

**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE MONITOREO EN  
BASE A LABVIEW PARA USO ACADÉMICO EN LABORATORIOS  
DE ENERGÍA**

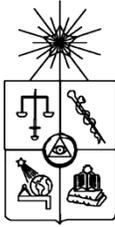
MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
ELECTRICISTA

ADRIÁN IGNACIO GUZMÁN MÁRQUEZ

PROFESOR GUÍA:  
RODRIGO PALMA BEHNKE

MIEMBROS DE LA COMISIÓN:  
NELSON MORALES OSORIO  
JORGE ROMO LOPEZ

SANTIAGO DE CHILE  
Junio de 2009



**UNIVERSIDAD DE CHILE**  
**FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA**

**DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE MONITOREO  
EN BASE A LABVIEW PARA USO ACADÉMICO EN  
LABORATORIOS DE ENERGÍA**

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL  
ELECTRICISTA

ADRIÁN IGNACIO GUZMÁN MÁRQUEZ

<b>COMISIÓN EXAMINADORA</b>	<b>NOTA (Nº)</b>	<b>CALIFICACIONES (LETRAS)</b>	<b>FIRMA</b>
Profesor Guía: Sr. RODRIGO PALMA BEHNKE.	: .....	.....	.....
Profesor Co-Guía: Sr. NELSON MORALES OSORIO.	: .....	.....	.....
Profesor Integrante: Sr. JORGE ROMO LOPEZ.	: .....	.....	.....
<b>CALIFICACIÓN FINAL</b>	: .....	.....	.....

SANTIAGO DE CHILE  
Junio de 2009

# *Agradecimientos.*

*En primer quiero agradecer a mis padres, en particular a mi madre, quien me ha apoyado más allá de esta etapa universitaria, gracias por el apoyo constante e incondicional durante toda mi vida. Gracias a toda mi hermosa familia: hermanos, primos, tíos, sobrinos y ahijados, gracias Quimey y Brunito por alegrarme la vida.*

*Quiero agradecer a todos mis amigos que contribuyeron con su gránito de arena (muchos con un verdadero costal de arena) para que pudiera terminara este trabajo, creo que todos sabemos que sin su ayuda no lo hubiera logrado, gracias: Joshua, Milko, Loro, Medel, Chino, Germán, Javito, MAN, Nico, Lucho, Yun, Carliños, Waraldo, Ita, Maiik, Mañi, Juri, Ștefan, Daniel y a LRM (me ahorraron terapia contra el estrés).....Espero no haber dejado a nadie afuera, y espero que sigamos unidos más allá de la universidad que ya se acaba.*

*También quiero agradecer a mis profesores, a todos y cada uno que entregaron generosamente lo mejor de su conocimiento para nutrir mi formación profesional y la de todos mis compañeros, en particular quiero agradecer a los profesores que integran este trabajo. Al profesor Rodrigo Palma, le quiero dar las gracias por apostar siempre por el desarrollo tecnológico y por confiar siempre en sus alumnos, en particular por confiar en mí para esta tarea. A los Profesores Nelson Morales y Jorge Romo les quiero agradecer por su aporte en este trabajo, por tener que soportar y corregir decenas de páginas llenas de mi curioso poder de redacción.*

*Gracias a todos los que estuvieron ahí, suerte y éxito.*

RESUMEN DE LA MEMORIA  
PARA OPTAR AL TÍTULO DE  
INGENIERO CIVIL ELECTRICISTA  
POR: ADRIÁN IGNACIO GUZMÁN MÁRQUEZ  
FECHA: 05/06/2009  
PROF. GUIA: SR. RODRIGO PALMA BEHNKE

DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMA DE MONITOREO EN BASE A LABVIEW PARA USO  
ACADÉMICO EN LABORATORIOS DE ENERGÍA.

La renovación de la malla curricular que está viviendo la Universidad de Chile, en particular, el Departamento de Ingeniería Eléctrica, ha motivado la incursión en métodos de enseñanza que incorporen los avances tecnológicos en la materia. Se ha buscado actualizar los métodos pedagógicos recurriendo a modificaciones de las mallas curriculares, actualización de contenidos y cambios en la experiencia de los alumnos sometidos a clases prácticas.

La renovación descrita es la motivación del desarrollo de esta memoria, la cual consiste en el desarrollo de un dispositivo móvil de adquisición de datos (DIMAD), que tenga por finalidad convertirse en una herramienta de análisis de fenómenos eléctricos, puntualmente, los fenómenos asociados a las máquinas que componen el conjunto de experiencias obligatorias del Laboratorio docente de Conversión Electromecánica de la Energía (LCEE). Este dispositivo deberá sustituir o complementar los instrumentos que originalmente se utilizan en este laboratorio y deberá tener la capacidad de funcionar con todos los distintos tipos de máquinas que posee este laboratorio. En cuanto a su característica de dispositivo de uso académico, significará una mejora en la experiencia de los alumnos respecto a la forma de trabajo tradicional.

