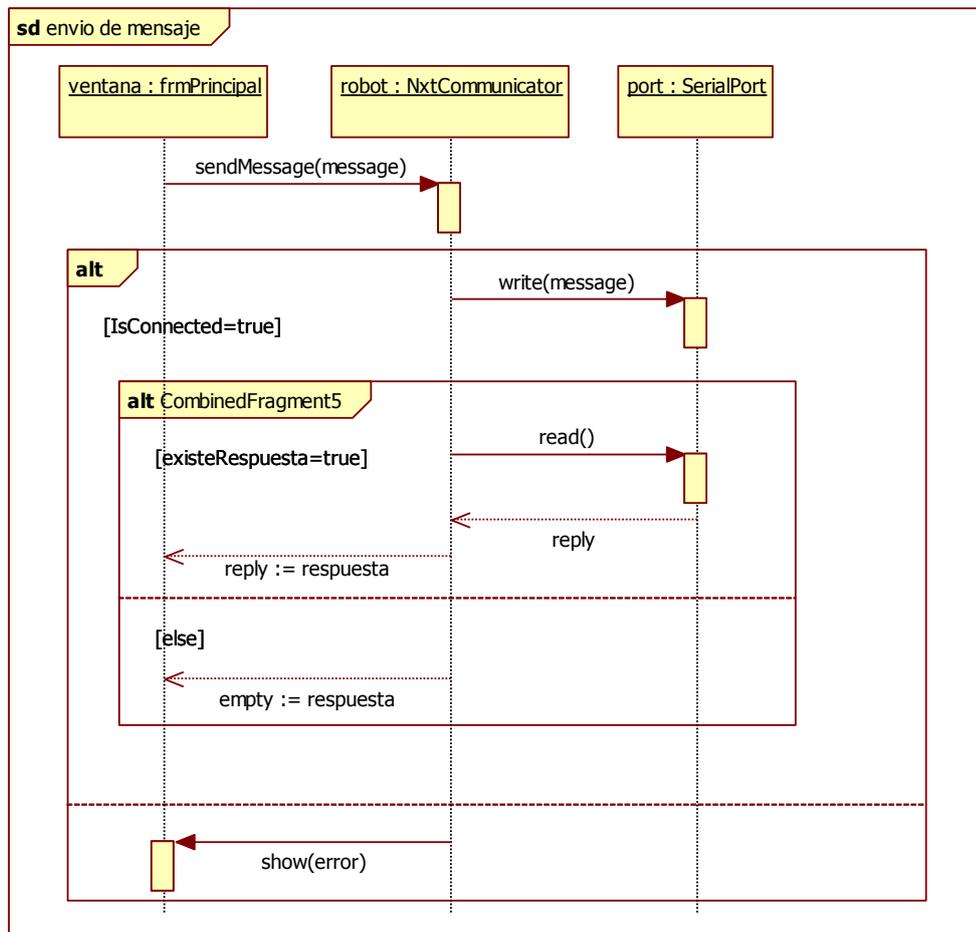


Figura 3.18 muestra como se lleva a cabo el envío de mensaje.

Primero verifica que aún esté conectado al prototipo y envía el mensaje al puerto a través del objeto robot, en el caso de que este mensaje requiera contestación (ej. el mensaje quiere conocer las rotaciones del motor) entonces leerá el puerto y retornará la respuesta, de lo contrario devolverá vacío.

3.2.6.2 Capa de Interpretación

Debido a que se espera por la respuesta del mensaje enviado, lo único que se realiza en esta capa es verificar que la respuesta corresponda al pedido, si es así se prosigue a procesar el dato de respuesta y así realizar la acción debida (ver Figura 3.19).

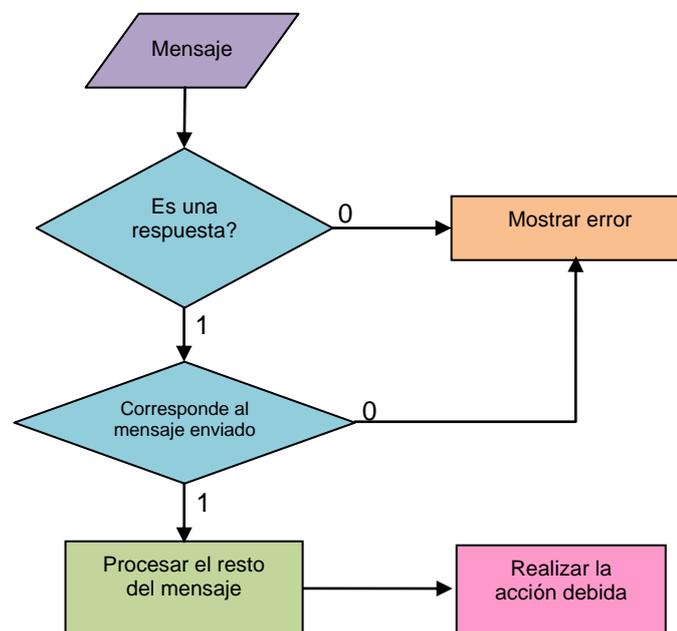


Figura 3.19 Capa de Interpretación - prototipo 2

El comando de mensaje que requirió respuesta en este prototipo fue el del sensar las rotaciones del motor para así poder calcular las vueltas de la manivela, obtener la velocidad angular de la manivela (ω) y por ende encontrar la posición del pistón utilizando la Ecuación 3.6.

3.2.6.3 Capa de Interfaz

La interfaz desarrollada para este prototipo se compone de la parte de conexión, la selección del modelo a utilizar (esto es necesario para conocer el tipo de manivela utilizado), los datos adquiridos (posición del pistón y ángulo de la rueda), selección del tiempo, la sección del gráfico y por último la tabla que almacena las muestras tomadas (ver Figura 3.20).

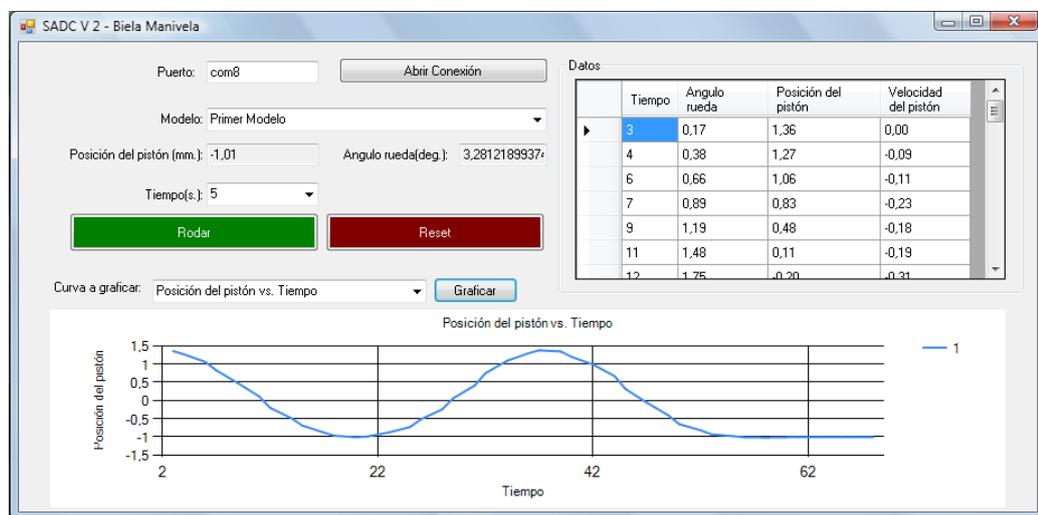


Figura 3.20 Interfaz del SADC - prototipo 2

A diferencia de la versión anterior, este adquiere los datos automáticamente y los muestra en la tabla del lado derecho. Además este puede generar 2 tipos de gráfica: la posición del pistón vs tiempo y la velocidad del pistón vs tiempo. De igual manera soporta graficar varias curvas dependiendo de las veces que se haya enviado a rodar al prototipo (al dar clic en el botón rodar)

3.2.7 Documentación del prototipo y del SADC

La documentación del prototipo físico se encuentra en (22) y del SADC (manual de usuario) en el Anexos E. De igual manera la guía de laboratorio para este prototipo se encuentra en el Anexo F.

3.2.8 Elaboración de la Evaluación

La Evaluación que se elaboró para este prototipo fue de tipo objetivo, en el cual el alumno debía elegir la respuesta correcta. Los temas que se evaluaron fueron:

- 1) Desplazamiento del pistón
- 2) Cuartiles
- 3) Velocidad del pistón.

En el Anexo G se encuentra la evaluación que fue tomada para este prototipo.

3.2.9 Empaquetamiento y Distribución

Debido a que el tercer prototipo es una mejora del segundo, se decidió no crear un SCORM para este prototipo (ver SCORM en 3.3.6).

3.3 Prototipo 3: OAFI en el curso de Mecánica de Maquinarias 1

El Prototipo 3 se lo desarrolló partiendo del prototipo 2, utilizando el mismo contenido pero mejorando su estructura, para que sea más sencillo de seguir y desarrollar. Estos inconvenientes se ven reflejados en los resultados de la experimentación con el prototipo 2 (véase 4.3.2).

La mejora de este prototipo se encuentra reflejada en la re-ordenación del contenido de la guía de laboratorio para disminuir el tiempo de desarrollo del mismo, además el proceso de desarrollo también fue replanteado. Esto también influyó en la modificación de la estructura del prototipo físico para que sea más fácil de usar, como lo veremos más adelante.

El contenido de este prototipo se mantiene igual al anterior por lo que las ciencias a integrar, los conceptos a evaluar y las variables a medir son las mismas a excepción de Física Experimental (error experimental) que ya no se lo utiliza. Debido a esto no lo volveremos a describir en esta sección.

3.3.1 Diseño del laboratorio

La estructura de este laboratorio se la ha modificado con el objetivo de disminuir tiempo de desarrollo, por ello se lo dividió en 4 partes:



Figura 3.21 Estructura de la Guía de Laboratorio - Prototipo 3

La parte de **Objetivos y Materiales** se mantiene igual al del prototipo 2. En la **Experimentación** se encuentran los pasos a seguir durante todo el laboratorio, cuyos resultados obtenidos se los escribirá en la hoja de datos que contiene las **tablas y gráficos**, esta hoja es el único entregable de este laboratorio que debe ser respondido por estudiante a diferencia de los otros prototipos 1 y 2 que era por grupo. Además se incluyó al final del laboratorio las **referencias** que le ayudarán al estudiante en los cálculos tanto experimentales como teóricos. La referencia para la guía de construcción del prototipo físico se lo creó en un archivo aparte (23).

Descripción del proceso de desarrollo del laboratorio:

Se divide a los estudiantes en grupos de 4 – 5, se les entrega por grupo la guía de laboratorio junto con la hoja de Datos por estudiante (véase Figura 3.21) que deberá ser llenada individualmente, una laptop y un kit de lego para armar el prototipo físico.

Luego los grupos prosiguen con al armado del prototipo físico y desarrollo del laboratorio como es indicado en la guía.

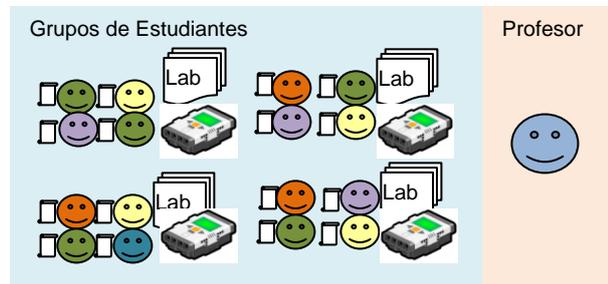


Figura 3.22 Proceso de Desarrollo del Laboratorio - Prototipo III

3.3.1.1 Diseño de la Fase Teórica

El diseño de la fase teórica es igual al prototipo 2, véase 3.2.4.2.

3.3.1.2 Diseño de la Fase Experimental

El diseño de la fase Experimental es igual al prototipo 2, véase 3.2.4.3.

3.3.2 Diseño del prototipo Físico

El cambio que se produjo en este prototipo físico es en la zona donde se ubican los rollos. Si vemos en la Figura 3.17 se encuentra dos rollos, uno que se desenrolla del lado derecho y otro que se enrolla del lado izquierdo. Esto fue modificado para manejar solo un rollo, de manera que durante la experimentación sea mucho más fácil de recortar el papel del rollo donde se dibujó el desplazamiento del pistón y así poder realizar las mediciones respectivas (véase la Figura 3.23).

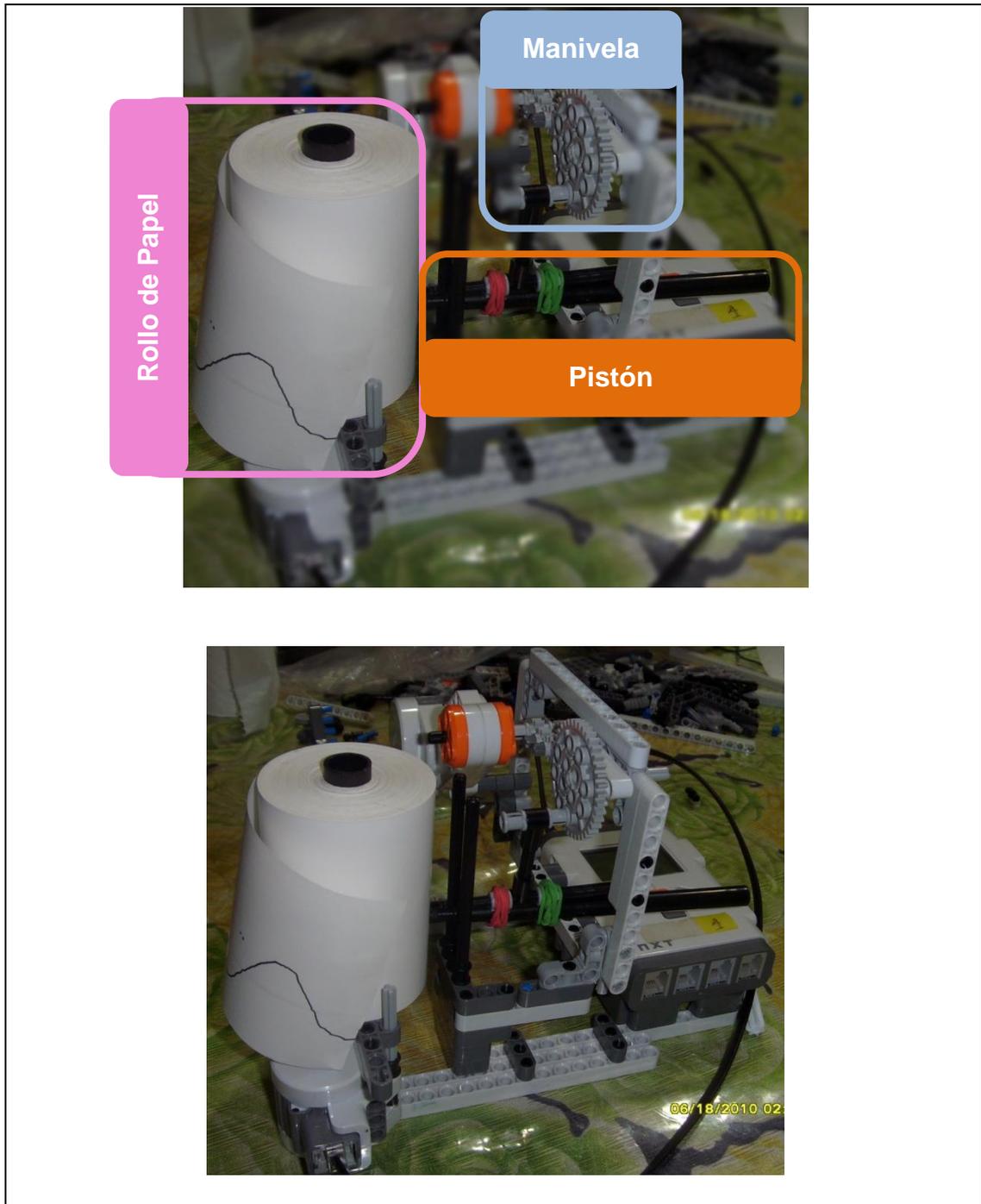


Figura 3.23 Prototipo 3 Mecanismo Biela-Manivela

3.3.3 Diseño de la aplicación del sistema de Adquisición de Datos y Control

Para este prototipo se utilizó el mismo SADC para realizar las mediciones (véase 3.2.6). También puede consultar con el Anexo E en el que se encuentra el manual de usuario del SADC.

3.3.4 Documentación del prototipo

El manual de construcción de este prototipo físico se encuentra en (23) y para la guía de laboratorio se encuentra en el Anexo H.

3.3.5 Elaboración de la Evaluación

Este prototipo utilizó la misma evaluación del prototipo 2 (véase Anexo G) debido a que no se varió el contenido.

3.3.6 Empaquetamiento y Distribución

Al igual que el prototipo I, se empaquetó este OAFI versión 3 mediante la aplicación Reload Editor. Este paquete se llama OAFI3.zip y puede ser accedido en los servidores de ESPOL <http://aridne.cti.espol.edu.ec>.

CAPÍTULO 4

4. ¿FUNCIONA? – ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

En el capítulo 3 detallamos la implementación de un OAFI, en el cual se puso en práctica la metodología planteada en el capítulo 2. Ahora, ¿cómo demostrar que esa metodología realmente funciona?

Para probar correctamente nuestra metodología, debemos escoger el tipo de diseño de experimentos adecuado para este fin, teniendo presente 2 restricciones importantes. La primera es que estamos trabajando con “grupos intactos” (15), es decir; con personas en su ambiente natural, sin aislarlas ni interfiriendo sus actividades normales. La segunda es que no contamos con los recursos suficientes para poder tener un número

considerable de muestras y poder hacer una generalización de los resultados obtenidos.

Dadas las restricciones ya mencionadas decidimos utilizar el Diseño Cuasi-Experimental (15) para evaluar nuestra metodología. Este diseño es muy útil cuando no se tiene control total sobre todas las posibles situaciones que se pueden presentar en el transcurso del experimento, aunque pretende tener el mayor control posible. Además, se utiliza especialmente cuando no es posible hacer una *selección aleatoria* (16) de los participantes del experimento, es decir; cuando se trabaja con “grupos intactos”.

Siguiendo con este diseño, escogimos utilizar el tipo de pruebas “PRE-POST con grupo de Control” (17), este tipo de pruebas se caracteriza por tener dos poblaciones, antes de empezar la experimentación se toma una evaluación para determinar el grado de conocimientos que tienen ambos grupos, es la llamada “PRE”, luego al grupo de control se le aplica placebo y al grupo experimental se le aplica el elemento que se desea probar, después se toma una segunda evaluación de tal forma que al final se pueden comparar los resultados de ambos grupos y por consiguiente medir la efectividad del elemento probado. A continuación se muestra el diseño de estas las pruebas para probar el OAFI.