Durante el desarrollo de este documento se estudian los procesos mentales involucrados en el acto de aprender, llegando a la teoría constructivista, la cual explica el proceso de aprendizaje como una mezcla entre conocimiento nuevo y la utilización del conocimiento previo adquirido para poder incorporar un nuevo conocimiento. Esta mezcla puede ser resumida en una frase que lo explica, "conoce la realidad en relación a los contenidos de la mente". También se estudian la ergonomía involucrada, ciencia que trata el tema de la relación entre el hombre y la máquina. Se hace un recorrido a través de los distintos métodos de adquisición de datos, las ventajas que representan. También se incorpora el entorno en el que se utilizará el DIMAD, esto es el LCEE, analizando las experiencias que deben ser cubiertas.

Toda la información recopilada permite crear un criterio de diseño que sirve de pauta durante la construcción del DIMAD. Llegando a un producto final que se orienta a satisfacer los aspectos académicos y técnicos propuestos. Por el lado académico, se diseña un dispositivo que permite materializar la teoría constructivista del conocimiento. Por el lado de los aspectos técnicos, si tiene un instrumento capaz de incorporarse en cualquiera de las experiencias del LCEE. Por el lado ergonómico, se han incorporado aspectos que permiten motivar al alumno durante su aprendizaje, como la incorporación de colores, figuras, animaciones, etc.

El DIMAD es entregado con una integración a la experiencia de la Micro Central Hidráulica, apoyado por un manual del usuario y una guía de ayuda para esta experiencia.

# TABLA DE CONTENIDOS

Tabla de contenidos .....	i
Tabla de Ilustraciones.....	ii
1. Introducción .....	1
1.1. Motivación.....	1
1.2. Descripción general del trabajo.....	2
1.3. Alcance.....	3
1.4. Objetivos.....	4
1.4.1. Objetivos generales .....	4
1.4.2. Objetivos específicos .....	4
2. Contextualización .....	4
2.1. Laboratorio de conversión electromecánica de la energía .....	4
2.1.1. Información General.....	5
2.1.2. Funcionamiento del laboratorio.....	5
2.1.3. Experiencia 1: Transformadores.....	8
2.1.4. Experiencia 2: Transformadores trifásicos .....	9
2.1.5. Experiencia 3: Máquina de continua .....	11
2.1.6. Experiencia 4: Máquina de inducción.....	13
2.1.7. Experiencia 5: Máquina síncrona aislada de la red.....	15
2.1.8. Experiencia 6: Máquina síncrona conectada a la red .....	16
2.2. Mediciones análogas y digitales .....	17
2.2.1. Mediciones análogas .....	17
2.2.2. Mediciones digitales .....	21
2.3. Experiencia de uso de LabVIEW para adquisición de datos.....	24
2.4. Adquisición de datos a través de LabVIEW .....	28
2.4.1. Chasis de adquisición de datos del DIMAD .....	28
2.4.2. Módulo de entrada análoga de 32 canales .....	31
2.4.3. Transductores de efecto hall .....	32
2.5. Ergonomía.....	33
3. Desarrollo del DIMAD.....	39
3.1. Diseño .....	39
3.1.1. Requerimientos técnicos .....	39
3.1.2. Solución de diseño.....	41
3.2. Programación .....	43
3.2.1. Adquisición de los datos .....	44
3.2.2. Manipulación de los datos.....	46
3.2.3. Interfaz gráfica .....	48
3.3. Filosofía de aprendizaje.....	49
3.4. Integración a micro central hidráulica.....	53
3.5. Presupuesto del DIMAD .....	64

4.	Trabajos futuros.....	66
4.1.	Implementación de otras experiencias .....	66
4.2.	Integración con zapatilla .....	68
4.3.	Replicación.....	71
4.4.	Guía teórica de micro central hidráulica .....	72
5.	Discusión y conclusión.....	74
6.	Referencias .....	76
	Anexo A1: Manual de usuario de DIMAD.....	A
	Anexo A2: Guía de actividades Micro Central Hidráulica.....	B

## TABLA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 2.1:	DIAGRAMA UNILINEAL DEL LABORATORIO DE MÁQUINAS. ....	7
ILUSTRACIÓN 2.2:	TRANSFORMADOR. ....	8
ILUSTRACIÓN 2.3:	BANCOS DE TRANSFORMADORES CONEXIÓN YY Y DY.....	10
ILUSTRACIÓN 2.4:	GRUPO MOTOR-GENERADOR CC.....	11
ILUSTRACIÓN 2.5:	GRUPO MOTOR INDUCCIÓN GENERADOR CC. ....	13
ILUSTRACIÓN 2.6:	MOTOR INDUCCIÓN CONTROLADO POR VARIADOR DE FRECUENCIA.....	13
ILUSTRACIÓN 2.7:	VOLTÍMETRO ELECTROMECAÁNICO. ....	18
ILUSTRACIÓN 2.8:	RESISTENCIA SHUNT.....	19
ILUSTRACIÓN 2.9:	AMPERÍMETRO DE TENAZA.. ....	20
ILUSTRACIÓN 2.10:	DIAGRAMA DE BLOQUES DEL CONVERTOR ANÁLOGO DIGITAL .....	21
ILUSTRACIÓN 2.11:	SEÑAL MUESTREADA. ....	21
ILUSTRACIÓN 2.12:	CODIFICADORES. ....	22
ILUSTRACIÓN 2.13:	EJEMPLO 1 PAPER "LABVIEW APPLICATION: ENERGY LABORATORY UPGRADE".....	24
ILUSTRACIÓN 2.14:	EJEMPLO 2 PAPER "A LABVIEW BASED INSTRUMENTATION SYSTEM FOR A WIND-SOLAR HYBRID POWER STATION".....	25
ILUSTRACIÓN 2.15:	EJEMPLO 3 PAPER "INTRODUCING INSTRUMENTATION AND DATA ACQUISITION TO MECHANICAL ENGINEER". .....	26
ILUSTRACIÓN 2.16:	EJEMPLO 4 PAPER "INTEGRATION OF DATA ACQUISITION AND LABVIEW IN EXPERIMENTAL METHODS COURSES".....	27
ILUSTRACIÓN 2.17:	CHASIS COMPACTDAQ.....	29
ILUSTRACIÓN 2.18:	INTERNO DE LAS MEDICIONES DIFERENCIALES. ....	31
ILUSTRACIÓN 2.19:	EFFECTO HALL. ....	33

ILUSTRACIÓN 2.20: CURVAS DE TIEMPOS DE IDENTIFICACIÓN DE LA PEOR VIOLACIÓN DE TENSIÓN EN FUNCIÓN DE LA COMPLEJIDAD DEL ESCENARIO. ....	38
ILUSTRACIÓN 2.21: CURVAS DE TIEMPOS DE RESOLUCIÓN DE PROBLEMA USANDO CONDENSADORES EN FUNCIÓN DE LA COMPLEJIDAD DEL ESCENARIO. ....	38
ILUSTRACIÓN 3.1: VENTANA DE PROGRAMACIÓN DE EXTRACCIÓN DE DATOS. ....	44
ILUSTRACIÓN 3.2: VENTANA DE SELECCIÓN Y CONFIGURACIÓN DE CANALES. ....	45
ILUSTRACIÓN 3.3: VENTANA DE PROGRAMACIÓN DE MANIPULACIÓN DE DATOS. ....	47
ILUSTRACIÓN 3.4: VENTANA DE INTERFAZ GRÁFICA DE VOLTAJES Y CORRIENTES EN EL MOTOR (BOMBA). ....	48
ILUSTRACIÓN 3.5: DIAGRAMA DE TEORÍAS DEL APRENDIZAJE. ....	50
ILUSTRACIÓN 3.6: TABLAS DE ESTRATEGIAS DEL APRENDIZAJE. ....	51
ILUSTRACIÓN 3.7: TURBINA PELTON. ....	55
ILUSTRACIÓN 3.8: DIAGRAMA DE CONJUNTO AGUJA-BOQUILLA. ....	56
ILUSTRACIÓN 3.9: MICRO CENTRAL HIDRÁULICA. ....	57
ILUSTRACIÓN 3.10: ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL DIMAD A LA BOMBA DE LA MCH. ....	59
ILUSTRACIÓN 3.11: ESQUEMA DE CONEXIÓN DEL DIMAD AL GENERADOR DE LA MCH. ....	60
ILUSTRACIÓN 3.12: VENTANA PRINCIPAL DEL SOFTWARE. ....	61
ILUSTRACIÓN 3.13: VENTANA DE VARIABLES DEL MOTOR EN FUNCIÓN DEL TIEMPO. ....	62
ILUSTRACIÓN 3.14: VENTANA DE TRANSFORMADA DE FOURIER DE LA CORRIENTE DEL MOTOR. ....	63
ILUSTRACIÓN 4.1: ASPECTO VISUAL DE ZAPATILLA. ....	69
ILUSTRACIÓN 4.2: SEGUNDA VISTA DE ZAPATILLA. ....	70

# 1. INTRODUCCIÓN

## 1.1. MOTIVACIÓN

El trabajo realizado está inmerso en la renovación del plan de estudios de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, en particular, en la renovación del Laboratorio de Conversión Electromecánica de la Energía<sup>1</sup>. Dicho plan tiene por objetivo cambiar la forma tradicional de enseñanza, en la cual el alumno se convertía en un espectador de una cátedra, hacia un proceso centrado en el estudiante y en su aprendizaje, que sitúe al alumno como un protagonista activo del proceso de aprendizaje, y donde se utilicen métodos pedagógicos más acordes con los tiempos modernos, tiempos en los que ha cambiado radicalmente la forma en la que se entiende el proceso de aprendizaje, en particular, se desea que el alumno utilice sus conocimientos previos para adquirir sus nuevos conocimientos, todo esto basado en la teoría constructivista de los métodos de aprendizaje.