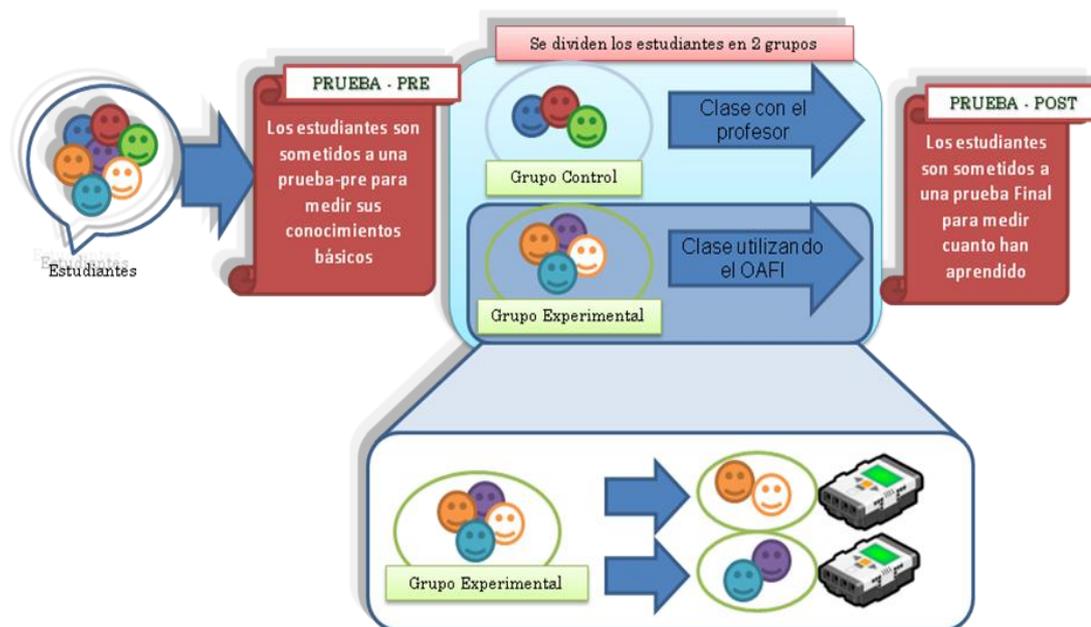


Figura 4.1 Diseño de las pruebas

En la Figura 4.1 se muestra el diseño de las pruebas. Inicialmente se les toma la prueba PRE a todos los estudiantes, luego estos estudiantes son separados en dos grupos. El grupo de control permanece en el aula recibiendo una clase con el profesor, mientras que el grupo experimental espera fuera del aula. Se le toma la prueba POST al grupo de control después de finalizar su clase con el profesor y se retiran del aula. Luego ingresa el grupo experimental, se los divide en 2 sub-grupos para poder tener una mejor interacción con el OAFI, cada uno de los grupos es asistido por un ayudante para la realización del laboratorio. Al finalizar la práctica se le toma la prueba POST a este grupo.

Para comparar los resultados se debe escoger que métodos estadísticos se ajustan a las restricciones y nos puedan servir para este fin, a continuación se muestran varios métodos.

4.1 Métodos Paramétricos vs no Paramétricos

Dentro de la estadística tenemos dos tipos de métodos, los paramétricos y los no paramétricos. Los paramétricos suponen que las muestras cumplen con la distribución normal y que la variable es continua. Además estos métodos son considerados de alta potencia estadística (18).

Los métodos paramétricos están basados en el teorema central del límite, el cual dice que si la muestra tiene una distribución aproximadamente normal, aunque la población de referencia no lo sea, entonces es válido el resultado de la estimación estadística. Esta estimación mejora a medida que el tamaño de la población aumenta.

Entre los métodos paramétricos más utilizados tenemos a la prueba T-Student(19), la cual permite comparar los resultados entre dos muestras y verificar o rechazar una hipótesis dada inicialmente. Para considerar válido el resultado de esta prueba se debe cumplir con las siguientes restricciones:

- Los datos están distribuidos de acuerdo a la curva normal.

- Existe una equivalencia entre las desviaciones estándar de la muestra
- Las muestras pueden ser dependientes o independientes. Para muestras independientes se debe trabajar con dos grupos escogidos aleatoriamente y para muestras dependientes los grupos deben ser idénticos.

Existen muchos casos en los que no se pueden demostrar los supuestos de la distribución. En estos casos se utilizan los métodos no paramétricos. Estos métodos son muy útiles cuando no se cumplen los supuestos, sin embargo estos métodos son de baja potencia estadística en comparación con los métodos paramétricos.

Los métodos no paramétricos más utilizados (20) son:

- Prueba de la mediana
- Pruebas en las que intervienen signos de diferencia
 - Prueba de signos
 - Prueba de Wilcoxon
- Pruebas por suma de rangos
 - Prueba de Mann-Whitney U
 - Prueba de Kruskal-Wallis
- Pruebas de correlación de rangos
 - Método de Spearman
 - Método de Kendall

Para realizar el estudio estadístico necesario para demostrar la validez de diseño propuesto para generar OAFIs, hemos escogido las pruebas de Wilcoxon y de Mann-Whitney, utilizadas para dos grupos de muestras ya sean dependientes o independientes. Estas pruebas son las análogas a la prueba T-Student, pero estas pruebas suponen que las muestras no tienen una distribución específica a diferencia de la T-Student.

La prueba Wilcoxon principalmente busca comparar las medianas de dos grupos dependientes de muestras para determinar si existe diferencia entre estos grupos. Los grupos deben tener ciertas características comunes y contar con el mismo número de muestras. Generalmente es utilizada para comprobar que un estímulo afecta o no a los individuos que son sujetos a prueba.

La prueba de Mann-Whitney U es una modificación de la de Wilcoxon y busca comparar dos grupos independientes de muestras para determinar si hay diferencias entre ambos grupos sin importar el número de muestras en cada grupo.

4.2 Métricas para evaluar la efectividad del OAFI

La efectividad del OAFI se definiría como “la capacidad de lograr mejorar el proceso de aprendizaje en las aulas de clase”. Para medir ese efecto en el

proceso de aprendizaje se definieron las siguientes métricas.

Métricas de la percepción de los estudiantes con respecto al OAFI.

- Grado de interés de los estudiantes hacia el OAFI. Cuan interesante les parece a los estudiantes el uso de este tipo de herramientas en el aula de clases.
- Facilidad de desarrollo del laboratorio y los cálculos a realizar en el mismo. El OAFI fue fácil de entender y los cálculos realizados fueron fáciles de identificar por los estudiantes.

Métricas del desempeño de los estudiantes

- Capacidad de integración de conocimientos para resolver problemas complejos. Que tan capaces son los estudiantes, de utilizar en conjunto los conocimientos aprendidos para resolver un problema de complejidad mayor a los normales.
- Mejora en el aprendizaje de conocimientos no integrados. Que tan bien comprendió los conceptos enseñados en el desarrollo del OAFI, estos conceptos son evaluados aisladamente.

Para obtener los resultados de estas métricas se realizaron dos tipos de pruebas, la primera fue tipo encuesta y la segunda fue de tipo evaluación, de esta forma en la encuesta se obtuvieron los datos para las métricas de percepción y la evaluación nos proveyó de los datos para las métricas de

desempeño. A continuación describimos las pruebas realizadas y especificamos los resultados obtenidos en cada una de ellas.

4.3 Pruebas y Análisis

4.3.1 Prototipo 1

Para probar el prototipo 1 y teniendo en cuenta de que no se ha obtenido ningún tipo de información o retroalimentación de parte de los usuarios, se decidió utilizar una encuesta para evaluar el OAFI y poder mejorar el proceso de utilización en las aulas de clase.

En esta encuesta se realizaron las siguientes preguntas a los estudiantes de dos paralelos de Diseño Mecánico:

1. ¿Le motivó aprender más sobre el tema de engranajes?
2. ¿Recomienda el uso del material de apoyo utilizado en esta clase para la enseñanza de otras materias? Si su respuesta fue afirmativa, indique en cuales materias le gustaría utilizarlo.

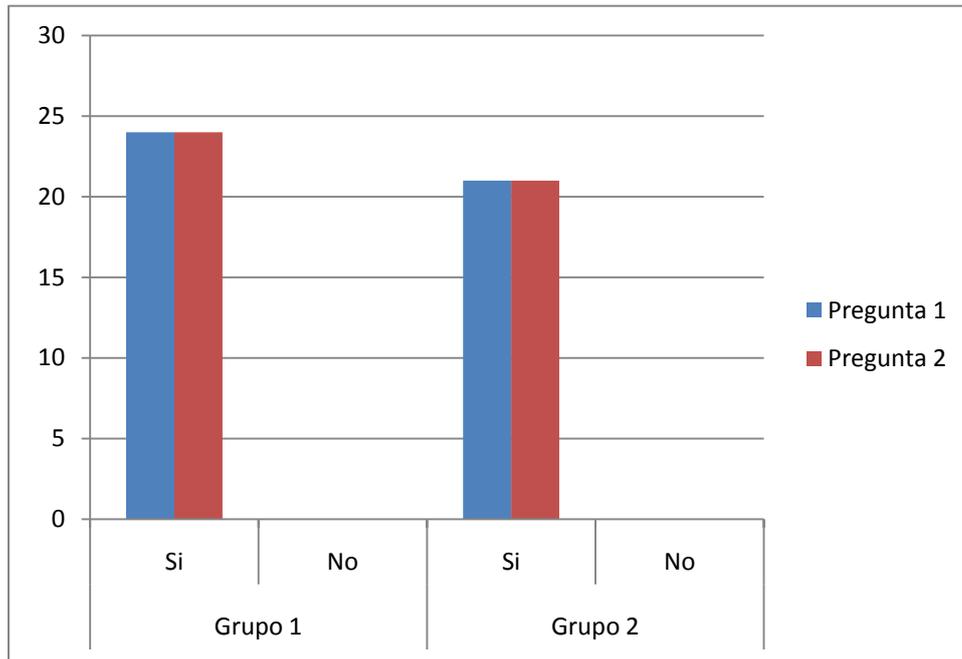


Figura 4.2. Resultados de las preguntas 1 y 2

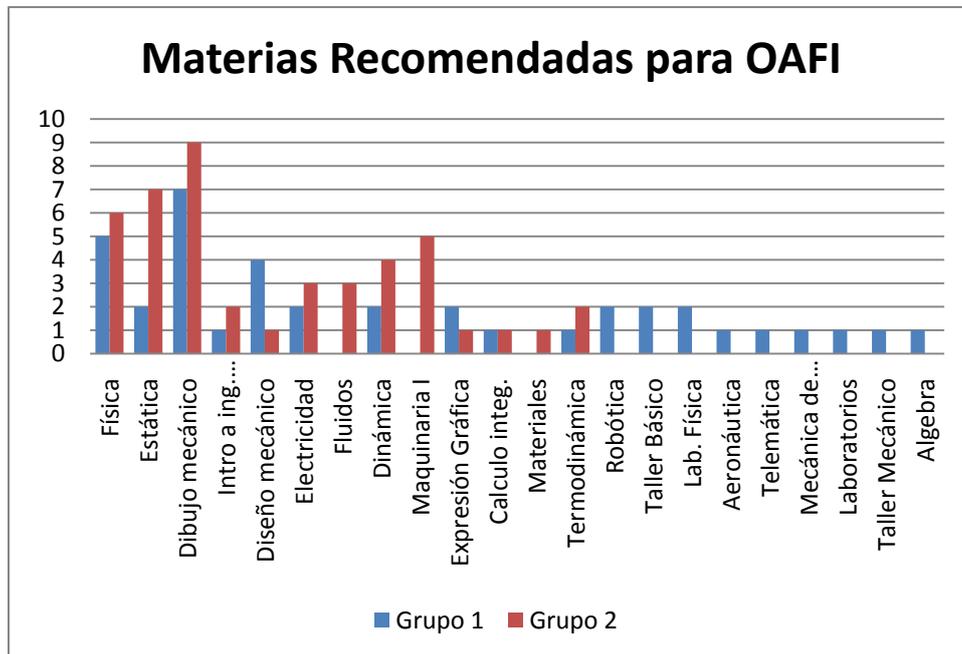


Figura 4.3. Materias recomendadas por los estudiantes para utilizar OAFIs

3. ¿Qué tan útil le parecería tener acceso a una biblioteca llena de este tipo de material?

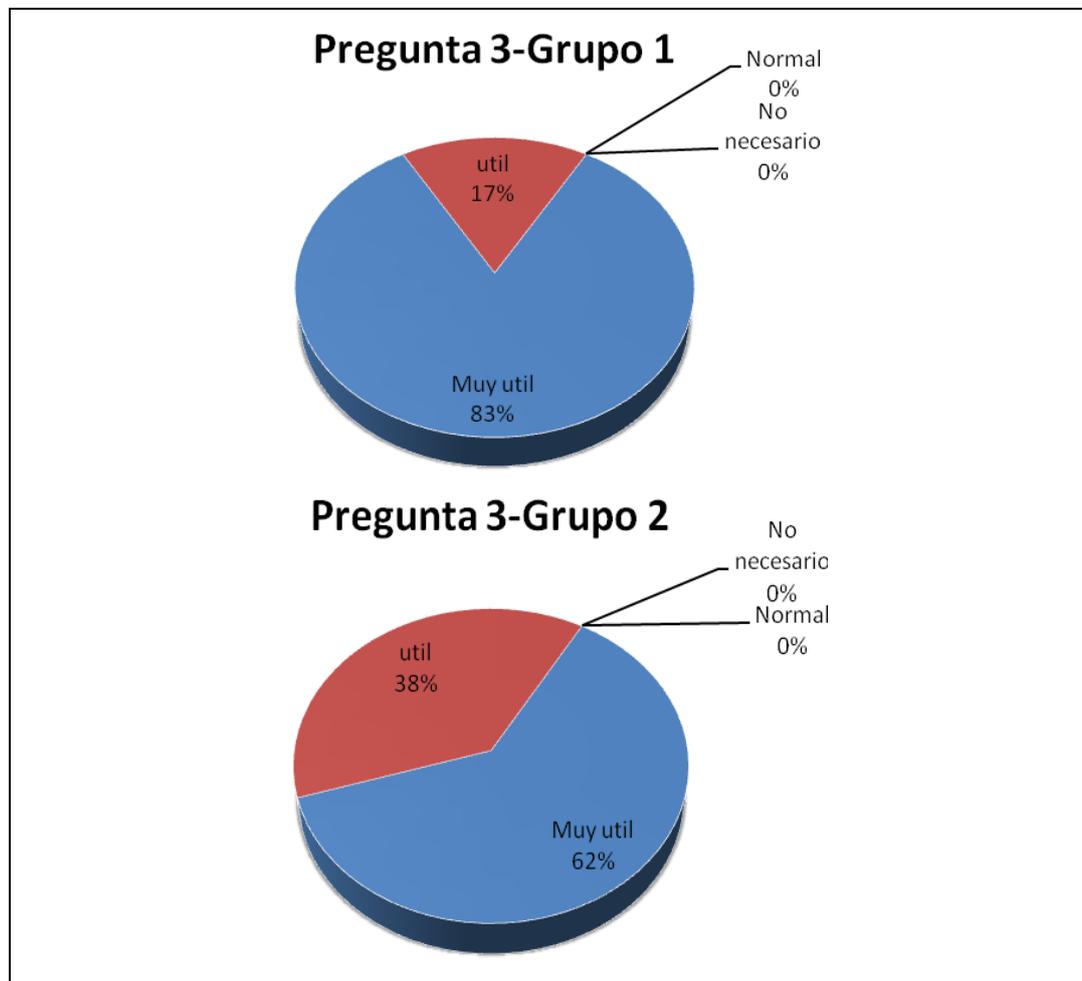


Figura 4.4. Resultados de la pregunta 3

4. ¿El desarrollo del laboratorio le pareció?

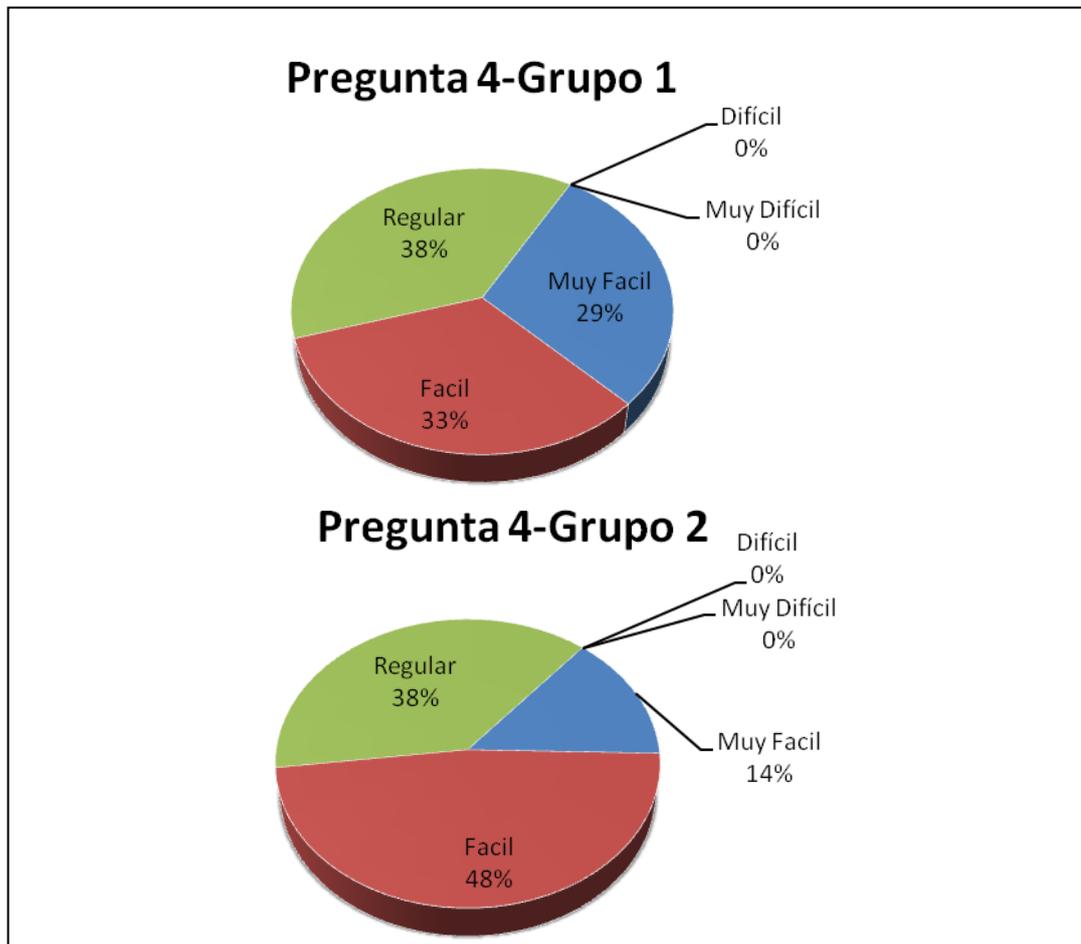


Figura 4.5. Resultados de la pregunta 4

Como se puede observar en las Figura 4.2 y Figura 4.3 correspondientes a los resultados de las dos primeras preguntas, que los estudiantes se sienten motivados a seguir investigando más acerca de los conceptos expuestos en la experimentación con el OAFI, además también les parece recomendable utilizar este tipo de herramientas en otras materias como Física, Estática, Maquinaria I y Dinámica entre las más mencionadas.

En la pregunta 3 los estudiantes respondieron que sería muy útil el poder tener acceso a una biblioteca con este tipo de materiales como se muestra en la Figura 4.4. Por último, les pareció que es fácil el desarrollo del laboratorio utilizando el OAFI como se muestra en la Figura 4.5.

Además se recibieron las siguientes recomendaciones:

- Para el desarrollo de los laboratorios no es muy recomendable trabajar con muchos estudiantes, ya que no todos tendrían el tiempo suficiente para interactuar con el modelo físico.
- Este tipo de materiales puede ser utilizado en materias que tengas ejercicios prácticos, como la utilización de poleas, medir momentos o torques.
- Este tipo de materiales nos da una idea real de lo que se está aprendiendo de forma teórica y así los estudiantes se interesan más en la aprendizaje.
- Estos resultados reflejan que los siguientes aspectos deben ser corregidos en el prototipo 1:
- Dividir a los estudiantes en grupos no muy grandes para que todos puedan aprender mediante la práctica y la manipulación de un prototipo funcional.
- La explicación por parte del expositor debe ser lo más clara posible.

4.3.2 Prototipo 2

Como se mostró en el capítulo anterior, el prototipo 2 utiliza principalmente conceptos de biela-manivela, por este motivo se decidió probarlo en el curso de Dinámica, ya que en este curso se analizan varios aspectos de este tipo de mecanismos, principalmente en relación al desplazamiento, velocidad y aceleración de las piezas que comprenden el sistema.

Para el desarrollo de estas pruebas se tomó en cuenta la utilización del diseño cuasi-experimental tal como se detalló al inicio de este capítulo. Estas pruebas fueron calificadas sobre 1.0, es decir; el mínimo valor posible es 0 y el máximo 1.0. A continuación se muestran los descriptivos de los resultados de estas pruebas:

Prueba	# Muestras	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
PRE	9	0,731	0,164	0,50	1,00
POST	9	0,574	0,265	0,17	1,00

Tabla 4.1 Estadística Descriptiva – Grupo de Control

Prueba	# Muestras	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
PRE	7	0,560	0,216	0,33	0,92
POST	7	0,453	0,330	0,00	1,00

Tabla 4.2 Estadística Descriptiva – Grupo Experimental

Como podemos verificar en las Tabla 4.1 y Tabla 4.2, los resultados de las pruebas aparentemente no fueron muy satisfactorios, ya que la media para el grupo experimental fue menor que la media del grupo de control para ambas pruebas. Sin embargo se necesita de un indicador más concluyente, para lo cual aplicamos la pruebas de Wicoxon y Mann Whitney-U.

A continuación se muestran los resultados de la prueba de Wilcoxon para el grupo de control:

POST-PRE	# Muestras	Media de Rangos	Suma de Rangos
Rangos negativos (Post < Pre)	6	4,00	24,00
Rangos positivos (Post > Pre)	1	4,00	4,00
Rangos cero (Post = Pre)	2		
Total	9		

Tabla 4.3 Rangos con signo de la prueba de Wilcoxon – Grupo de Control

La Tabla 4.3 muestra que hay 6 estudiantes del grupo de control que obtuvieron una calificación menor en la prueba POST que en la PRE, 2 estudiantes obtuvieron igual calificación y sólo 1 mejoró.

	POST –PRE
Z (Basado en rangos positivos)	-1,706
Valor p. (2-colas)	0,088

Tabla 4.4 Prueba Estadística de Wilcoxon – Grupo de Control

La Tabla 4.4 muestra que el valor obtenido ($p=0,088$) fue mayor que el nivel de significancia de 0,05 para el grupo de control, lo que indica que la clase con el profesor no tuvo un efecto considerable sobre este grupo.

A continuación se muestran los resultados de la prueba de Wilcoxon para el grupo experimental:

POST-PRE	# Muestras	Media de Rangos	Suma de Rangos
Rangos negativos (Post < Pre)	4	4,62	18,50
Rangos positivos (Post > Pre)	3	3,16	9,50
Rangos cero (Post = Pre)	0		
Total	7		

Tabla 4.5 Rangos con signo de la prueba de Wilcoxon – Grupo Experimental

La Tabla 4.5 muestra que hay 4 estudiantes del grupo experimental que obtuvieron una calificación menor en la prueba POST que en la PRE y 3 estudiantes obtuvieron mejor calificación en el POST que en el PRE.

	POST –PRE
Z (Basado en rangos positivos)	-0,762
Valor p. (2-colas)	0,446

Tabla 4.6 Prueba Estadística de Wilcoxon – Grupo Experimental

La Tabla 4.6 muestra que el valor obtenido ($p=0,446$) fue mayor que el nivel de significancia de 0,05 para el grupo experimental, lo que indica que la clase con el OAFI tampoco tuvo un efecto considerable sobre este grupo.

Para probar si un grupo mejoró más que el otro utilizamos la prueba de Mann Whitney-U, para la cual no es necesario que las muestras sean de igual tamaño, es decir que permite comparar los resultados de dos grupos de estudiantes aunque estos no tengan el mismo número de integrantes. A continuación se muestran los resultados de esta prueba realizada a ambos grupos.

Prueba	# Muestras	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
PRE	16	0,656	0,202	0,33	1,00
POST	16	0,521	0,291	0,00	1,00

Tabla 4.7 Estadística Descriptiva

Grupo	# Muestras	Media de Rangos	Suma de Rangos
PRE Grupo control	9	10,22	92,00
PRE Grupo experimental	7	6,29	44,00
POST Grupo control	9	9,39	84,50
POST Grupo experimental	7	7,36	51,50

Tabla 4.8 Rangos con signo de la prueba de Mann Whitney U

	PRE	POST
Z (Basado en rangos positivos)	-1,660	-0,860
Valor p. (2-colas)	0,097	0,390

Tabla 4.9 Prueba Estadística de Mann Whitney U

Lo que indica esta prueba es que el valor obtenido para la prueba PRE ($p=0,097$) de la Tabla 4.9 es menor que el nivel de significancia 0,05 y por lo tanto el nivel de conocimiento, previo a la clase, de ambos grupos no es significativamente diferente.

En el caso de la prueba POST se obtuvo el valor ($p=0,390$) lo cual indica que tampoco existe la suficiente evidencia para determinar si los resultados son diferentes, es decir; que no hay una diferencia marcada entre el nivel de

aprendizaje de los estudiantes del grupo de control y los del grupo experimental.

Estos resultados se debieron principalmente a que los estudiantes del grupo experimental no alcanzaron a terminar a tiempo la clase práctica y tampoco terminaron la prueba POST, de esta forma se decidió corregir los siguientes aspectos en el prototipo 2:

- Replantear la guía del laboratorio para que sea más sencilla de seguir, más rápida de terminar y que explique los mismos conceptos.
- Modificar el prototipo físico para que los estudiantes no pierdan tiempo poniendo y sacando piezas, ya que como se muestra en los anexos del prototipo 2 se necesitaban quitar los rollos de papel para poder obtener los datos experimentales.

4.3.3 Prototipo 3

Para este prototipo se hicieron las mejoras detalladas en el capítulo 3 y fue probado en el curso de Mecánica de Maquinarias I, ya que al igual que en la materia de Dinámica, en esta se estudian varios aspectos de los sistemas de biela-manivela y estuvo entre las materias más sugeridas en las encuestas del prototipo 1.

Para poder probar correctamente este prototipo se trató de controlar la mayor cantidad de variables externas posibles, es decir; se controló mejor el tiempo de la práctica y las actividades que se desarrollaron dentro de la misma, además, se utilizó el mismo diseño de pruebas del prototipo anterior, representado en la Figura 4.1. A continuación se muestran los descriptivos de los resultados de estas pruebas:

Prueba	# Muestras	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
PRE	11	0,736	0,170	0,42	1,00
POST	11	0,607	0,172	0,33	1,00

Tabla 4.10 Estadística Descriptiva – Grupo de Control

Prueba	# Muestras	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
PRE	11	0,743	0,239	0,17	1,00
POST	11	0,883	0,106	0,67	1,00

Tabla 4.11 Estadística Descriptiva – Grupo Experimental

Como podemos verificar en las Tabla 4.10 y Tabla 4.11, los resultados de las pruebas fueron parecidos en la prueba PRE, sin embargo hay una mayor diferencia en la prueba POST de ambos grupos, dado que la media de grupo de control es menor que la media del grupo de experimental, incluso el grupo de control no mejoró entre la prueba PRE y la POST, sin embargo el grupo experimental si lo hizo. A continuación se muestran los resultados después

de aplicar la prueba de Wilcoxon a las calificaciones obtenidas por los estudiantes.

POST-PRE	# Muestras	Media de Rangos	Suma de Rangos
Rangos negativos (Post < Pre)	6	5,75	34,50
Rangos positivos (Post > Pre)	3	3,50	10,50
Rangos cero (Post = Pre)	2		
Total	11		

Tabla 4.12 Rangos con signo de la prueba de Wilcoxon – Grupo de Control

La Tabla 4.12 muestra que hay 6 estudiantes del grupo de control que obtuvieron una calificación menor en la prueba POST que en la PRE y 3 estudiantes obtuvieron mejor calificación en el POST que en el PRE, los otros 2 obtuvieron igual calificación.

	POST -PRE
Z (Basado en rangos positivos)	-1,428
Valor p. (2-colas)	0,153

Tabla 4.13 Prueba Estadística de Wilcoxon – Grupo de Control

La Tabla 4.13 muestra que el valor obtenido ($p=0,153$) fue mayor que el nivel de significancia de 0,05 para el grupo de control, lo que indica que la clase con el profesor no produjo una diferencia significativa sobre este grupo.

A continuación se muestran los resultados de la prueba de Wilcoxon para el grupo experimental:

POST-PRE	# Muestras	Media de Rangos	Suma de Rangos
Rangos negativos (Post < Pre)	2	3,0	6,0
Rangos positivos (Post > Pre)	7	5,57	39,0
Rangos cero (Post = Pre)	2		
Total	11		

Tabla 4.14 Rangos con signo de la prueba de Wilcoxon – Grupo Experimental

La Tabla 4.14 muestra que hay 2 estudiantes del grupo de control que obtuvieron una calificación menor en la prueba POST que en la PRE, 7 estudiantes obtuvieron mejor calificación en la POST que en la PRE y sólo 2 estudiantes obtuvieron igual calificación.

	POST –PRE
Z (Basado en rangos positivos)	-1,969
Valor p. (2-colas)	0,049

Tabla 4.15 Prueba Estadística de Wilcoxon – Grupo Experimental

La Tabla 4.15 muestra que el valor obtenido ($p=0,040$) fue menor que el nivel de significancia de 0,05 para el grupo experimental, lo que indica que la clase con el OAFI si produjo una diferencia significativa sobre este grupo.

A continuación se muestran los resultados de la prueba Mann Whitney U realizada a ambos grupos.

Prueba	# Muestras	Media	Desviación Estándar	Mínimo	Máximo
PRE	22	0,740	0,202	0,17	1,00
POST	22	0,745	0,198	0,33	1,00

Tabla 4.16 Estadística Descriptiva

Grupo	# Muestras	Media de Rangos	Suma de Rangos
PRE Grupo control	11	10,68	117,50
PRE Grupo experimental	11	12,32	135,50
POST Grupo control	11	7,05	77,50
POST Grupo experimental	11	15,95	175,50

Tabla 4.17 Rangos con signo de la prueba de Mann Whitney U

	PRE	POST
Z (Basado en rangos positivos)	-0,598	-3,089
Valor p. (2-colas)	0,550	0,001

Tabla 4.18 Prueba Estadística de Mann Whitney U

Esta prueba nos indica que el valor obtenido para la prueba PRE ($p=0,550$) de la Tabla 4.18 es mayor que el nivel de significancia 0,05 y por lo tanto el nivel de conocimiento, previo a la clase, de ambos grupos no es significativamente diferente.

En el caso de la prueba POST se obtuvo el valor ($p=0,001$) lo cual indica que existe la suficiente evidencia para determinar que los resultados son diferentes, es decir; existe una marcada diferencia entre el nivel de aprendizaje alcanzado por los estudiantes del grupo de control y los del grupo experimental, y además que ese nivel de aprendizaje es mayor en el grupo experimental.

CONCLUSIONES Y

RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

1. Se encontró que la utilización de un OAFI como herramienta de apoyo para las clases mejoró el aprendizaje de los estudiantes. Tal y como se muestra en la Tabla 4.18 correspondiente a las pruebas del prototipo 3, en las que se obtuvo un valor p menor a 0,05 para la prueba de Mann Whitney U, lo que nos indica que los estudiantes del grupo experimental obtuvieron mejores resultados que los del grupo de control.
2. Pudimos observar que la complejidad del OAFI en el segundo prototipo afectó el desarrollo en los estudiantes, mientras que en el tercer prototipo estos resultados son mejorados tal como se muestran en las Tablas 4.6 y 4.15 correspondientes a las pruebas de Wilcoxon para el prototipo 2 y el prototipo 3 respectivamente. De esta manera consideramos que la complejidad del diseño del OAFI influye en el desarrollo.
3. Los estudiantes se sienten incentivados a aprender utilizando un OAFI. Esto es indicado en la Figura 4.2 de las pruebas del prototipo 1 que muestra las respuestas de los estudiantes consultados.

4. El OAFI permite integrar varias ramas del conocimiento de manera que el estudiante puede comprender como beneficiarse de diferentes conocimientos para resolver un problema complejo, tal y como se demuestra en las pruebas post del tercer prototipo, en las cuales los estudiantes del grupo experimental obtuvieron mejores resultados que los estudiantes del grupo de control.

5. No se hallaron suficientes evidencias para comprobar que el uso del OAFI mejora el aprendizaje de conocimientos no integrados, ya que los resultados obtenidos en las pruebas de los 3 prototipos no muestran ninguna diferencia significativa entre los estudiantes de ambos grupos.

RECOMENDACIONES

1. Para trabajos posteriores se recomienda hacer un proceso de certificación para OAFIs, la cual consistiría en verificar que se cumplan los objetivos del OAFI en el tiempo asignado en varios términos académicos, garantizado su validez.
2. El prototipo físico debe ser fácil de manipular para tomar datos, de preferencia no incluir dentro de la práctica la modificación de partes o piezas del prototipo, ya que esto puede ser una desventaja para su utilización en el aula de clases.
3. Se recomienda utilizar una conexión sincrónica entre el SADC y el prototipo físico cuando estos se comunican a través de paso de mensajes, esto evita que se produzca un encolamiento de mensajes y por consiguiente un retraso en el procesamiento de los comandos.
4. Es mejor trabajar con grupos pequeños de estudiantes, ya que así todos tienen oportunidad de interactuar con el prototipo físico y aprender de este.
5. El laboratorio debe ser sencillo y fácil de seguir para que los estudiantes puedan realizar la práctica sin mayor inconveniente.

6. El uso de referencias teóricas es muy útil para poder entender conceptos prácticos ya que el estudiante se familiariza con el concepto y luego lo entiende más rápido al ver la teoría, tal y como se muestra en los resultados del tercer prototipo ya que se utilizaron este tipo de referencias a lo largo de la clase.
7. El laboratorio debe durar menos de una hora para que luego haya oportunidad de generación de preguntas por parte de los estudiantes y profundización de conceptos teóricos por parte del profesor.
8. Mejorar en los mensajes de errores de conexión en la implementación del SADC, debido que en algunos casos no se lo manejó.
9. Es importante que se posean los sensores correctos para medir las variables que se van a estudiar.
10. Utilizar una muestra de estudiantes mayor para demostrar que el uso del OAFI mejora el aprendizaje de conocimientos no integrados.
11. Es recomendable que cada estudiante llene la hoja de cálculos para que de alguna manera interactúe con el OAFI.

12. Para mejorar la metodología propuesta en este trabajo se recomienda que se la evalúe con varios profesores para que indiquen si la metodología sugerida es la adecuada y que recomendaciones se le puede hacer a la misma

ANEXOS

A. Laboratorio 1 - Anexo Teórico

Laboratorio 1

Recordemos los conceptos

Engranaje.- Es un conjunto de dos ruedas dentadas que engranan entre ellas para transmitir movimiento de rotación entre sus ejes. Generalmente la rueda más pequeña se la llama piñón.

Tren de Engranajes.- Se denomina así a un conjunto de engranes.

Transmisión.- Se denomina a un mecanismo encargado de transmitir movimiento y potencia entre dos o más elementos de una máquina.

Obtención de la relación de transmisión

Dada la siguiente formula de relación de transmisión:

$$\tau = \frac{\omega_{conducido}}{\omega_{conductor}}$$

Ecuación 8 Relación de Transmisión

Tenemos que la relación de transmisión en un engrane es igual a la velocidad angular $\omega_{conducido}$ o de salida para la velocidad $\omega_{conductor}$ o de entrada como se muestra en la siguiente Figura 1:

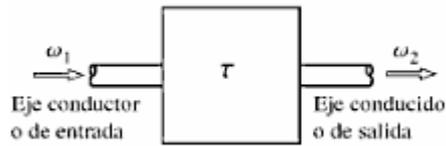


Figura 1 Relación de transmisión τ

Sin embargo la relación de transmisión también puede ser obtenida a través de los dientes de engranajes donde:

$$\tau = \frac{Z_{conductor}}{Z_{conducido}}$$

Ecuación 9 Relación de transmisión a través de los dientes de los engranes

Donde z es el número de dientes de las ruedas dentadas respectivas.

Analicemos el siguiente ejemplo:

Si tenemos un $\omega_{conductor}=1500$ rpm, $z_{conductor}= 11$ dientes y $z_{conducido} = 18$ dientes

Si igualamos la ecuación 1 y 2 obtendremos que:

$$\frac{\omega_{conducido}}{\omega_{conductor}} = \frac{z_{conductor}}{z_{conducido}} \quad \text{Entonces, } \omega_{conducido} = \frac{z_{conductor}}{z_{conducido}} \cdot \omega_{conductor} = \frac{11}{18} \cdot 1500$$

$$=916.67 \text{ rpm}$$

$\omega_{conducido} = 916.67$ rpm y $\omega_{conductor} = 1500$ rpm. Lo cual podemos concluir que la relación de engranajes fue reductora es decir disminuyo la velocidad de entrada (conductora) a una mucho menor de salida (conducida).

Sin embargo que sucedería si hay más de un engranaje en el sistema?

Cuando existen más de un engranaje en el sistema se lo llama **tren de engranaje**. Por ejemplo veamos la siguiente figura 2:

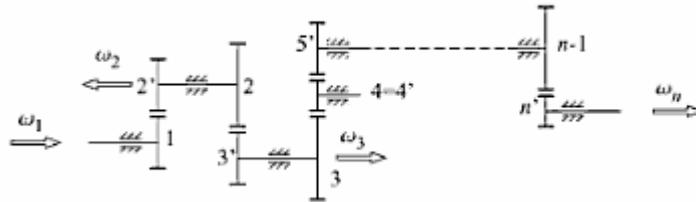


Figura 2 Tren de Engranaje

Para hallar la ecuación de transmisión total del sistema tenemos que:

$$\tau = \frac{\prod \omega_{conducido}}{\prod \omega_{conductor}} = \frac{\prod z_{conductor}}{\prod z_{conducido}}$$

Ecuación 10 Transmisión total

Entonces, si a la figura 2 le aplicamos la Ecuación 3 tendremos:

$$\tau = \frac{\omega_{2'} \cdot \omega_{3'} \cdot \omega_{4'} \cdot \omega_{5'} \cdot \dots \cdot \omega_{n'}}{\omega_1 \cdot \omega_2 \cdot \omega_3 \cdot \omega_4 \cdot \dots \cdot \omega_{n-1}}$$

Ecuación 11 Transmisión total de la figura 2

Considerando que la velocidad angular es la misma cuando las ruedas dentadas están sobre el mismo eje, tendremos que $\omega_{2'} = \omega_2$; $\omega_{3'} = \omega_3$;

$$\omega_{4'} = \omega_4 ; \omega_{5'} = \omega_{n-1}$$

La Ecuación 4 reducida nos quedaría de la siguiente manera:

$$\tau = \frac{\omega_n}{\omega_1} = \frac{\omega_{saliente}}{\omega_{entrante}} = \frac{Z_{conductor_saliente}}{Z_{conducido_entrante}}$$

De esta manera se demuestra que el valor de transmisión de un tren de engranajes es igual a la velocidad de entrada del primer engrane a la velocidad de salida del último engrane.