De acá surge la necesidad de integrar elementos modernos al LCEE, uno de ellos corresponde al que abarcará esta memoria, el cual consiste una nueva forma de visualizar las variables comprometidas en las respectivas experiencias prácticas, ya no sólo de forma analógica con los antiguos medidores, sino también de una forma gráfica sobre una plataforma computacional de uso comercial que pueda ser hoy encontrada en la industria. La plataforma elegida fue Labview, la cual entrega una gran potencialidad y flexibilidad en la manipulación y análisis de datos, junto con una atractiva interfaz gráfica y una completa compatibilidad con las tarjetas de adquisición de datos National Instrument, unas de las más utilizadas en el mercado hoy en día. Bajo estos requerimientos surge la idea de disponer de un dispositivo móvil de adquisición de datos<sup>2</sup>, con medidores análogos por un lado, que permitan al alumno seguir conectado con el tradicional método de enseñanza y

---

<sup>1</sup> LCEE de ahora en adelante

<sup>2</sup> DIMAD de ahora en adelante

una pantalla donde se trabaje a través de LabVIEW de forma gráfica con toda la flexibilidad que esto permite incluyendo la visualización de los manuales y guías teóricas de los cursos previos y de esta forma incorporar en una única unidad todos los elementos necesarios para llevar a cabo las actividades del laboratorio. De esta forma el alumno podrá complementar sus conocimientos teóricos con la realidad, en el mismo momento en que esté realizando las pruebas y así aumentar la calidad del aprendizaje.

## **1.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL TRABAJO**

El trabajo consiste en el diseño, construcción e implementación de un dispositivo móvil de adquisición de datos (DIMAD), que permita tomar mediciones tanto análogas como digitales de las experiencias realizadas en el LCEE.

Para el caso de las mediciones análogas se debe tener en cuenta que el DIMAD tiene un perfil didáctico, por lo que no se desea un diseño invisible al alumno (efecto caja negra) donde con sólo enchufar un par de conectores se obtengan todas las medidas “como por arte de magia”, sino por el contrario, se busca que el alumno deba realizar las conexiones correspondientes para cada medición, más aún, que las conexiones internas del DIMAD sean visibles al alumno de manera que comprenda a cabalidad lo que realmente está midiendo. Todo esto orientado a que el alumno adquiera los conocimientos requeridos para la aprobación del curso correspondiente.

Por otro lado, para el caso de las mediciones digitales, el trabajo se realizará sobre la plataforma “LabVIEW”, la cual permite la visualización en un atractivo formato gráfico de las variables a ser estudiadas. Estas muestras y su tratamiento será invisibles al alumno, dentro de un computador, por lo que este dispositivo permitirá más que nada visualizar, analizar y procesar las variables de interés de una forma tal, que sea comprensible y comparable para el alumno con sus conocimientos previos. En efecto se trata que pueda comparar lo observado con los resultados teóricos que conoce de los correspondientes cursos previos del departamento, y pueda explicar las diferencias o

similitudes de estos resultados. Sin embargo, el proceso de transducción de las variables si será visible; de forma tal que el alumno podrá ver los transductores que se utilizarán para llevar los niveles de tensión y corriente a los niveles que la tarjeta de adquisición de datos es capaz de manejar.

Luego del diseño y construcción se realizarán las pruebas de recepción del DIMAD y se validará el mismo haciendo que alumnos no familiarizados, lo utilicen, prueben y critiquen su funcionalidad.

Junto con la entrega del DIMAD se deberá contar con un manual técnico de este que explique sus características, su funcionamiento, sus condiciones de operación, etc. Deberá contener los niveles de corriente, voltaje y frecuencias máximos que soporta, la forma en la que se utiliza, un descripción detallada de cada elemento que lo compone y una breve explicación de cómo se puede preparar una nueva experiencia a partir de cero. También será necesaria una guía para el alumno que explique cómo utilizar el DIMAD para la experiencia en la cual será implementada en principio, esta es, la Micro Central Hidráulica<sup>3</sup>, el manual de esta última experiencia no se incluirá en esta memoria por no ser parte del alcance de ésta.

### **1.3. ALCANCE**

El proyecto en sí constituye la construcción un dispositivo desde cero, por lo que obviamente el alcance es la construcción e implementación final del DIMAD, acompañada de la documentación requerida. Por el lado del diseño, se debe contar con todo lo que conlleva un diseño estándar, esto es: especificaciones técnicas, detalles de la programación etc. En la etapa de implementación, ésta debe finalizar con un prototipo construido completamente funcional, implementado para al menos una experiencia real, en este caso corresponderá a la experiencia de la MCH.

---

<sup>3</sup> MCH de ahora en adelante

## **1.4. OBJETIVOS**

### **1.4.1. OBJETIVOS GENERALES**

- Mejorar la experiencia de aprendizaje de los alumnos recopilando información de las teorías modernas de adquisición de conocimientos y utilizando éstas en el diseño del DIMAD.
- Innovar respecto a la forma en que se trabaja en los laboratorios experimentales introduciendo tanto tecnología de punta como nuevos métodos académicos para obtener un mejor resultado en cuanto a las metas académicas de los alumnos.