Tarea de investigación

1. Demuestre que $\tau = \frac{Z_{conductor_saliente}}{Z_{conducido_entrante}}$ para un tren de engranajes.

B. NxtCommunicator.cs

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Text;
using System.IO.Ports;
using Bram.Utilities;

namespace NxtCommunicator
{
    class NxtCommunicator
    {
        public delegate void fn(byte[] paquete);

        private fn _callback=null;
        private string _portName;

        /// <summary>
        /// Get or Set _portName value
        /// </summary>
        public string PortName
        {
            get { return _portName; }
            set { _portName = value; }
        }

        public SerialPort _port = null;

        /// <summary>
        /// Constructs a LEGO communicator with the specified portname
        /// </summary>
        /// <param name="portname"></param>
        public NxtCommunicator(string portname, fn callback)
        {
            _portName = portname;
            _callback = callback;
        }

        #region Connection handling

        /// <summary>
        /// Connects to the COM port associated with this communicator
        /// </summary>
        public void Connect()
        {
            if (_port != null)
            {
                Disconnect();
            }
            _port = new SerialPort(_portName);
            _port.DataReceived +=
                System.IO.Ports.SerialDataReceivedEventHandler(this.DataReceivedEventHandlerSenc);
            _port.Open();
            IsConnected = true;
        }
        private void DataReceivedEventHandlerSenc(object sender, SerialDataReceivedEventArgs e)
        {
            int lsb = _port.ReadByte();
            int msb = _port.ReadByte();
            int size = lsb + msb * 256;
        }
    }
}
```

```

byte[] reply = new byte[size];
_port.Read(reply, 0, size);
_callback(reply);
}

/// <summary>
/// Disconnects the communicator class
/// </summary>
public void Disconnect()
{
    IsConnected = false;
    if (_port.IsOpen)
    {
        _port.Close();
        _port.Dispose();
    }
    _port = null;
}

/// <summary>
/// Are we connected to the Lego NXT Brick?
/// </summary>
public bool IsConnected
{
    get
    {
        return _isConnected;
    }
    private set
    {
        _isConnected = value;
    }
}
bool _isConnected = false;

#endregion

#region Communication primitives

/// <summary>
/// Envía un mensaje al brick para que sea leído por TraductorMensaje
/// </summary>
/// <param name="message"></param>
public void sendMessageAlternative(byte[] message)
{
    if (!IsConnected)
    {
        throw new InvalidOperationException("Can't send message - not connected");
    }
    else
    {
        lock (this)
        {
            int length = message.Length;
            byte[] btMessage = new byte[length + 2];
            btMessage[0] = (byte)(length & 0xFF);
            btMessage[1] = (byte)((length & 0xFF00) >> 8);
            message.CopyTo(btMessage, 2);
            _port.Write(btMessage, 0, btMessage.Length);
        }
    }
}
}

```

```

/// <summary>
/// Sends the specified message to the port.
/// </summary>
/// <param name="message"></param>
public byte[] sendMessage(byte[] message)
{
    if (!IsConnected)
    {
        throw new InvalidOperationException("Can't send message - not connected");
    }
    else
    {
        lock (this)
        {
            int length = message.Length;
            byte[] btMessage = new byte[length + 2];
            btMessage[0] = (byte)(length & 0xFF);
            btMessage[1] = (byte)((length & 0xFF00) >> 8);
            message.CopyTo(btMessage, 2);
            _port.Write(btMessage, 0, btMessage.Length);

            if (message[0] < 0x80)
            {
                // A reply is expected. Check it.
                int lsb = _port.ReadByte();
                int msb = _port.ReadByte();
                int size = lsb + msb * 256;
                byte[] reply = new byte[size];
                _port.Read(reply, 0, size);

                if (reply[0] != 0x02)
                {
                    throw new Exception("Unexpected return message type: " + Util.Hex(reply[0]));
                }

                if (reply[1] != message[1])
                {
                    throw new Exception("Unexpected return command: " + Util.Hex(reply[2]));
                }
                if (reply[2] > 0)
                {
                    NxtMessageResult error = (NxtMessageResult)reply[2];
                    string errorMessage = "Nxt Error: " + error + " in reply to command " + Util.Hex(message);

                    switch (error)
                    {
                        {
                            case NxtMessageResult.ChannelBusy:
                                throw new NxtChannelBusyException(errorMessage);

                            case NxtMessageResult.CommBusError:
                                throw new NxtCommBusErrorException(errorMessage);

                            default:
                                throw new ApplicationException(errorMessage);
                        }
                    }
                }

                return reply;
            }
            else
            {
                return null;
            }
        }
    }
}

```

```
    }  
  }  
}
```

#endregion

#region System Commands

```
/// <summary>  
/// Sets the name of the LEGO brick.  
/// </summary>  
/// <param name="name"></param>  
public void SetBrickName(string name)  
{  
    if (name.Length > 14)  
    {  
        name = name.Substring(0, 14);  
    }  
    byte[] nameBytes = System.Text.Encoding.ASCII.GetBytes(name);  
    byte[] message = new byte[18];  
    message[0] = 0x01; // Do not expect an answer  
    message[1] = (byte)NxtCommand.SetBrickName; // SetBrickName Command ID  
    nameBytes.CopyTo(message, 2);  
    sendMessage(message);  
}
```

#endregion

#region Direct Commands

#region Motor Commands

```
/// <summary>  
/// Sends a drive command to one of the motors  
/// </summary>  
/// <param name="port"></param>  
/// <param name="power"></param>  
/// <param name="mode"></param>  
/// <param name="regulationMode"></param>  
/// <param name="speed"></param>  
/// <param name="runState"></param>  
/// <param name="tachoLimit"></param>  
public void SetOutputState(NxtMotorPort port, sbyte power, NxtMotorMode mode, NxtMotorRegulationMode  
regulationMode, sbyte turnRatio, NxtMotorRunState runState, uint tachoLimit)  
{  
    byte[] message = new byte[12];  
    message[0] = 0x80;  
    message[1] = (byte)NxtCommand.SetOutputState;  
    message[2] = (byte)port;  
    message[3] = (byte)power;  
    message[4] = (byte)mode;  
    message[5] = (byte)regulationMode;  
    message[6] = (byte)turnRatio;  
    message[7] = (byte)runState;  
    Util.SetUInt32(message, 8, tachoLimit);  
    sendMessage(message);  
}
```

```
/// <summary>  
/// Gets the state of one of the motors  
/// </summary>  
/// <param name="port"></param>  
/// <param name="power"></param>  
/// <param name="mode"></param>  
/// <param name="regulationMode"></param>
```

```

/// <param name="turnRatio"></param>
/// <param name="runState"></param>
/// <param name="tachoLimit"></param>
/// <param name="tachoCount"></param>
/// <param name="blockTachoCount"></param>
/// <param name="rotationCount"></param>
public NxtGetOutputState GetOutputState(NxtMotorPort port)
{
    byte[] message = new byte[3];
    message[0] = 0x00;
    message[1] = (byte)NxtCommand.GetOutputState;
    message[2] = (byte)port;
    byte[] reply = sendMessage(message);
    NxtGetOutputState result = new NxtGetOutputState();
    result.Power = (sbyte)reply[4];
    result.Mode = (NxtMotorMode)reply[5];
    result.RegulationMode = (NxtMotorRegulationMode)reply[6];
    result.TurnRatio = (sbyte)reply[7];
    result.RunState = (NxtMotorRunState)reply[8];
    result.TachoLimit = Util.GetUInt32(reply, 9);
    result.TachoCount = Util.GetInt32(reply, 13);
    result.BlockTachoCount = Util.GetInt32(reply, 17);
    result.RotationCount = Util.GetInt32(reply, 21);
    return result;
}

public void ResetMotorPosition(NxtMotorPort port, bool relative)
{
    byte[] message = new byte[4];
    message[0] = 0x80; // do not expect an answer
    message[1] = (byte)NxtCommand.ResetMotorPosition;
    message[2] = (byte)port;
    if (relative)
    {
        message[3] = 1;
    }
    else
    {
        message[3] = 0;
    }
    sendMessage(message);
}

#endregion

#region Sensor commands

/// <summary>
///
/// </summary>
/// <param name="port"></param>
/// <param name="type"></param>
/// <param name="mode"></param>
public void SetInputMode(NxtSensorPort port, NxtSensorType type, NxtSensorMode mode)
{
    byte[] message = new byte[5];
    message[0] = (byte)NxtCommandType.DirectCommandWithResponse;
    message[1] = (byte)NxtCommand.SetInputMode;
    message[2] = (byte)port;
    message[3] = (byte)type;
    message[4] = (byte)mode;
    sendMessage(message);
}

/// <summary>

```

```

///
/// </summary>
/// <param name="port"></param>
/// <returns></returns>
public NxtGetInputValues GetInputValues(NxtSensorPort port)
{
    NxtGetInputValues result = new NxtGetInputValues();
    byte[] message = new byte[3];
    message[0] = 0x00; // Expect an answer
    message[1] = (byte)NxtCommand.GetInputValues;
    message[2] = (byte)port;
    byte[] reply = sendMessage(message);
    result.Valid = (reply[4] == 1) ? true : false;
    result.Calibrated = (reply[5] == 1) ? true : false;
    result.Type = (NxtSensorType)reply[6];
    result.Mode = (NxtSensorMode)reply[7];
    result.RawAD = Util.GetUInt16(reply, 8);
    result.NormalizedAD = Util.GetUInt16(reply, 10);
    result.ScaledValue = Util.GetInt16(reply, 12);
    result.CalibratedValue = Util.GetInt16(reply, 14);
    return result;
}

#endregion

#region I2C (Low speed bus) Commands

/// <summary>
/// Reads the amount of bytes ready at a port on the I2C (Low speed)
/// </summary>
/// <param name="port"></param>
/// <returns></returns>
public int LSGetStatus(NxtSensorPort port)
{
    byte[] message = new byte[3];
    message[0] = (byte)NxtCommandType.DirectCommandWithResponse;
    message[1] = (byte)NxtCommand.LSGetStatus;
    message[2] = (byte)port;
    byte[] reply = sendMessage(message);
    return reply[3];
}

/// <summary>
/// Writes a message to a port on the I2C (Low speed)
/// </summary>
/// <param name="port"></param>
/// <param name="data"></param>
/// <param name="returnMessageLength">the length of the return message (you must specify this)</param>
public void LSWrite(NxtSensorPort port, byte[] data, int returnMessageLength)
{
    if (data.Length < 1 || data.Length > 16)
    {
        throw new InvalidOperationException("data length must be between 1 and 16 bytes");
    }

    byte[] message = new byte[5 + data.Length];
    message[0] = (byte)NxtCommandType.DirectCommandWithResponse;
    message[1] = (byte)NxtCommand.LSWrite;
    message[2] = (byte)port;
    message[3] = (byte)data.Length;
    message[4] = (byte)returnMessageLength;
    Array.Copy(data, 0, message, 5, data.Length);
    sendMessage(message);
}

```

```

/// <summary>
/// Reads all bytes from a sensor port using the I2C (low speed) bus
/// </summary>
/// <returns></returns>
public byte[] LSRead(NxtSensorPort port)
{
    byte[] message = new byte[3];
    message[0] = (byte)NxtCommandType.DirectCommandWithResponse;
    message[1] = (byte)NxtCommand.LSRead;
    message[2] = (byte)port;
    byte[] reply = sendMessage(message);
    int length = (int)reply[3];
    byte[] result = new byte[length];
    Array.Copy(reply, 4, result, 0, length);
    return result;
}

#endregion

#region Misc Commands

/// <summary>
/// Send keepalive signal to Lego Brick
/// </summary>
/// <param name="name"></param>
public void KeepAlive()
{
    byte[] message = new byte[2];
    message[0] = 0x80; // Do not expect an answer
    message[1] = (byte)NxtCommand.KeepAlive; // KeepAlive Command ID
    sendMessage(message);
}

/// <summary>
/// Retrieves the battery level
/// </summary>
/// <returns>the battery level, in millivolts</returns>
public int GetBatteryLevel()
{
    byte[] message = new byte[2];
    message[0] = 0x00; // Expect an answer
    message[1] = (byte)NxtCommand.GetBatteryLevel; // GetBatteryLevel Command ID
    byte[] reply = sendMessage(message);
    return Util.GetUInt16(reply, 3);
}

#endregion

#region Bluetooth messages

#region Sending

/// <summary>
/// Sends a message to a bluetooth mailbox
/// </summary>
/// <param name="mailbox">The mailbox number [0-9]</param>
/// <param name="data"></param>
public void MessageWrite(byte mailbox, byte[] data)
{
    if (data.Length > 57)
    {
        throw new ArgumentException("Data size must be less than 58 bytes");
    }
    byte[] message = new byte[5 + data.Length];
}

```

```

message[0] = 0x80; // do not expect an answer
message[1] = (byte)NxtCommand.MessageWrite;
message[2] = mailbox;
message[3] = (byte)(data.Length + 1);
for (int i = 0; i < data.Length; i++)
{
    message[i + 4] = data[i];
}
}
sendMessage(message);
}

/// <summary>
/// Sends a string to a bluetooth mailbox
/// </summary>
/// <param name="mailbox"></param>
/// <param name="data"></param>
public void MessageWrite(byte mailbox, string value)
{
    MessageWrite(mailbox, Encoding.ASCII.GetBytes(value));
}

/// <summary>
/// Sends a number to a bluetooth mailbox
/// </summary>
/// <param name="mailbox"></param>
/// <param name="data"></param>
public void MessageWrite(byte mailbox, int value)
{
    byte[] data = new byte[4];
    Util.SetInt32(data, 0, value);
    MessageWrite(mailbox, data);
}

/// <summary>
/// Sends a boolean to a bluetooth mailbox
/// </summary>
/// <param name="mailbox"></param>
/// <param name="data"></param>
public void MessageWrite(byte mailbox, bool value)
{
    byte[] data = new byte[1];
    data[0] = (byte)(value ? 0x01 : 0x00);
    MessageWrite(mailbox, data);
}

#endregion

#region Receiving

/// <summary>
/// Reads data from the specified mailbox
/// </summary>
/// <param name="mailbox">mailbox on the NXT [0-9]</param>
/// <returns></returns>
public byte[] MessageRead(byte mailbox)
{
    byte[] message = new byte[5];
    message[0] = 0x00; // Expect an answer
    message[1] = (byte)NxtCommand.MessageRead;
    message[2] = (byte)(mailbox + 10);
    message[3] = (byte)(mailbox + 10);
    message[4] = 0x01;
    byte[] reply = sendMessage(message);
    int size = reply[4];
    byte[] result = new byte[size];
    Array.Copy(reply, 5, result, 0, size);
}

```

```

    return result;
}

/// <summary>
/// Reads a string from the specified mailbox
/// </summary>
/// <param name="mailbox">The mailbox [0-9]</param>
/// <returns></returns>
public string MessageReadString(byte mailbox)
{
    byte[] data = MessageRead(mailbox);
    return Encoding.ASCII.GetString(data, 0, data.Length - 1);
}

/// <summary>
/// Reads an int from the specified mailbox
/// </summary>
/// <param name="mailbox">The mailbox [0-9]</param>
/// <returns></returns>
public int MessageReadInt(byte mailbox)
{
    byte[] data = MessageRead(mailbox);
    return Util.GetInt32(data, 0);
}

/// <summary>
/// Reads a bool from the specified mailbox
/// </summary>
/// <param name="mailbox">The mailbox [0-9]</param>
/// <returns></returns>
public bool MessageReadBool(byte mailbox)
{
    byte[] data = MessageRead(mailbox);
    return data[0] != 0;
}

#endregion

#endregion

#endregion

#region I2C Command Helpers

/// <summary>
/// Writes a byte on the I2C (Low Speed) interface
/// </summary>
/// <param name="port"></param>
/// <param name="address"></param>
/// <param name="value"></param>
public void I2CSetByte(NxtSensorPort port, byte address, byte value)
{
    byte[] i2cCmd = new byte[3];
    i2cCmd[0] = 0x02;
    i2cCmd[1] = address;
    i2cCmd[2] = value;
    LSWrite(port, i2cCmd, 0);
}

/// <summary>
/// Reads a byte from the I2C (low speed) interface
/// </summary>
/// <param name="port"></param>
/// <param name="address"></param>

```

```

/// <returns></returns>
public byte I2CGetByte(NxtSensorPort port, byte address)
{
    byte[] i2cCmd = new byte[2];
    i2cCmd[0] = 0x02;
    i2cCmd[1] = address;

    int bytesRead = 0;
    do
    {
        LSWrite(port, i2cCmd, 1);
        try
        {
            bytesRead = LSGetStatus(port);
        }
        catch (NxtCommBusErrorException)
        {
            bytesRead = 0;
        }
    } while (bytesRead < 1);

    return LSRead(port)[0];
}

#endregion

}

public struct NxtGetOutputState
{
    public sbyte Power;
    public NxtMotorMode Mode;
    public NxtMotorRegulationMode RegulationMode;
    public sbyte TurnRatio;
    public NxtMotorRunState RunState;
    public uint TachoLimit;
    public int TachoCount;
    public int BlockTachoCount;
    public int RotationCount;
}

public struct NxtGetInputValues
{
    public bool Valid;
    public bool Calibrated;
    public NxtSensorType Type;
    public NxtSensorMode Mode;
    public UInt16 RawAD;
    public UInt16 NormalizedAD;
    public Int16 ScaledValue;
    public Int16 CalibratedValue;
}

#region Protocol Enumerations and Constants

public enum NxtCommand : byte
{
    StartProgram = 0x00,
    StopProgram = 0x01,
    PlaySoundFile = 0x02,
    PlayTone = 0x03,
    SetOutputState = 0x04,
    SetInputMode = 0x05,
    GetOutputState = 0x06,
}

```

```

    GetInputValues = 0x07,
    MessageWrite = 0x09,
    ResetMotorPosition = 0x0A,
    GetBatteryLevel = 0x0B,
    KeepAlive = 0x0D,
    LSGetStatus = 0x0E,
    LSWrite = 0x0F,
    LSRead = 0x10,
    MessageRead = 0x13,
    OpenRead = 0x80,
    OpenWrite = 0x81,
    Read = 0x82,
    Write = 0x83,
    SetBrickName = 0x98
}

public enum NxtMessageResult : byte
{
    OK = 0x00,
    PendingCommunicationInProgress = 0x20,
    SpecifiedMailBoxEmpty = 0x40,
    RequestFailed = 0xBD,
    UnknownCommand = 0xBE,
    InsanePacket = 0xBF,
    publicOfRangeData = 0xC0,
    CommBusError = 0xDD,
    publicOfMemoryInCommunicationBuffer = 0xDE,
    ChannelInvalid = 0xDF,
    ChannelBusy = 0xE0,
    NoActiveProgram = 0xEC,
    IllegalSizeSpecified = 0xED,
    IllegalMailboxID = 0xEE,
    InvalidFieldAccess = 0xEF,
    BadData = 0xF0,
    publicOfMemory = 0xFB,
    BadArguments = 0xFF
}

[Flags()]
public enum NxtMotorMode : byte
{
    None = 0x00,
    /// <summary>
    /// Should the motor be turned on?
    /// </summary>
    MotorOn = 0x01,
    /// <summary>
    /// Should the motor break after the action is completed?
    /// </summary>
    Brake = 0x02,
    /// <summary>
    /// Should motor regulation be used? (use
    /// NxtMotorRegulationMode to specify which one)
    /// </summary>
    Regulated = 0x04
}

[Flags]
public enum NxtMotorRegulationMode : byte
{
    /// <summary>
    /// Use when motor usage is not regulated.
    /// </summary>
    Idle = 0x00,
    /// <summary>
    /// Use this to regulate speed, whatever that may be.

```

```
    /// </summary>
    MotorSpeed = 0x01,
    /// <summary>
    /// Use this to synchronize two motors
    /// </summary>
    MotorSynchronization = 0x02
}
```

```
[Flags]
public enum NxtMotorRunState : byte
{
    Idle = 0x00,
    RampUp = 0x10,
    Running = 0x20,
    Rampdown = 0x40
}
```

```
public enum NxtMotorPort
{
    /// <summary>
    /// Port A (Auxiliary motor)
    /// </summary>
    PortA = 0x00,
    /// <summary>
    /// Port B (Drive motor 1)
    /// </summary>
    PortB = 0x01,
    /// <summary>
    /// Port C (Drive motor 2)
    /// </summary>
    PortC = 0x02,
    /// <summary>
    /// No port
    /// </summary>
    None = 0xFE,
    /// <summary>
    /// All motors
    /// </summary>
    All = 0xFF
}
```

```
public enum NxtSensorPort
{
    /// <summary>
    /// Port 1 (Push sensor)
    /// </summary>
    Port1 = 0x00,
    Port2 = 0x01,
    Port3 = 0x02,
    Port4 = 0x03,
    None = 0xFE
}
```