### **1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Construcción de un dispositivo (DIMAD) que satisfaga los requerimientos técnicos y académicos deseados.
- Desarrollar un software orientado al desarrollo de la experiencia de la MCH que muestre todas las potencialidades del DIMAD..
- Sustituir todos los instrumentos necesarios para las experiencias del LCEE, con la utilización del DIMAD.
- Elaboración de los correspondientes manuales que permitan la utilización del DIMAD.

## **2. CONTEXTUALIZACIÓN**

### **2.1. LABORATORIO DE CONVERSIÓN ELECTROMECAÁNICA DE LA ENERGÍA**

El objetivo del DIMAD es servir como herramienta de medición y visualización de variables en el LCEE, por lo que es de suma importancia conocer todas las características de este laboratorio. A continuación se entregará información general del LCEE y de las distintas experiencias que son realizadas en éste.

### **2.1.1. INFORMACIÓN GENERAL**

El LCEE se encuentra en el primer subterráneo del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, ubicado en Av. Tupper #2007, comuna de Santiago. Este Laboratorio forma parte del plan de estudios de la Carrera Ingeniería Civil Electricista, y corresponde a una de las asignaturas obligatorias de esta especialidad de ingeniería [1].

El trabajo en este laboratorio permite al alumno la comprensión del funcionamiento, operación y características particulares de las máquinas fundamentales de conversión electromecánica de la energía: transformadores y máquinas rotatorias de corriente alterna y de corriente continua. Se estudia el comportamiento de máquinas de tamaño real a partir de sus parámetros y como parte de un sistema.

### **2.1.2. FUNCIONAMIENTO DEL LABORATORIO**

En el 2008 se remodeló el LCEE lo cual ha significado cambios en la forma de utilizar los elementos de este con respecto a los años anteriores. A continuación se describirá resumidamente las condiciones en las que se desarrollan las actividades hoy en día.

Básicamente se dispone de un Tablero General más un Tablero de CC, desde los cuales se alimenten diversos tableros de distribución murales individuales, donde cada tablero es utilizado por un grupo de alumnos durante la realización de sus actividades. Estos tableros poseen como salidas, enchufes industriales distinguiéndose las siguientes clases distintas de alimentación:

- Voltaje de CA trifásico de 380 [Vff].
- Voltaje de CA trifásico de 220 [Vff].
- Voltajes continuos de 440 [V], 220 [V] y 110 [V].

- Voltaje de CA monofásico de 220 [V] para instrumentación.

Los diversos Tableros disponen de interruptores automáticos, diferenciales y botones de desconexión de emergencia (“botones de pánico”), con tal de conseguir la mayor seguridad posible para los usuarios, instrumentos y equipos.

Cada uno de los tableros no posee todas las alimentaciones posibles por una cuestión de espacio y costos, sino que a cada tablero le fue asignada una experiencia dada su ubicación dentro del laboratorio. A continuación se describe detalladamente las distintas combinaciones de conexiones que posee cada tablero:

- Tablero 1: dispone de 380 [Vff], 440 [Vcc], 220 [Vcc], 110 [Vcc], 220 [Vfn]-servicios.
- Tablero 2: dispone de 380 [Vff], 440 [Vcc], 220 [Vcc], 110 [Vcc] y 220 [Vfn]-servicios.
- Tablero 3: dispone de 380 [Vff], 440 [Vcc], 220 [Vcc], 110 [Vcc] y 220 [Vfn]-servicios.
- Tablero 4: dispone de 380 [Vff], 440 [Vcc], 220 [Vcc], 110 [Vcc] y 220 [Vfn]-servicios.
- Tablero 5: dispone de 380 [Vff], 220 [Vff], 440 [Vcc], 220 [Vcc] y 220 [Vfn]-servicios.
- Tablero 6: dispone de 380 [Vff], 220 [Vff], 440 [Vcc], 220 [Vcc] y 220 [Vfn]-servicios.
- Tablero 7: dispone de 380 [Vff], 220 [Vff], 440 [Vcc], 220 [Vcc] y 220 [Vfn]-servicios.
- Tablero 8: dispone de 380 [Vff], 440 [Vcc], 220 [Vcc], 110 [Vcc] y 220 [Vfn]-servicios.
- Tablero 9: dispone de 380 [Vff], 440 [Vcc], 220 [Vcc], 110 [Vcc] y 220 [Vfn]-servicios.
- Tablero CCo: dispone de 440 [Vcc], 220 [Vcc] y 220 [Vfn]-servicios.
- Tablero CCc: dispone de 440 [Vcc], 220 [Vcc] y 220 [Vfn]-servicios.
- Tablero CCp: dispone de 440 [Vcc], 220 [Vcc] y 220 [Vfn]-servicios.

El funcionamiento del botón de pánico es tal que, al ser presionado, éste desenergiza sólo el panel individual al cual pertenece, dejando funcional el resto de los tableros que componen la red eléctrica del laboratorio

Por otra parte, debe indicarse que para la realización de experiencias, no es posible conectar equipos e instrumentos directamente al tablero, sino que debe conectarse a éste un Tablero portátil, denominado “zapatilla”, elemento que crea la conversión de enchufes

industriales a bornes tipo banana, los cuales son el estándar dentro de este laboratorio, y también sirviendo como extensión del botón de pánico, replicando la funcionalidad del que posee cada tablero, pero al alcance del alumno [2].

A continuación se muestra un diagrama unilineal de la red del LCEE que deja más clara la forma en la que está interconectada esta red:

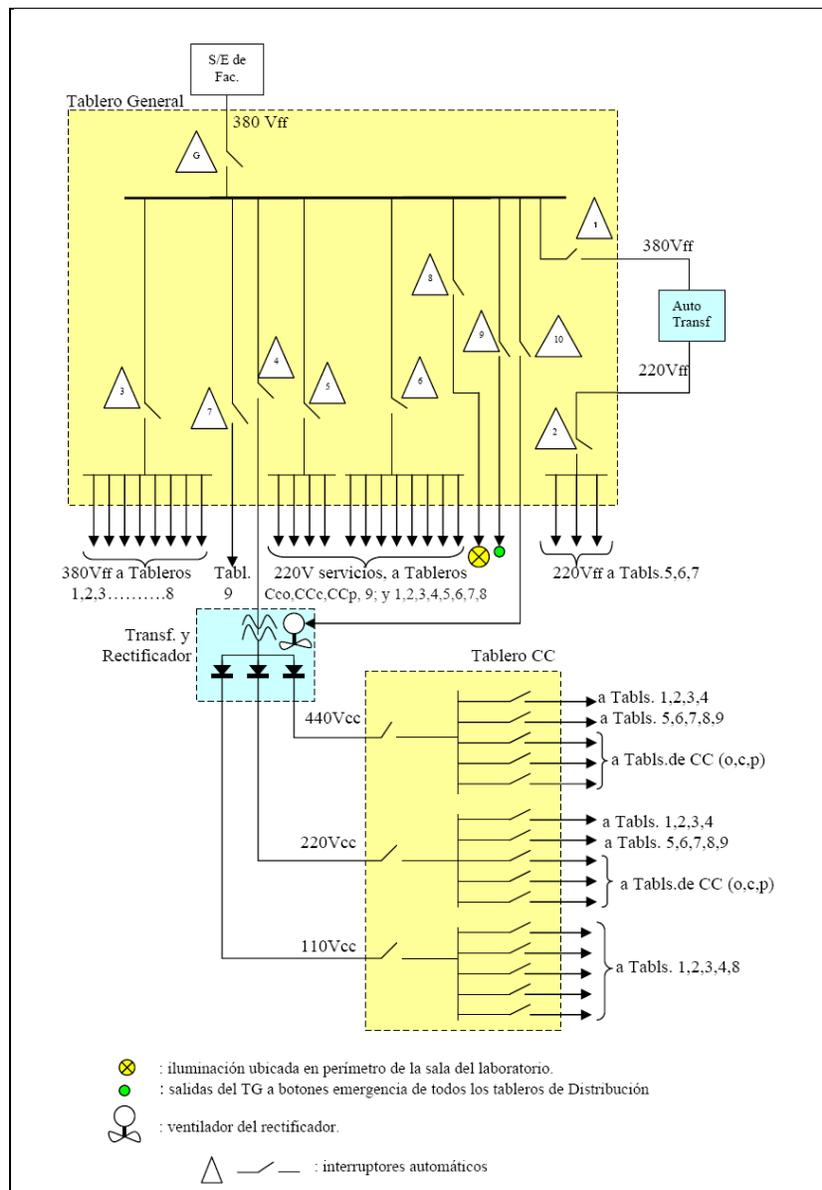


Ilustración 2.1: Diagrama unilineal del Laboratorio de Máquinas.

### 2.1.3. EXPERIENCIA 1: TRANSFORMADORES

La experiencia de transformadores consiste en el estudio y análisis de las características eléctricas de los transformadores. Estas características son detalladas a continuación:

#### Polaridad

Se pide a los alumnos que hagan un análisis de la polaridad de los distintos enrollados que posee el transformador que se utilizará en la experiencia (Ilustración 2.2). Este transformador posee 2 bobinas de 110 [V], 4,6 [A] y una bobina de 110 [V], 9,2 [A], lo que permite construir 2 transformadores distintos al conectar las bobinas de 110 [V], 4,6 [A] en serie o paralelo: un transformador de razón 220/110 [V] o bien un transformador de razón 110/110 [V].