```
public enum NxtSensorType
{
    /// <summary>
    /// No sensor
    /// </summary>
    None = 0x00,
    /// <summary>
    /// Pressure switch, like the one supplied in the Mindstorms NXT set
    /// </summary>
    Switch = 0x01,
    Temperature = 0x02,
    /// <summary>

```

```

    /// Sonar???
    /// </summary>
    Reflection = 0x03,
    Angle = 0x04,
    /// <summary>
    /// Light sensor, the sensor also generates light
    /// </summary>
    LightActive = 0x05,
    /// <summary>
    /// Light sensor, the sensor relies on external light sources
    /// </summary>
    LightInactive = 0x06,
    /// <summary>
    /// Sound (Decibel)
    /// </summary>
    SoundDB = 0x07,
    /// <summary>
    /// Sound (Decibel, adjusted for the human ear)
    /// </summary>
    SoundDBA = 0x08,
    Custom = 0x09,
    LowSpeed = 0x0A,
    LowSpeed_9V = 0x0B
}

public enum NxtSensorMode
{
    Raw = 0x00,
    Boolean = 0x20,
    TransitionCounter = 0x40,
    PeriodCounter = 0x60,
    Percentage = 0x80,
    Celsius = 0xA0,
    Fahrenheit = 0xC0,
    AngleStep = 0xE0
}

public enum NxtCommandType
{
    /// <summary>
    /// Direct command, the NXT will send a response
    /// </summary>
    DirectCommandWithResponse = 0x00,
    /// <summary>
    /// System command, the NXT will send a response
    /// </summary>
    SystemCommandWithResponse = 0x01,
    /// <summary>
    /// Reply
    /// </summary>
    Reply,
    /// <summary>
    /// Direct command, the NXT will NOT send a response
    /// </summary>
    DirectCommandNoResponse = 0x80,
    /// <summary>
    /// System command, the NXT will NOT send a response
    /// </summary>
    SystemCommandNoResponse = 0x81
}