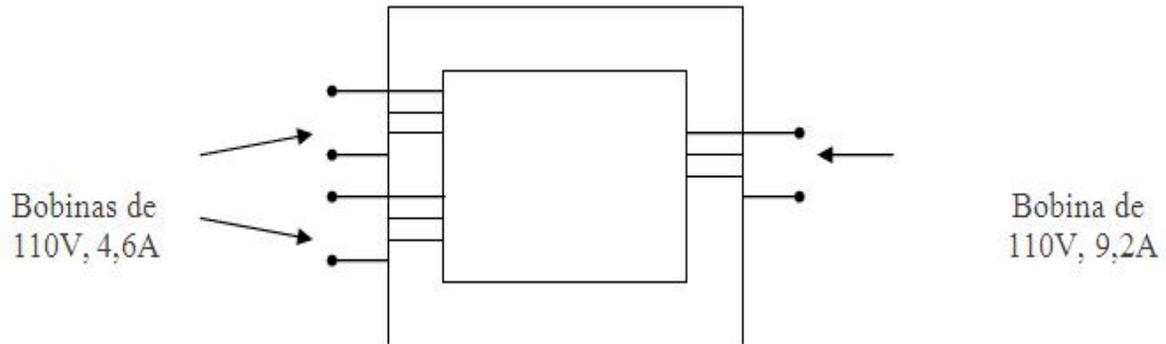


Ilustración 2.2: Transformador.

### **Circuito equivalente**

Se debe encontrar el circuito equivalente, que representa en forma simplificada y aproximada el comportamiento electromagnético del transformador. Este toma en cuenta, por ejemplo, la resistencia de los enrollados, la existencia de un enlace magnético, la necesidad de una corriente de excitación para producir el flujo, y que hay histéresis y pérdidas por corrientes parásitas en el núcleo. Para determinar estos parámetros se deben realizar las pruebas correspondientes en el LCEE [3].

### **Regulación**

Se pide realizar un análisis de la regulación del transformador, esto es, la forma en que varía la tensión en el secundario del transformador para distintas condiciones de carga.

### **Eficiencia**

Como en todos los elementos eléctricos la eficiencia de un transformador corresponde a la relación entre la potencia de salida potencia de entrada. Para esto es necesario que los alumnos visualicen ambas potencias.

#### **2.1.4. EXPERIENCIA 2: TRANSFORMADORES TRIFÁSICOS**

Para la experiencia de transformadores trifásicos los alumnos deben utilizar un banco de transformadores monofásicos compuestos de los mismos transformadores de la experiencia 1 (Ilustración 2.2). Este banco de transformadores se debe configurar de 2 formas distintas, conexión Yy y conexión Dy (Ilustración 2.3).

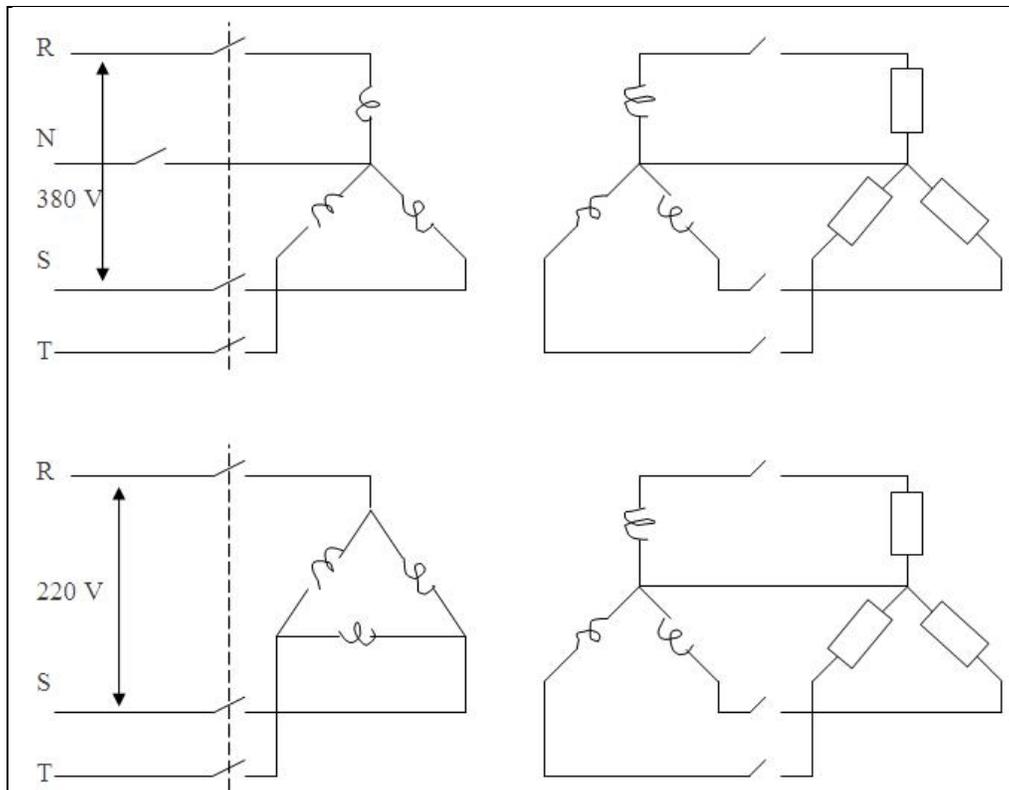


Ilustración 2.3: Bancos de transformadores conexión YY y DY.