#endregion

#region Exceptions

```

```
public class NxtChannelBusyException : ApplicationException
{
    public NxtChannelBusyException(string message)
        : base(message)
    {
    }
}
public class NxtCommBusErrorException : ApplicationException
{
    public NxtCommBusErrorException(string message)
        : base(message)
    {
    }
}
#endregion
}
```

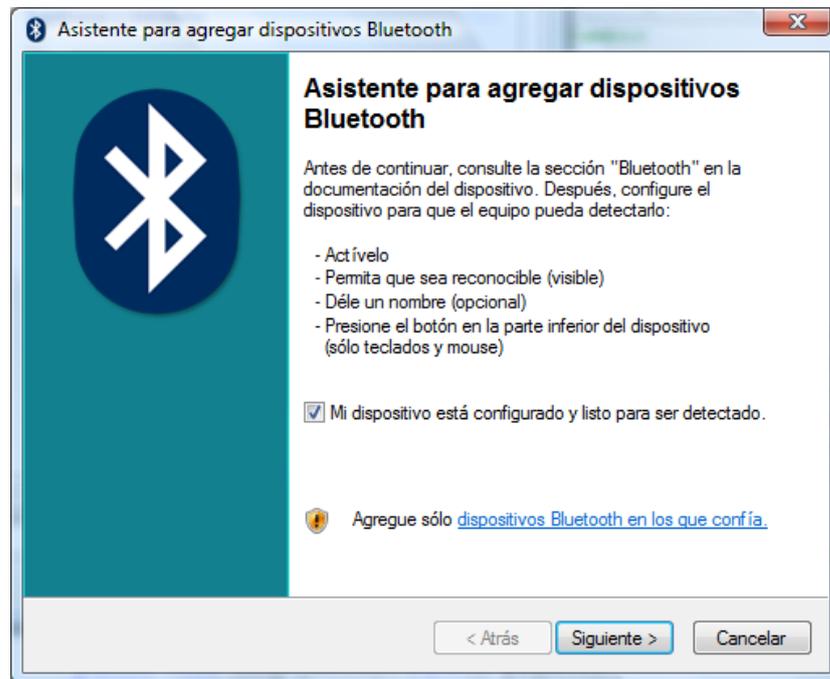
C. Manual de Usuario del SADC – Prototipo I

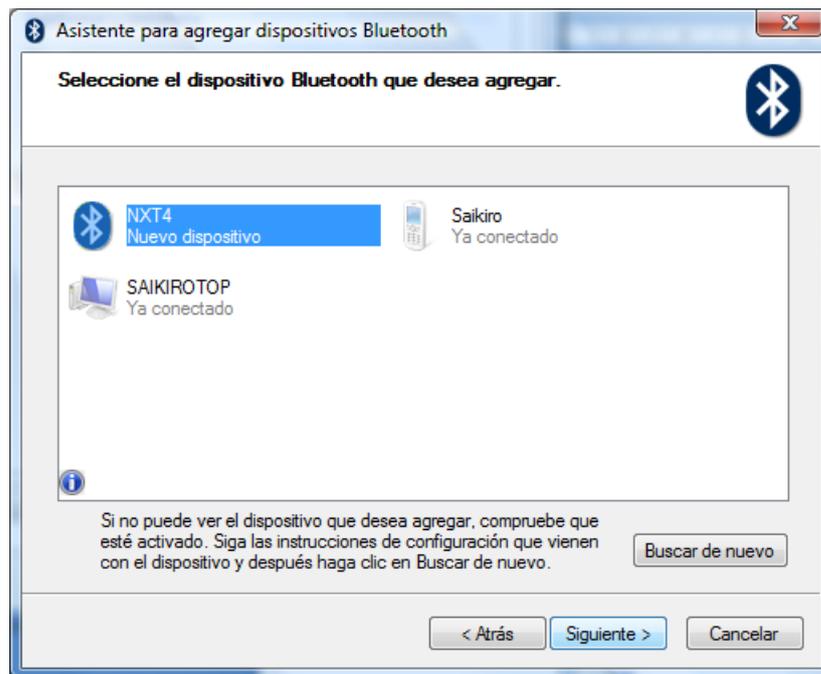
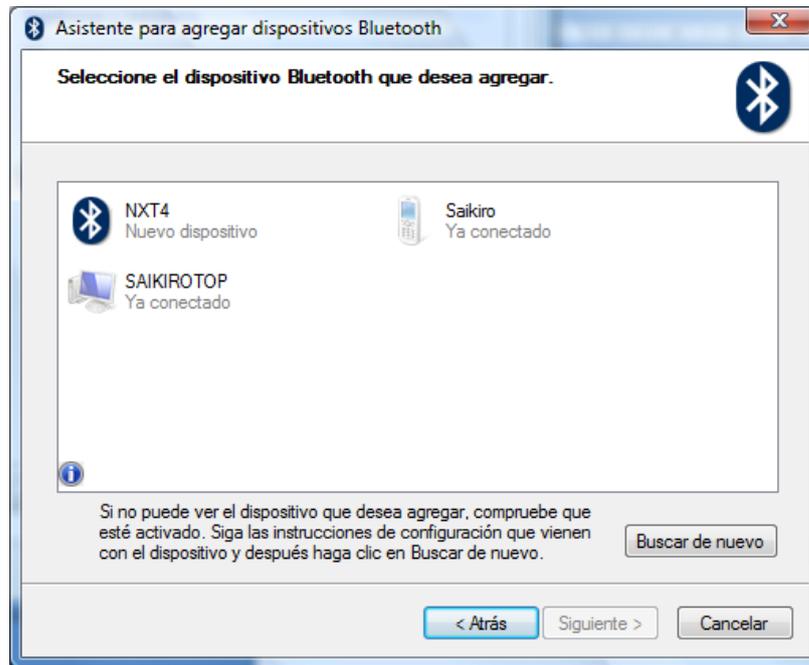
MANUAL DE USUARIO SADC

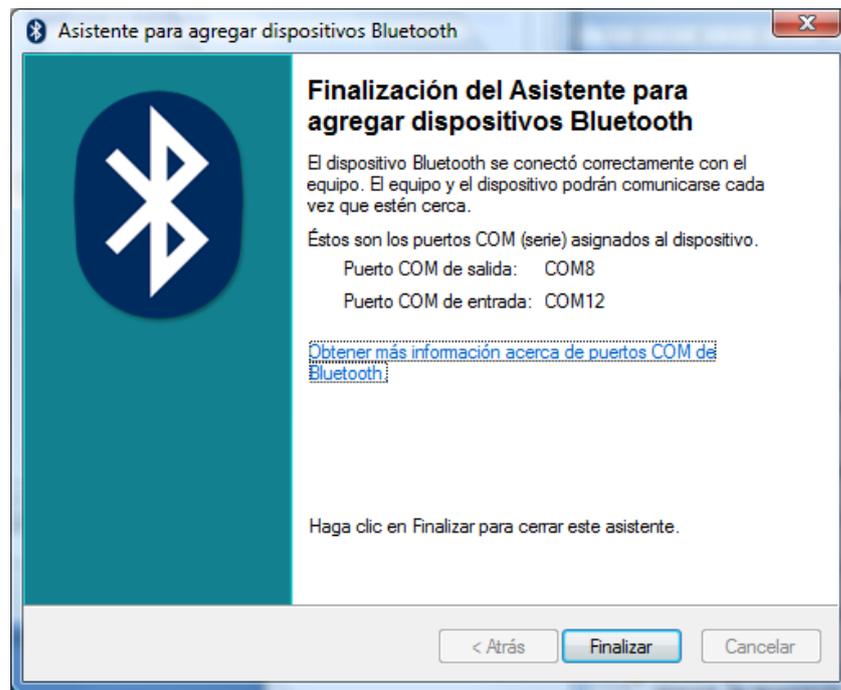
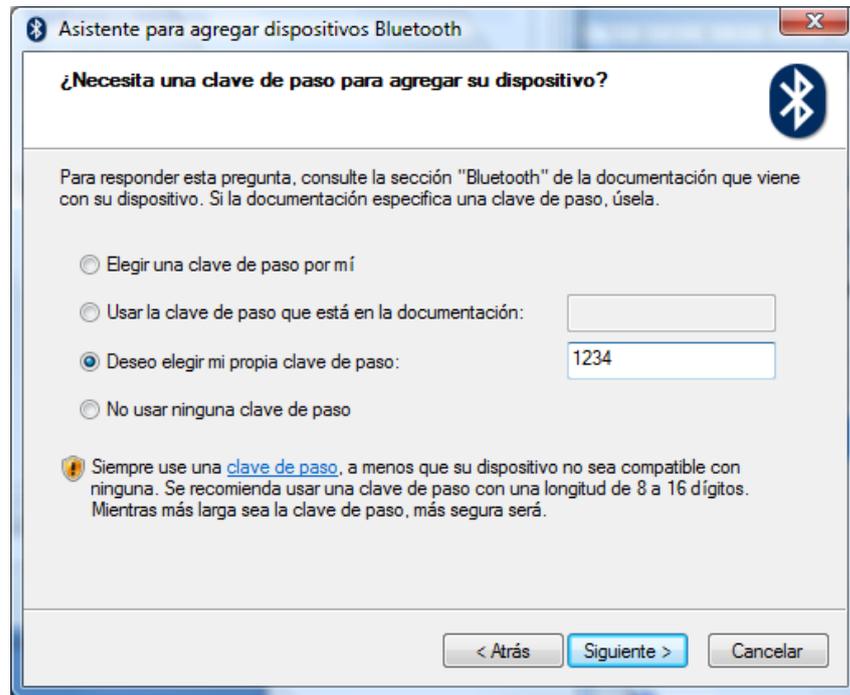
El sistema SADC, es una aplicación que permite interactuar con el brick del NXT, adquiriendo y enviándole datos de control. Esta aplicación establece una conexión via bluetooth con el brick NXT de manera que no es necesario conectar físicamente el brick NXT y la PC para adquirir datos.

Pasos previo a la utilización del SADC

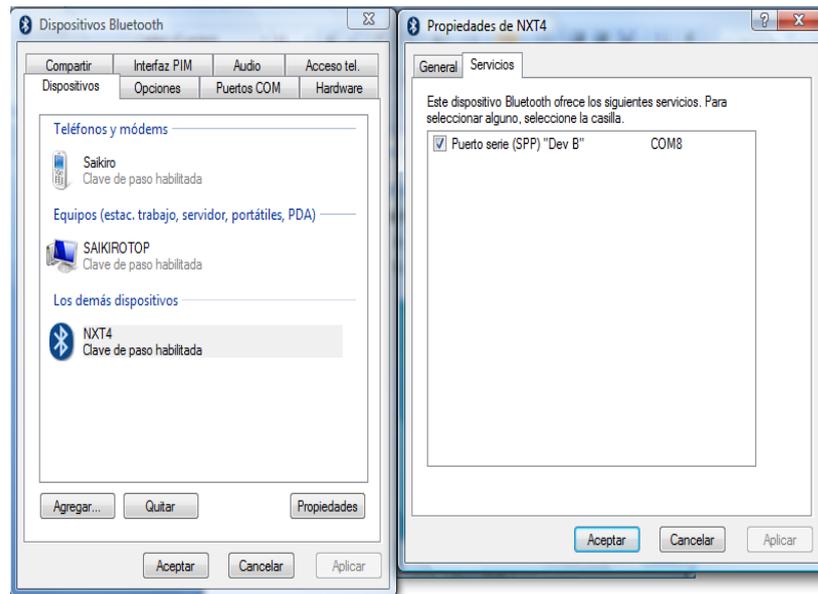
- 1) Establecer una conexión bluetooth con el PC:
 - a. Conecte o habilite su dispositivo bluetooth del PC y del Brick NXT
 - b. Agregue la conexión con el asistente de Bluetooth del PC.







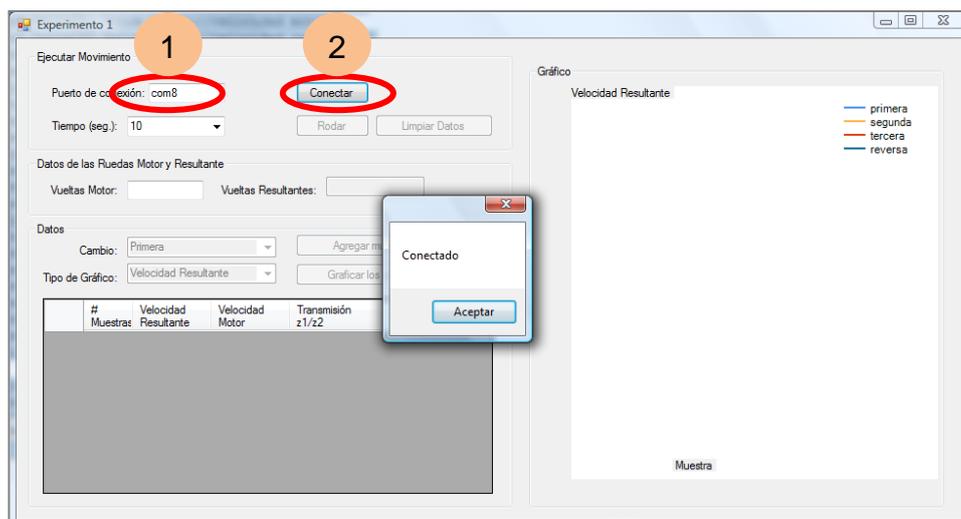
- c. Una vez añadido tome nota del puerto que recibe los datos en las propiedades de la conexión añadida recientemente.



Una vez realizados los pasos anteriores ya podremos usar el SADC para controlar el brick NXT.

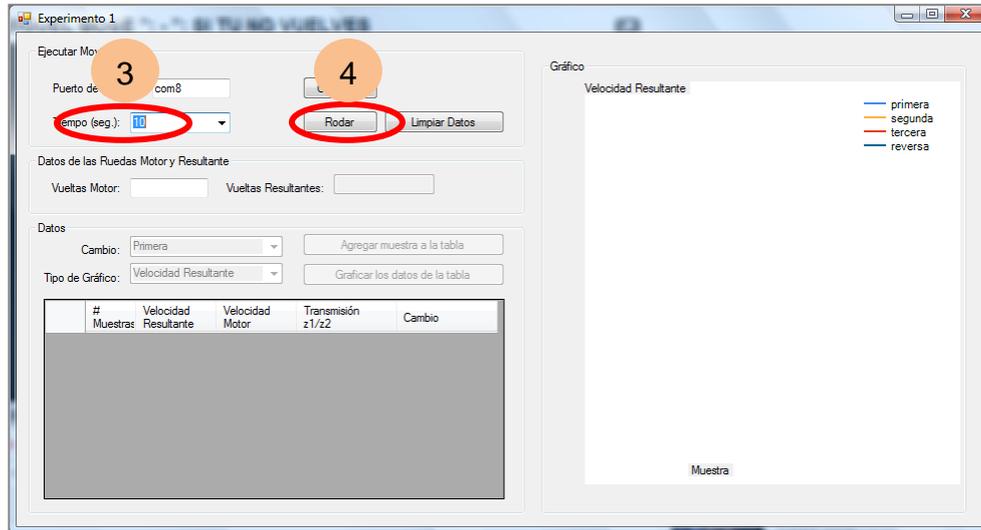
Cómo utilizar el SADC

- 1 Conectarse al brick NXT ingresando el puerto de conexión obtenido en el punto c. del paso anterior
- 2 Dar clic en Conectar.



3 Elegir el tiempo que de duración que el motor rodará

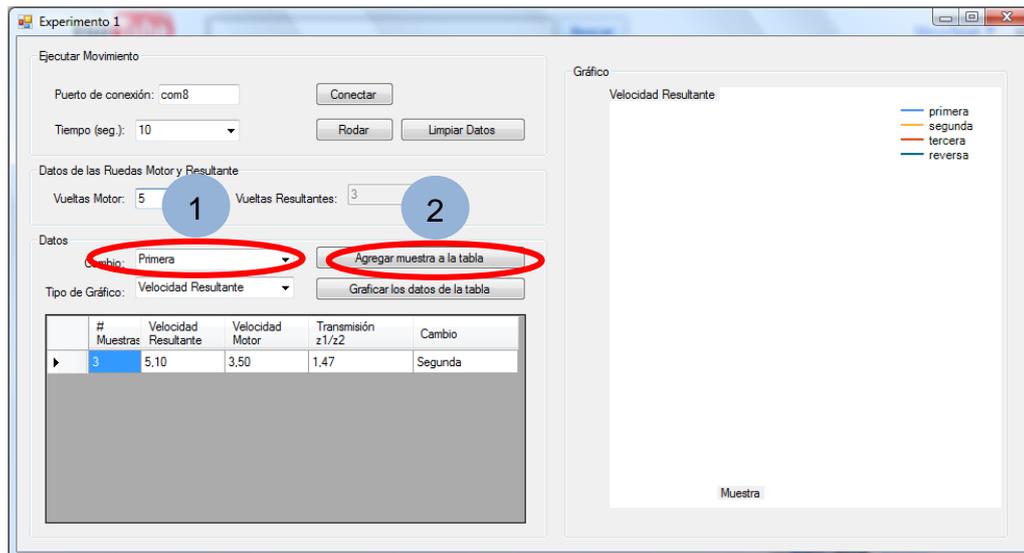
4 Dar clic en rodar



Una vez que el motor haya girado en el tiempo escogido, para agregar los datos en la tabla y estos puedan ser analizados o graficados en la zona de la derecha hay que escoger :

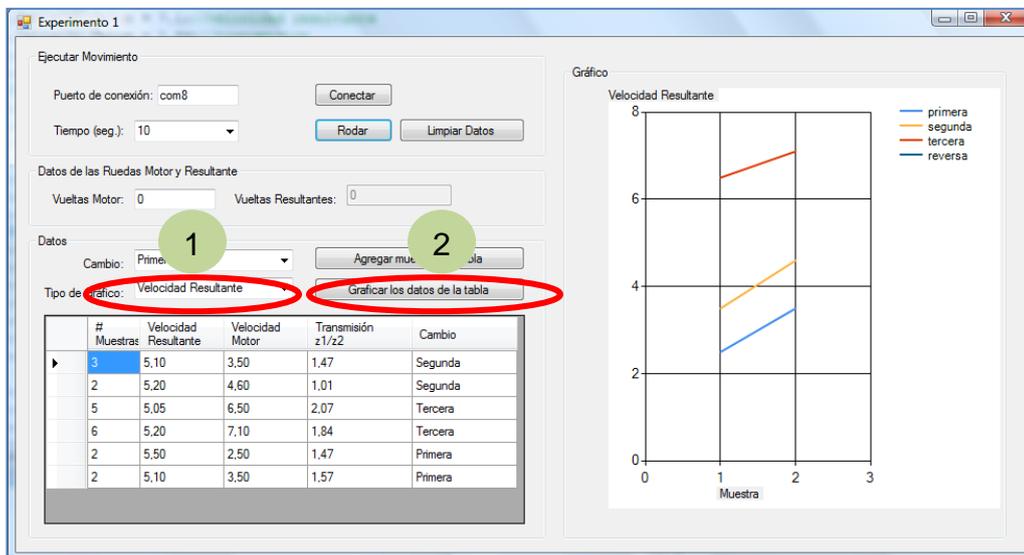
1 El tipo de cambio que se utilizó(Primera, segunda, tercera, reversa)

2 Dar clic en Agregar muestra a la tabla



Una vez agregadas varias muestras a la tabla se podrá graficar haciendo lo siguiente:

- 1 Elegir el tipo de gráfico a dibujarse
- 2 Dar clic en Graficar los datos de la tabla



D. Evaluación – Prototipo I

CUESTIONARIO DE SATISFACCIÓN

Fecha: _____

1. Le motivo aprender más sobre el tema de engranajes?

Si	No

2. Recomienda el uso del material de apoyo utilizado en esta clase para la enseñanza de otras materias?

Si	No

Por qué?

Si su respuesta anterior fue “Si” indique en cuales materias le gustaría utilizarlo:

3. Que tan útil le parecería tener acceso a una biblioteca llena de este tipo de material de apoyo:

Muy útil	Útil	Normal	No necesario es

4. El desarrollo del laboratorio le pareció:

Muy fácil	Fácil	Regular	Difícil	Muy difícil

Si tuvo alguna dificultad en desarrollar el laboratorio descríballo:

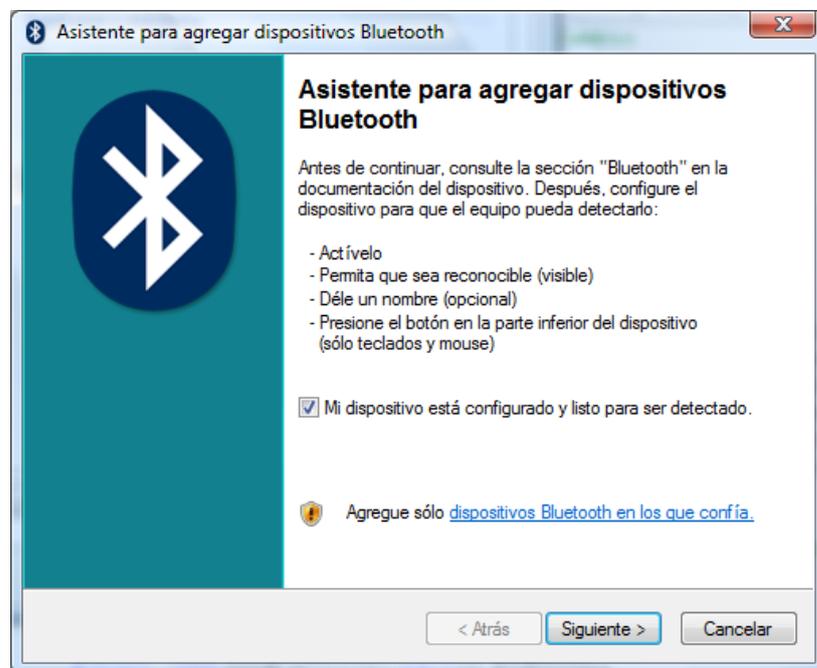
E. Manual de usuario del SADC

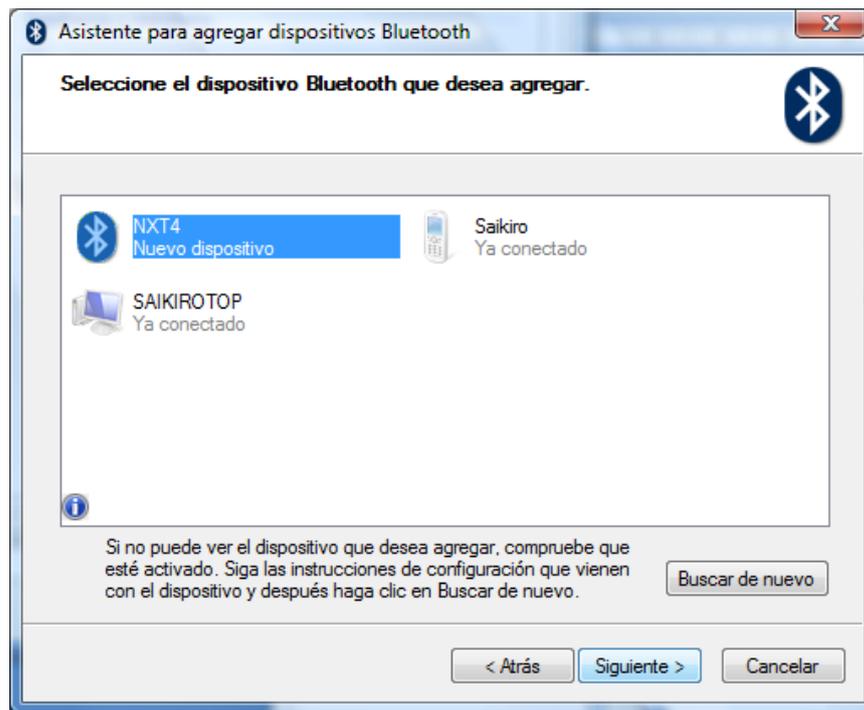
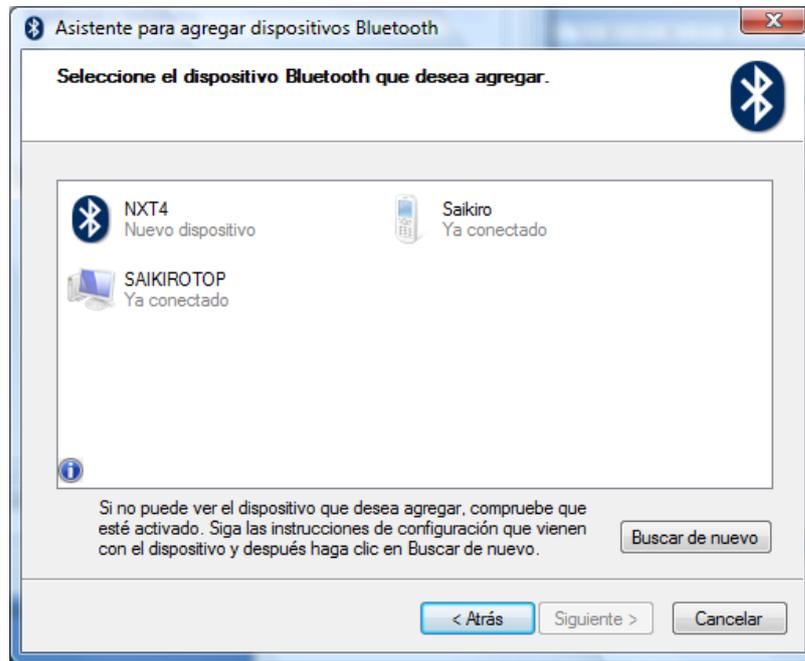
Manual de Usuario SADC V2

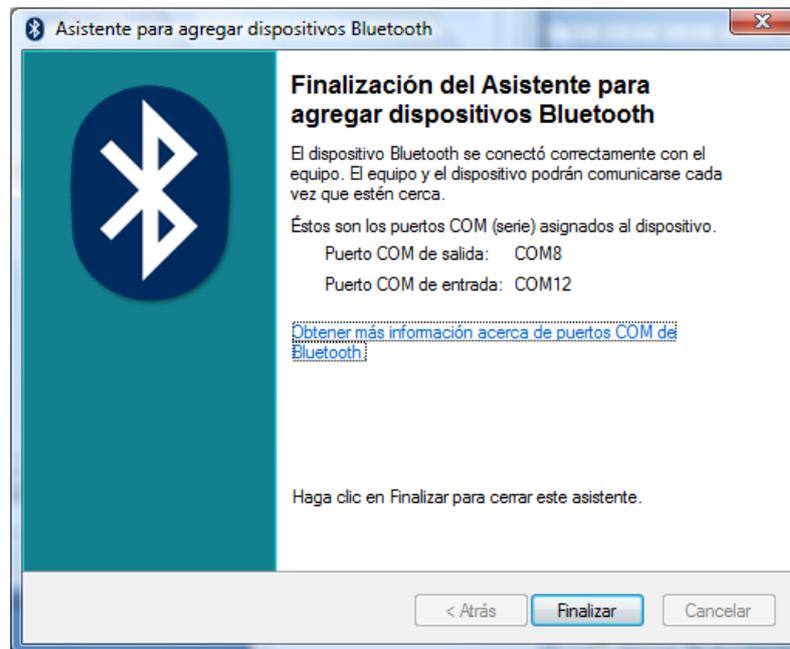
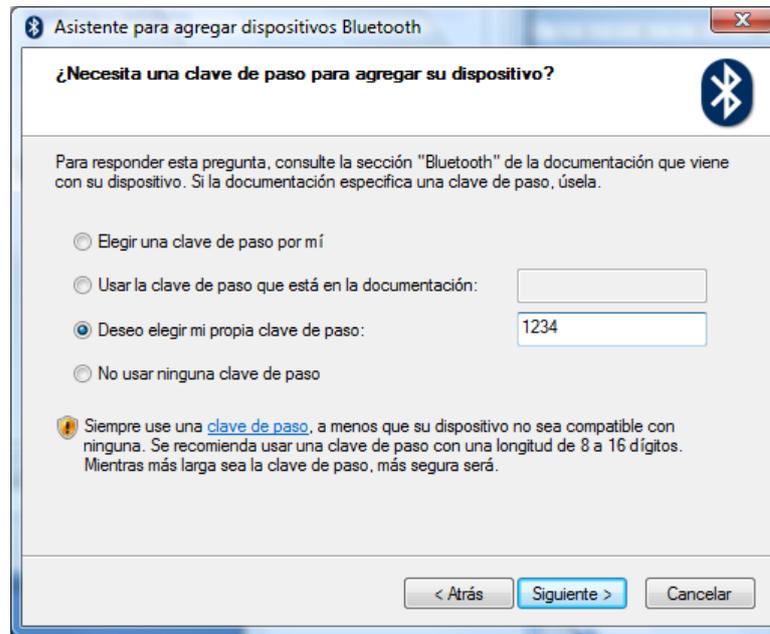
El sistema SADC, es una aplicación que permite interactuar con el brick del NXT, adquiriendo y enviándole datos de control. Esta aplicación establece una conexión via bluetooth con el brick NXT de manera que no es necesario conectar físicamente el brick NXT y la PC para adquirir datos.

Pasos previo a la utilización del SADC

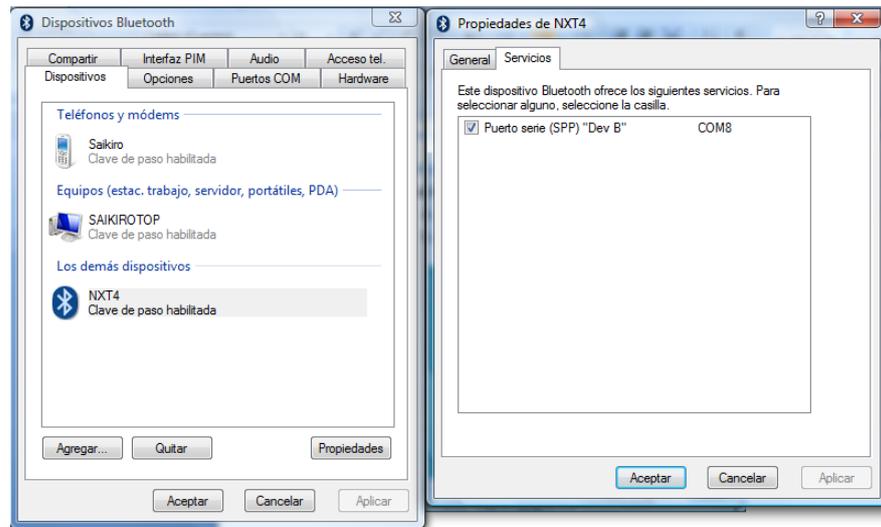
- 1) Establecer una conexión bluetooth con el PC:
 - a. Conecte o habilite su dispositivo bluetooth del PC y del Brick NXT
 - b. Agregue la conexión con el asistente de Bluetooth del PC.







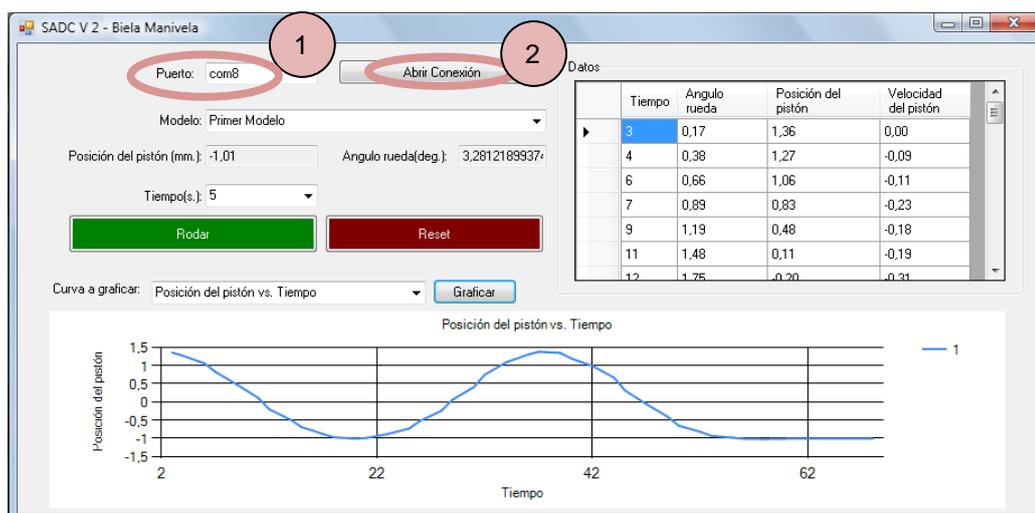
- c. Una vez añadido tome nota del puerto que recibe los datos en las propiedades de la conexión añadida recientemente.



Una vez realizados los pasos anteriores ya podremos usar el SADC para controlar el brick NXT.

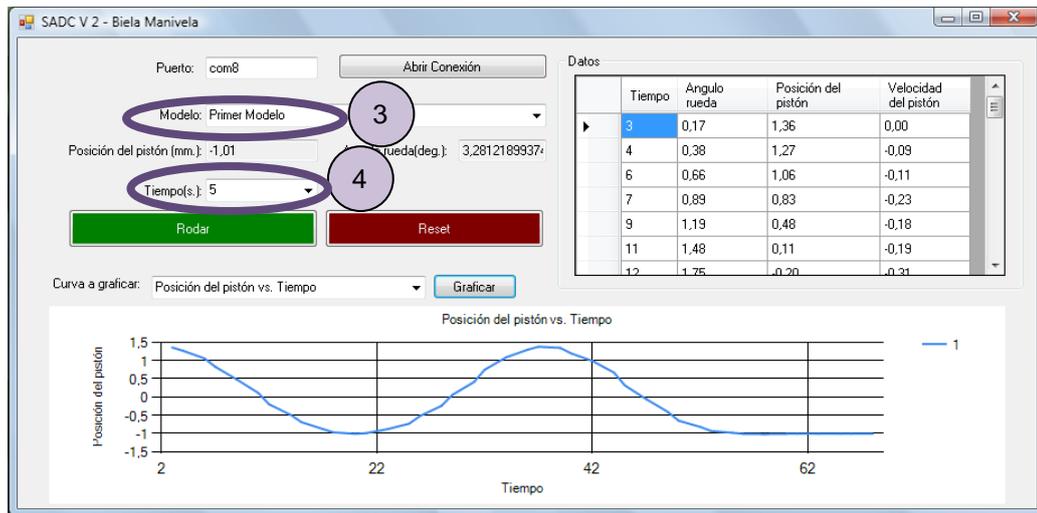
Cómo utilizar el SADC

- 1.- Ingresar el puerto a conectarse (obtenido en el punto c. del paso anterior).
- 2.- Dar clic en Abrir Conexión.

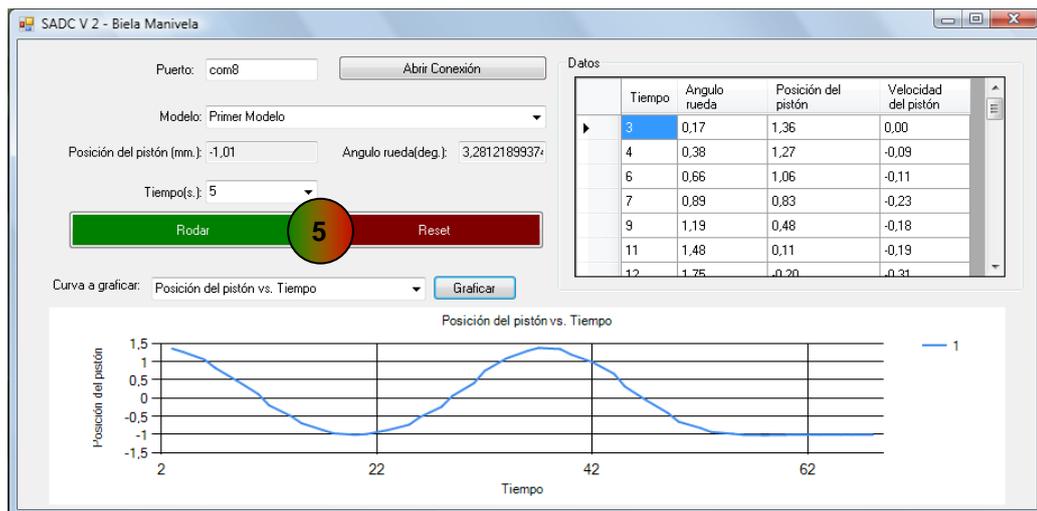


3.- Elegir el Modelo de Manivela del prototipo

4.- Elegir el tiempo en que va a rodar el prototipo



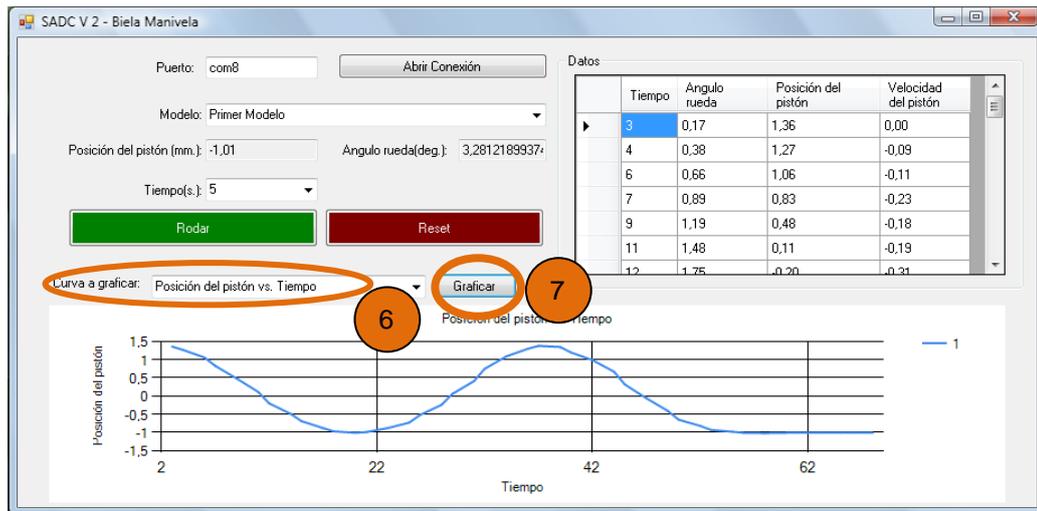
5.- Para comenzar a rodar dar clic en “Rodar”, en el caso de limpiar los datos dar clic en “Reset”



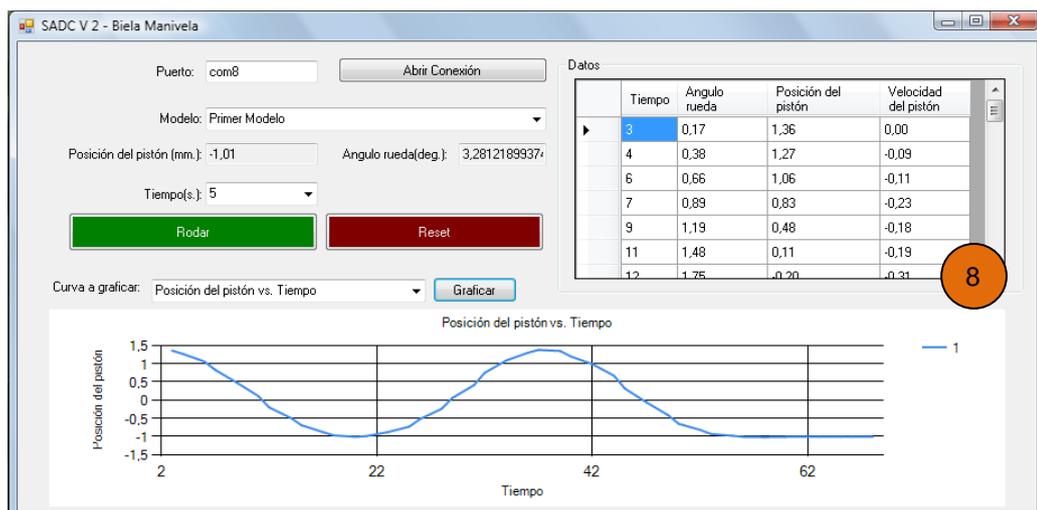
PARA GENERAR EL GRÁFICO:

6.- Elegir el tipo de curva a graficar

7.- Dar clic en “Graficar”



8.- En esta tabla se muestran todos los datos adquiridos que se almacenan automáticamente.



F. Laboratorio Biela Manivela – Prototipo II

Laboratorio: Sismógrafo con biela manivela.

Objetivo General

- Comprobar a través de cálculos teóricos la distancia recorrida y la velocidad del pistón obtenida de manera experimental al realizar esta práctica.

Objetivos Específico

- Calcular la velocidad instantánea del pistón obtenido desde la gráfica de papel.
- Comprobar, utilizando fórmulas del desplazamiento y velocidad del pistón los datos obtenidos durante la práctica.
- Experimentar la influencia que conlleva el tener una manivela de diferente radio y una biela de diferente longitud.

Materiales

- Set de LEGO Mindstorms NXT
- Regla
- Rollo de papel
- 1 Marcador
- Escala en acetato
- Instructivo para armar el modelo de ejemplo
- 1 hoja de Excel para registrar los datos

Cálculos Experimentales

Primer Modelo

1. Actividades de Pruebas de Funcionamiento del modelo construido, considere lo siguiente:

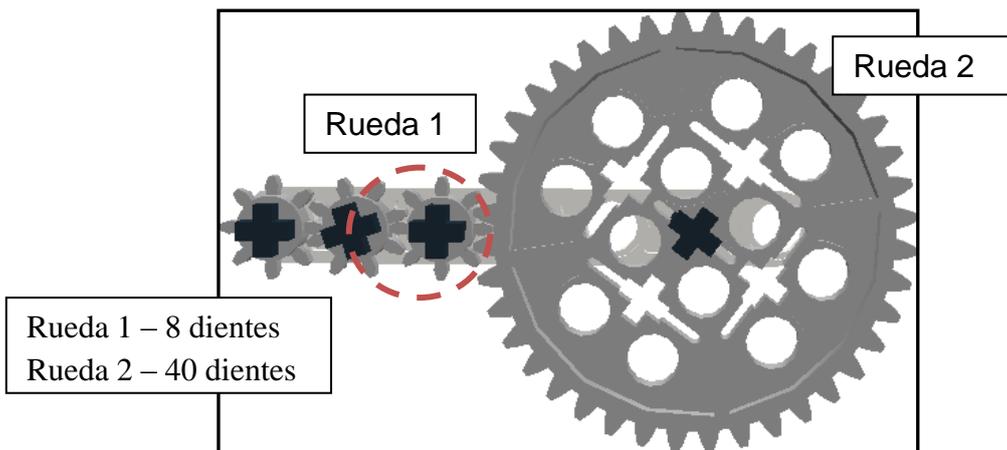


Fig. 1 Sistema de Engranaje para la manivela

Tome en cuenta que la velocidad angular de la manivela es constante.

En la fig. 1 vemos el sistema de engranajes inicial el cual hará las veces de manivela.

2. Verifique en el modelo armado la colocación de dichos engranajes en la posición mostrada en la fig 1.
3. Ejecute el programa durante 5 segundos.
4. Mida con una regla el desplazamiento del pistón y llene la *tabla 1* en la fila del "Primer Modelo".

Recomendaciones:

* Utilizar la lámina de acetato para realizar las mediciones.

5. Obtenga la velocidad instantánea en 8 puntos de un período de la gráfica obtenida en papel mediante el método de la pendiente de la

curva y llene la *tabla 2*.

Recomendaciones:

* Utilizar la lámina de acetato para realizar las mediciones.

* Incluir dentro de estos puntos la velocidad instantánea mínima y la velocidad instantánea máxima de manera que pueda llenar la *tabla 3* simultáneamente.

6. Con los 8 puntos obtenidos bosqueje la gráfica de la velocidad del pistón en la sección de gráficos.

Segundo Modelo

1. Actividades de Pruebas de Funcionamiento del modelo construido, considere lo siguiente:

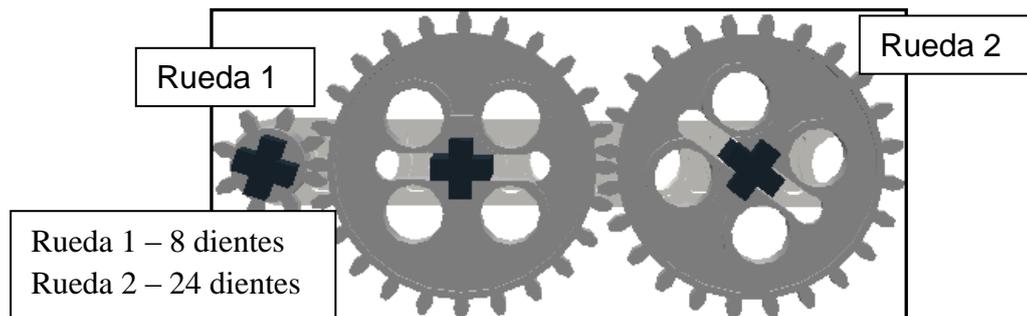


Fig. 2 Sistema de engranajes para el segundo modelo

Tome en cuenta que la velocidad angular de la manivela es constante.

En la fig. 2 vemos el sistema de engranajes para el segundo modelo el cual hará las veces de manivela.

2. Verifique en el modelo armado la colocación de dichos engranajes en la posición mostrada en la fig 1.
3. Ejecute el programa durante 5 segundos.
4. Mida con una regla el desplazamiento del pistón y llene la *tabla 1* en la fila del "Segundo Modelo".

Recomendaciones:

* Utilizar la lámina de acetato para realizar las mediciones.

5. Obtenga la velocidad máxima instantánea 8 veces utilizando la gráfica del papel mediante el método de la pendiente de la curva y llene la *tabla 2*.

Recomendaciones:

* Utilizar la lámina de acetato para realizar las mediciones.

Tablas

Datos de los cálculos experimentales:

Llenar la tabla con los datos del pistón:

Sistema de engranajes	Radio de la manivela (cm)	Longitud de la biela (cm)	Desplazamiento del pistón experimental (cm)	Desplazamiento del pistón teórico (cm)	Error Relativo
Primer Modelo					
Segundo Modelo					

Tabla 1

Puntos	Primer modelo			Segundo modelo		
	Velocidad instantánea Máxima (cm/s)			Velocidad instantánea Máxima (cm/s)		
	Teórico	Práctico	Error	Teórico	Práctico	Error
1						
2						
3						
4						
5						
6						
7						

8

--	--	--	--	--	--	--

Tabla 2

Sistema de engranajes	de	Velocidad Promedio	Máxima	Velocidad Angular
Primer Modelo				
Segundo Modelo				

Tabla 3

Cálculos Teóricos

Considerando el siguiente modelo:

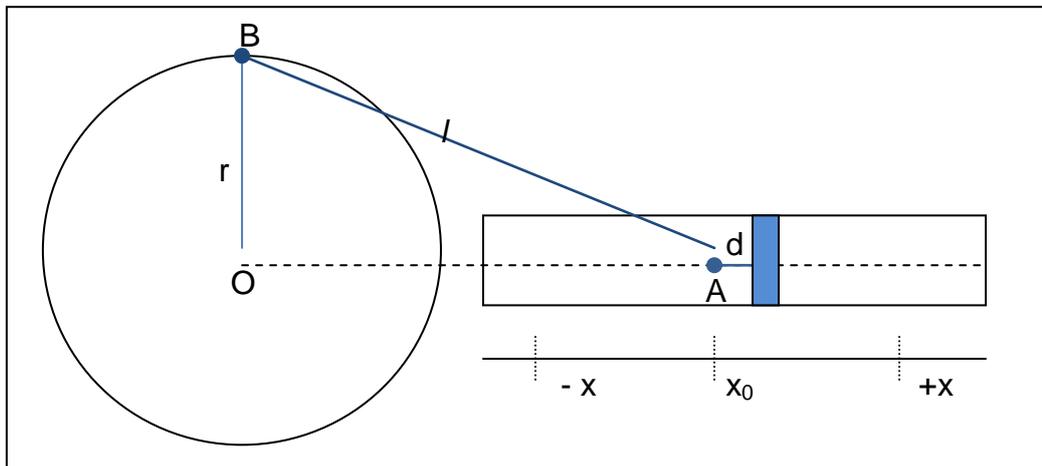


Fig. 3 Mecanismo biela-manivela

Fórmula de Desplazamiento del Pistón:

$$x = r * \cos(\omega * t) + \sqrt{l^2 - r^2 * \text{sen}^2(\omega * t)} - \sqrt{l^2 - r^2}$$

Fórmula 1.

Fórmula de velocidad del Pistón:

$$v = -r * \omega * \text{sen}(\omega * t) \left(1 + \frac{r * \cos(\omega * t)}{\sqrt{l^2 - r^2 * \text{sen}^2(\omega * t)}} \right)$$

Fórmula 2.

Primer Modelo

Tomando en cuenta los datos hallados encuentre:

1. Encuentre la velocidad Angular utilizando el número de vueltas y el tiempo del sistema y llene:

Velocidad Angular ω_1 de la manivela: ____ rad/s.
--

2. Dada la fórmula de desplazamiento del pistón, llene la *tabla 1* en la columna de “desplazamiento del pistón teórico”.
3. Dada la fórmula de velocidad del pistón encuentre la velocidad máxima del pistón y llene la *tabla 2*.

Segundo Modelo

Tomando en cuenta los datos hallados encuentre:

1. Encuentre la velocidad Angular utilizando el número de vueltas y el tiempo del sistema y llene:

Velocidad Angular ω_2 de la manivela: ____ rad/s.
--

2. Dada la fórmula de desplazamiento del pistón, llene la *tabla 1* en la columna de “desplazamiento del pistón teórico”.
3. Dada la fórmula de velocidad del pistón encuentre la velocidad máxima del pistón y llene la *tabla 3*.

Error Experimental

- Halle el error relativo del desplazamiento del pistón en la tabla 1, las velocidades en la tabla 2 y la velocidad máxima en la tabla 3.

Utilice la fórmula $\text{Error} = |\text{Calculo teórico} - \text{Valor real}| * 100 / \text{Valor real}$.

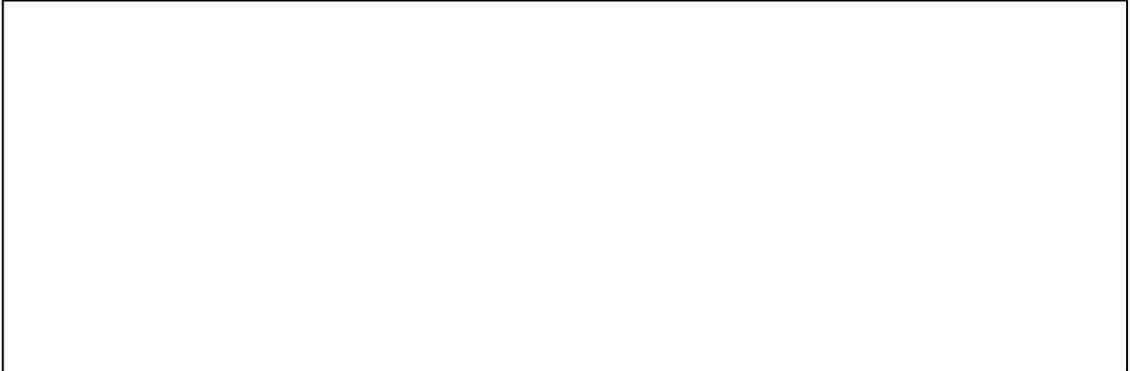
- Una vez calculada el error experimental, ordene los datos y encuentre los cuartiles (Q1,Q2,Q3), posteriormente dibuje los diagramas de cajas para los errores experimentales de las velocidades máximas del modelo uno y dos
- Recuerde que un diagrama de cajas está compuesto por Valor mínimo, Q1(25%),Q2 (mediana), Q3(75%), Valor máximo.
- Esta información permitirá detectar los datos aberrantes del conjunto de muestras de velocidades máximas de cada modelo.
- Una vez identificados los datos válidos de los aberrantes correspondiente a la velocidad Máxima instantánea, saque el promedio de los datos válidos y encuentre la velocidad angular de la manivela para su respectivo modelo. Llene la tabla 3.

Gráficos de Cajas

Primer Modelo

--

Segundo Modelo



Conclusiones

Indique a que conclusiones llegó al comparar los resultados de los dos modelos durante la práctica con respecto a:

1. Desplazamiento del pistón
2. Velocidad del pistón
3. Diagrama de Cajas

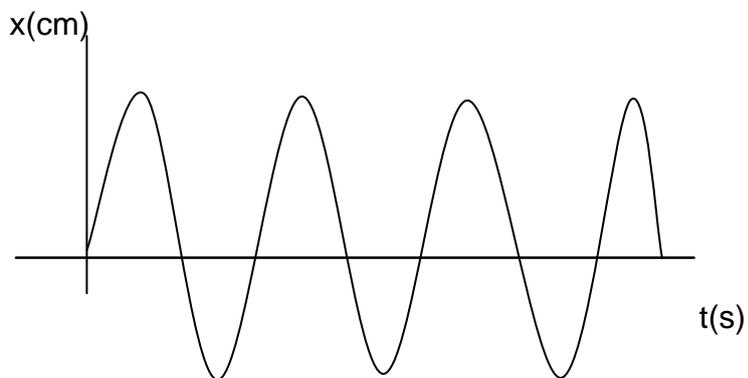
Elija una de las siguientes opciones:

1. 100,7 [m/s]
2. 101,4 [m/s]
3. 100,73 [m/s]

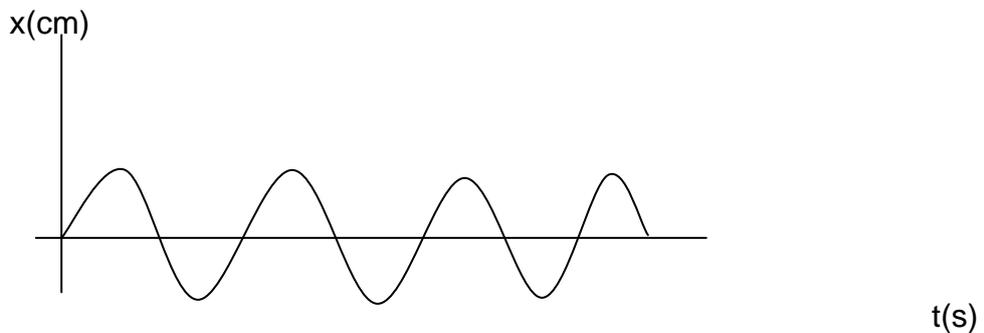
Respuesta: _____

3. Durante un experimento se registraron 2 gráficas de trayectorias de un pistón para un sistema que utilizaba el movimiento biela manivela:

Gráfica 1:



Gráfica 2:



Entonces el estudiante concluyó lo siguiente (elija la respuesta correcta):

1. Acerca de la magnitud de la velocidad máxima sobre los 2 gráficos:
 - a. La gráfica 1 tuvo mayor velocidad que la gráfica 2
 - b. La gráfica 2 tuvo mayor velocidad que la gráfica 1
 - c. Ambas tienen la misma velocidad ya que tienen la misma cantidad de ciclos

Respuesta: _____

2. Acerca del radio de la manivela en los 2 gráficos:

- a. El radio de la manivela de la gráfica 2 sería mayor que la gráfica 1
- b. El radio de la manivela de la gráfica 1 sería mayor que la gráfica 2
- c. Ambos utilizaron el mismo radio de manivela, pero la longitud de la biela fue distinta.

Respuesta: _____

H. Laboratorio Biela Manivela – Prototipo III

Laboratorio: Sismógrafo con biela manivela.

Objetivo General

- Comprobar a través de cálculos teóricos la distancia recorrida y la velocidad del pistón obtenida de manera experimental al realizar esta práctica.

Objetivos Específico

- Calcular la **velocidad instantánea del pistón** obtenido desde la **gráfica de papel**.
- **Comprobar**, utilizando fórmulas del **desplazamiento y velocidad del pistón**, los datos obtenidos durante la práctica.
- **Experimentar** la influencia que conlleva el **tener una manivela de diferente radio y una biela de diferente longitud**.

Materiales

- Set de LEGO Mindstorms NXT
- Regla
- Graduador
- Rollo de papel
- 1 Marcador
- Escala en acetato
- Calculadora
- Instructivo para armar el modelo de ejemplo
- 1 hoja con las tablas para llenar los datos experimentales.
- 1 hoja de Excel para registrar los datos

4.3.4 Cálculos Experimentales

4.4 Primer Modelo

1. En el modelo armado, **verifique la colocación de las ruedas** en la posición mostrada en la figura 1.

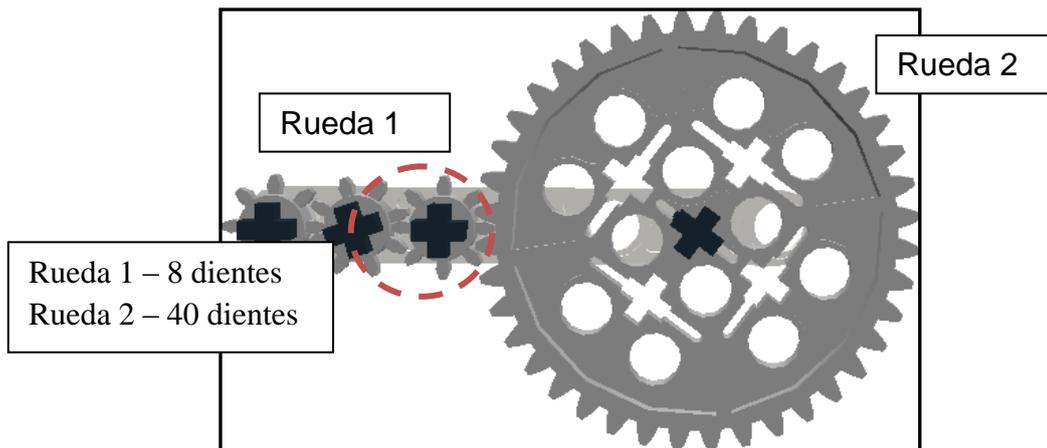


Fig. 1 Sistema de Engranaje para la manivela

Tome en cuenta que la velocidad angular de la manivela es : 2,61 rad/s.

El radio de la *Rueda 2* es de : 1,2 cm.

Longitud de la biela es : 4,0 cm.

2. **Ejecute la aplicación** durante 2 segundos para comprobar que el sistema funcione bien.
3. **Coloque la manivela** de tal manera que el pistón se encuentre **en el punto más alto de su desplazamiento** y **ejecute la aplicación** durante **30** segundos.
4. **Obtenga el desplazamiento del pistón** de la aplicación y del gráfico.
Llene la *tabla 1*. [ref 1]
 - a. **Dibujar** sobre el papel **las líneas de referencia**. Ejes tiempo=0 y espacio=0.

Recomendaciones:

*Revise el gráfico del desplazamiento teórico mostrado en la aplicación.

*Utilizar la **lámina de acetato** para realizar las mediciones. Obtenga la magnitud de **velocidad máxima instantánea en 8 puntos** de la gráfica:

- b. Sacar la **relación de tiempo/cm** para poder tomar los valores experimentales en el eje horizontal. [ref 2]
- c. **Obtener** mediciones de la magnitud **de la velocidad máxima en 8 ciclos** de los graficados sobre el papel, mediante el método de la pendiente de la curva y llene la *tabla 2*. [ref 2]

Recomendaciones:

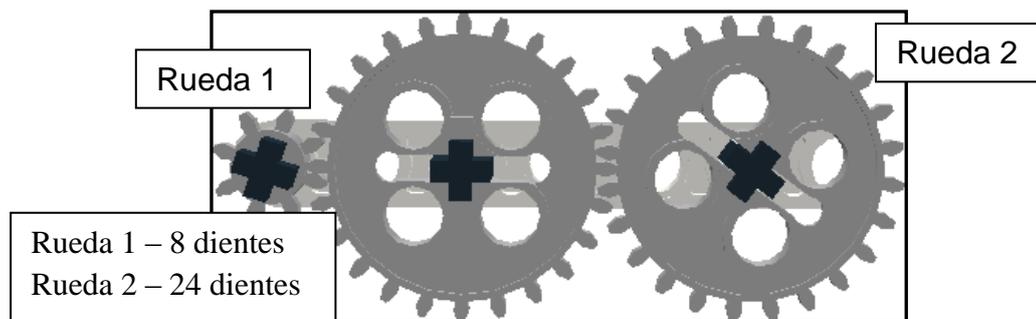
* Utilizar la lámina de acetato para realizar las mediciones.

* Para el eje de tiempo dibujar el que pasa por los puntos mínimos de la curva de desplazamiento.

5. Obtenga de la aplicación **los valores teóricos** para la magnitud **de la velocidad máxima** y llene la *tabla 2*.
6. **Grafique el Diagrama de Caja** con los valores de las **velocidades máximas**. [ref 3]
 - a. Ordene los valores de las velocidades máximas experimentales y encuentre los cuartiles (Q1 [25%], Q3 [75%]) de las muestras y llene la *tabla 3*.
 - b. Posteriormente dibuje el diagrama de caja con estos datos.
7. Con los valores entre el Q1 y Q3 **determine la magnitud de la velocidad máxima** promedio del pistón. Llene la *tabla 4*. [ref 3]
8. **Intercambie los datos** con un compañero que haya trabajado con **el segundo modelo** y compare.
9. Indique por lo menos una **conclusión con respecto a**:
 - a. Desplazamiento del pistón
 - b. Velocidad del pistón
 - c. Diagrama de Cajas

4.5 Segundo Modelo

1. En el modelo armado, **verifique la colocación de las ruedas** en la posición mostrada en la figura 2.



Tome en cuenta que la velocidad angular de la manivela es : 2,61 rad/s.

El radio de la *Rueda 2* es de : 0,6 cm.

Longitud de la biela es : 4,0 cm.

2. **Ejecute la aplicación** durante 2 segundos para comprobar que el sistema funcione bien.
3. **Coloque la manivela** de tal manera que el pistón se encuentre **en el punto más alto de su desplazamiento** y **ejecute la aplicación** durante **30** segundos.
4. **Obtenga el desplazamiento del pistón** de la aplicación **y** del gráfico.
Llene la *tabla 1*. [ref 1]

- a. **Dibujar** sobre el papel **las líneas de referencia**. Ejes tiempo=0 y espacio= Y_{min} .

Recomendaciones:

***Recuerde que el gráfico en el rollo de papel se dibuja en sentido DERECHA A IZQUIERDA**

***Revise el gráfico del desplazamiento teórico mostrado en la aplicación.**

*Utilizar la **lámina de acetato** para realizar las mediciones. Obtenga la magnitud de **velocidad máxima instantánea en 8 puntos** de la gráfica:

- b. Sacar la **relación de tiempo/cm** para poder tomar los valores experimentales en el eje horizontal. [ref 2]
- c. **Obtener** mediciones de la magnitud **de la velocidad máxima en 8 ciclos** de los graficados sobre el papel, mediante el método de la pendiente de la curva y llene la *tabla 2*. [ref 2]

Recomendaciones:

* Utilizar la lámina de acetato para realizar las mediciones.

5. Obtenga de la aplicación el **valor teórico** para la magnitud **de la velocidad máxima** y llene la *tabla 2*.
6. **Grafique el Diagrama de Caja** con los valores de las **velocidades máximas**. [ref 3]
 - a. Ordene los valores de las velocidades máximas experimentales y encuentre los cuartiles (Q1 [25%], Q3 [75%]) de las muestras y llene la *tabla 3*.
 - b. Posteriormente dibuje el diagrama de caja con estos datos colocando los valores de los cuartiles.
7. Con los valores entre el Q1 y Q3 **determine la magnitud de la velocidad máxima** promedio del pistón. Llene la *tabla 4*. [ref 3]
8. **Intercambie los datos** con un compañero que haya trabajado con el **primer modelo** y compare.
9. Indique por lo menos una **conclusión acerca de lo que encontró en el punto anterior**:
 - a. Desplazamiento del pistón
 - b. Velocidad del pistón
 - c. Diagrama de Cajas

Hoja de cálculos

Nombre:

Modelo:

Sistema de engranajes	Radio de la manivela (cm)	Longitud de la biela (cm)	Desplazamiento del pistón experimental (cm)	Desplazamiento del pistón teórico (cm)	Relación [s/cm] del papel
Primer Modelo					
Segundo Modelo					

Tabla 19

Puntos	Primer modelo Velocidad instantánea		Segundo modelo Velocidad instantánea	
	Teórico (cm/s)	Práctico (cm/s)	Teórico (cm/s)	Práctico (cm/s)
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				

Tabla 20

	V1	V2	V3	V4	V5	V6	V7	V8
Velocidades ordenadas								

Tabla 21

Gráficos de Cajas

	Sistema engranajes	de	Velocidad Promedio	Máxima
	Primer Modelo			
	Segundo Modelo			

Tabla 22

Referencia 1 Cálculos Teóricos

Considerando el siguiente modelo:

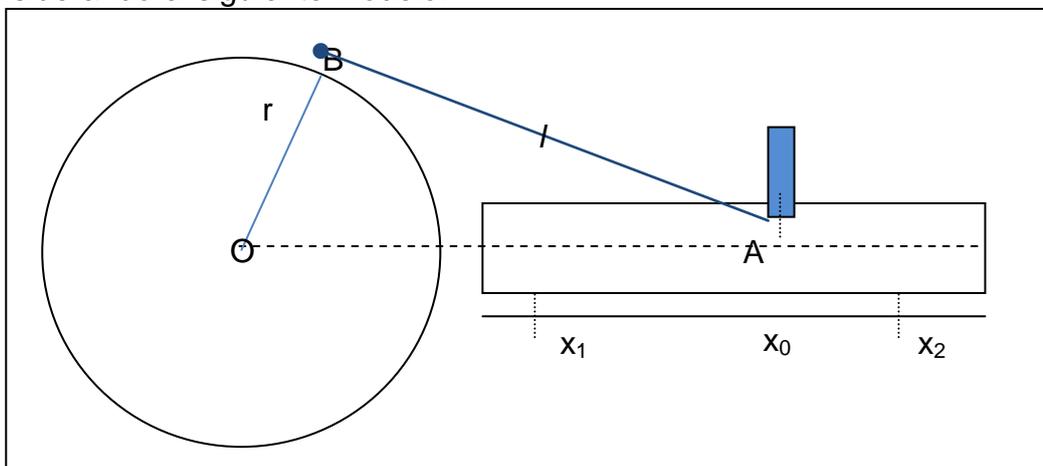


Fig. 3 Mecanismo biela-manivela

Fórmula de Desplazamiento del Pistón:

$$x = r * \cos(\omega * t) + \sqrt{l^2 - r^2 * \text{sen}^2(\omega * t)} -$$

Fórmula 1.

Fórmula de velocidad del Pistón:

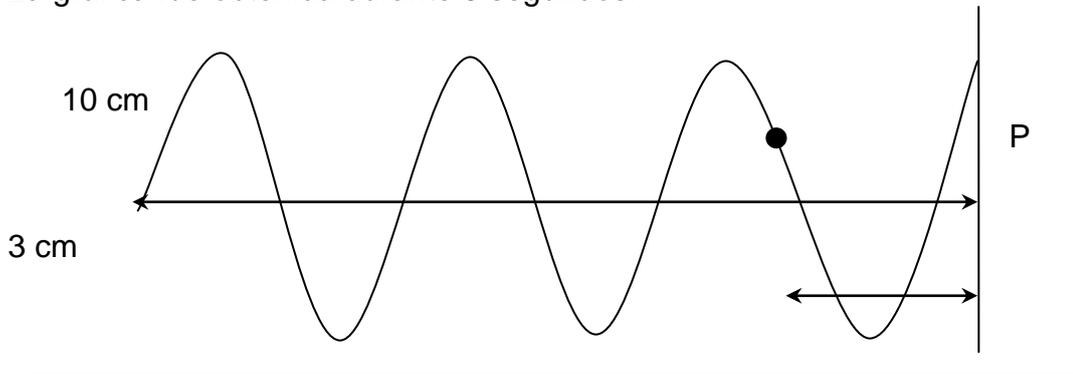
$$v = -r * \omega * \text{sen}(\omega * t) \left(1 + \frac{r * \cos(\omega * t)}{\sqrt{l^2 - r^2 * \text{sen}^2(\omega * t)}} \right)$$

Fórmula 2.

Referencia 2 - Toma de datos gráficamente

Relación de tiempo/cm para poder tomar los valores experimentales

La gráfica fue obtenida durante 5 segundos:



Durante 5 segundos se graficó en el papel 10 cm de la onda, entonces 1 cm cuanto tiempo duró?

$$(1 \cdot 5) / 10 = 0.5 \text{ seg}$$

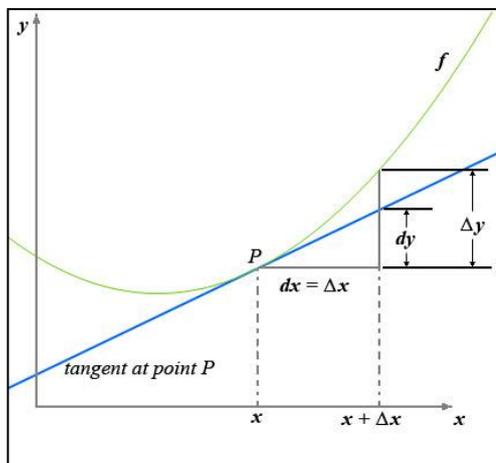
Entonces tenemos que en 1 cm transcurrió 0.5 segundos

Cuando tiempo transcurrió en el punto P?

Si hasta P recorrió 3 cm entonces , $3 \text{ cm} \cdot 0.5 \text{ seg}/1 \text{ cm} = 1.5 \text{ seg}$.

Obtención de la velocidad en una gráfica de desplazamiento

Para obtener gráficamente la velocidad a partir de una gráfica de desplazamiento es necesario sacar la pendiente de la curva, la cual equivale a la derivada del desplazamiento como se muestra:



Referencia 3 --- Diagrama de cajas

Diagrama de Caja y Bigotes

Los diagramas de **Caja-Bigotes** (boxplots o box and whiskers) son una presentación visual que describe varias características importantes, al mismo tiempo, tales como la dispersión y simetría. De esta manera podríamos disminuir la existencia de datos aberrantes en una experimentación los cuales tienen mayor probabilidad de estar entre el mínimo y el 1er cuartil, y el 3er cuartil y el máximo dato.

Pasos

1. Ordenar datos
2. Calcular cuartiles
3. Graficar la caja y los bigotes

Ejemplo: Dada la distribución de datos:

20 45 23 41 24 40 24 40 24 39 25 39 29 37
31 36 33 36 34 36

Para calcular los parámetros estadístico, lo primero es ordenar la distribución

20 23 24 24 24 25 29 31 31 33 34 36 36 37 39 39 40 40 41 45

Q₁, el cuartil Primero es el valor mayor que el 25% de los valores de la distribución. Como $N = 20$ resulta que $N/4 = 5$; el primer cuartil es la media aritmética de dicho valor y el siguiente:

$$Q_1 = (24 + 25) / 2 = 24,5$$

Q₂, el Segundo Cuartil es, evidentemente, la mediana de la distribución, es el valor de la variable que ocupa el lugar central en un conjunto de datos

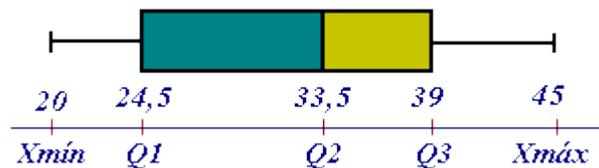
ordenados. Como $N/2 = 10$; la mediana es la media aritmética de dicho valor y el siguiente:

$$m_e = Q_2 = (33 + 34) / 2 = 33,5$$

Q_3 , el Tercer Cuartil, es el valor que sobrepasa al 75% de los valores de la distribución. En nuestro caso, como $3N / 4 = 15$, resulta

$$Q_3 = (39 + 39) / 2 = 39$$

DIBUJAR LA CAJA Y LOS BIGOTES



El *bigote* de la izquierda representa al colectivo de edades (X_{\min} , Q_1)

La primera parte de la caja a (Q_1 , Q_2),

La segunda parte de la caja a (Q_2 , Q_3)

El *bigote* de la derecha viene dado por (Q_3 , X_{\max}).

Referencias Bibliográficas

1. **Günter Bischof, Emilia Bratschitsch, Annette Casey y otros**, The impact of the formula student competition on undergraduate research projects. San Antonio IEEE Press Piscataway, 2009.
2. **Cañero, Aristoteles**, Experiencia en la Implantación de OCW. http://www.uv.es/jroderic/documentos/Aristoteles_Experiencia_en_la_implantacion_de_OCW.pdf. [Citado el: 16 de Noviembre de 2009.]
3. **Elena Meshkova, Janne Riihijärvi and Petri Mähönen**, Teaching Embedded Systems with Active Learning: The SMEAGOL Approach, 2008.
4. **Wikipedia La Enciclopedia Libre**, Learning object. http://en.wikipedia.org/wiki/Learning_object. [Citado el : Junio 18, 2010.]
5. **Stacy Shafer, Ann Adkins**, Active Learning and the Exploration of Real Objects, 2010.
6. **Robert L. Mott, Virgilio González y Pozo**, *Diseño de elementos de máquinas*. s.l. : Pearson Educación, 2006.
7. **López Ricardo, Gálvez Francisco, Quiles S., Beltrán Pedro, Llopis Agustín, Rubio C**, *Física Experimental*. 2004.
8. **Cardona Foix Salvador, Clos Costa Daniel**, *Teoría de Máquinas*. s.l. : Edicions UPC, 2001.

9. **Parker Dave**, nxtprograms.com.
<http://www.nxtprograms.com/transmission/steps.html>. [Citado el: 2 de Marzo de 2010.]
10. **LEGO**, Lego digital designer. <http://idd.lego.com/>. [Citado el: 2 de Marzo de 2010.]
11. **LEGO**, Lego® Mindstorms® NXT Communication Protocol, Lego group, 2006.
12. **LEGO**, Lego® Mindstorms® NXT Direct Commands, Lego group, 2006.
13. **ADLnet**, Advanced Distributed Learning.
<http://www.adlnet.gov/Technologies/scorm/default.aspx>. [Citado el: 4 de Abril de 2010.]
14. **García Angel Franco**, Movimiento de un Pistón.
<http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/oscilaciones/biela/biela.htm>. [Citado el: 2 de Mayo de 2010.]
15. **Cabrero García Julio y Richart Martínez Miguel**, Diseño Experimental, Cuasiexperimental y Experimental de caso único.
http://perso.wanadoo.es/aniorte_nic/apunt_metod_investigac4_5.htm. [Citado el: 30 de Abril de 2010.]
16. **Segura Cardona Angela M.**, Diseños Cuasiexperimentales.
<http://guajiros.udea.edu.co/Eva/Cursos/Experimen/Cuasiexperimental es.pdf>. [Citado el: 12 de Abril de 2010.]

17. **Rodas Olger, Bolaños Claudia, Barrientos Snadra y otros**, Teoría

Básica del Muestreo.

<http://www.monografias.com/trabajos11/tebas/tebas.shtml>. [Citado el: 20 de Abril de 2010.]

18. **Pértega Díaz, S. y Pita Fernández, S.** Métodos paramétricos para la comparación de dos medias. t de Student.

http://www.fisterra.com/mbe/investiga/t_student/t_student2.pdf.
[Citado: 10 Mayo 2010.]

19. **Elmer Guido**, Diseños experimentales de investigación; pre experimentos, experimentos "verdaderos" y cuasi experimentos.

<http://www.monografias.com/trabajos71/disenos-experimentales-investigacion/disenos-experimentales-investigacion2.shtml>. [Citado el: 04 de Mayo de 2010.]

20. **Mediavilla Teresa**, Métodos no paramétricos.

[http://www.mancomunidadcg.es/Universidad/Docs/TeresaMediavilla/MATEMATICAS 1%C2%BA CCEE/ESTADISTICA EMPRESARIAL/tema28.pdf](http://www.mancomunidadcg.es/Universidad/Docs/TeresaMediavilla/MATEMATICAS%20BA%20CCEE/ESTADISTICA EMPRESARIAL/tema28.pdf). [Citado el: 09 de Mayo de 2010.]

21. **Jurado David, Cheung Irene**, Manual de Construcción del Prototipo

I. <http://www.slideshare.net/saikiro/manual-de-construccion-prototipo-i?from=embed> [Citado el: 14 de Julio de 2010.]

22. **Jurado David, Cheung Irene**, Manual de Construcción del Prototipo

II. <http://www.slideshare.net/saikiro/manual-de-construccion-prototipo-ii?from=embed> [Citado el: 14 de Julio de 2010.]

23. **Jurado David, Cheung Irene**, Manual de Construcción del Prototipo

III. <http://www.slideshare.net/saikiro/manual-de-construccion-del-prototipo-iii?from=embed> [Citado el: 14 de Julio de 2010.]