Luego a estos bancos se le deben hacer los siguientes análisis:

### Circuito equivalente

Se debe encontrar los elementos del circuito equivalente, haciendo las correspondientes pruebas análogas a la experiencia anterior, es decir, cortocircuito y circuito abierto para ambas conexiones, YY y DY. Con esto se obtendrán los elementos de la rama serie y los de la rama de magnetización respectivamente.

### Efectos de la conexión del neutro

Se debe analizar las formas de ondas de voltajes y corrientes para ambas conexiones. Además, para la conexión Yy se pide analizar los casos con conexión de neutro

y sin conexión de neutro, poniendo atención en las componentes armónicas. Para esto es imprescindible tener una buena visualización de la forma de onda.

### Desequilibrio de cargas

En las conexiones Yy y Dy se analiza lo que sucede al producirse un desequilibrio de las cargas, cuando la carga es monofásica. Para esto se pide analizar todas las corrientes y tensiones que están involucradas [3].

### 2.1.5. EXPERIENCIA 3: MÁQUINA DE CONTINUA

En esta experiencia se analiza el comportamiento de un motor y generador de CC, mediante un montaje construido por un motor CC unido a un generador CC. (Ilustración 2.4) En esta sesión se deben analizar las siguientes características:

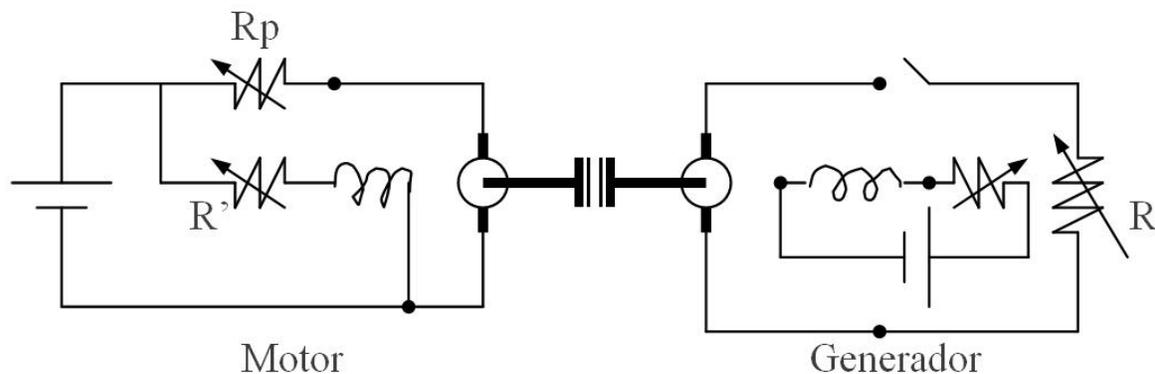


Ilustración 2.4: Grupo Motor-Generador CC.

### Características constructivas

El alumno debe identificar visiblemente los distintos elementos que componen una máquina de continua. Se pide al menos que el alumno identifique los elementos principales como armadura, campos, polos de conmutación, colector, descansos, sistema

de lubricación, carcasa, sistema de refrigeración, etc., y que también que se identifique la convención utilizada para la designación de los bornes.

### **Partida del motor**

Se pide que el alumno realice el procedimiento de partida del motor CC manipulando correctamente el conjunto de resistencias e interruptores que intervienen en este proceso.

### **Característica de velocidad en función de tensión de armadura**

Se pide determinar el efecto de la velocidad de un motor CC (conexión Shunt) al variar la tensión de armadura para una corriente de campo constante.

### **Circuito equivalente**

Se pide encontrar los elementos del circuito equivalente del motor CC realizando las pruebas necesarias y midiendo las resistencias de los enrollados directamente mediante un óhmetro. También se pide la característica de magnetización de la máquina, es decir cómo varía la tensión en la armadura con la corriente de campo manteniendo la velocidad de rotación constante. Se debe determinar curvas para 2 velocidades de rotación distintas.

### **Efectos de la carga**

Se pide determinar los efectos que tiene la variación de la carga mecánica sobre las distintas variables eléctricas y mecánicas tales como potencia, tensión corrientes de campo, corrientes de armadura, velocidad de rotación, etc. Todo para la conexión Shunt [3].

### 2.1.6. EXPERIENCIA 4: MÁQUINA DE INDUCCIÓN

En la experiencia de máquina de inducción se utiliza un motor de inducción conectado un generador CC (Ilustración 2.5) y un motor de inducción conectado a un variador de frecuencia (Ilustración 2.6). Con estas 2 configuraciones se le pide al alumno que realice los siguientes análisis:

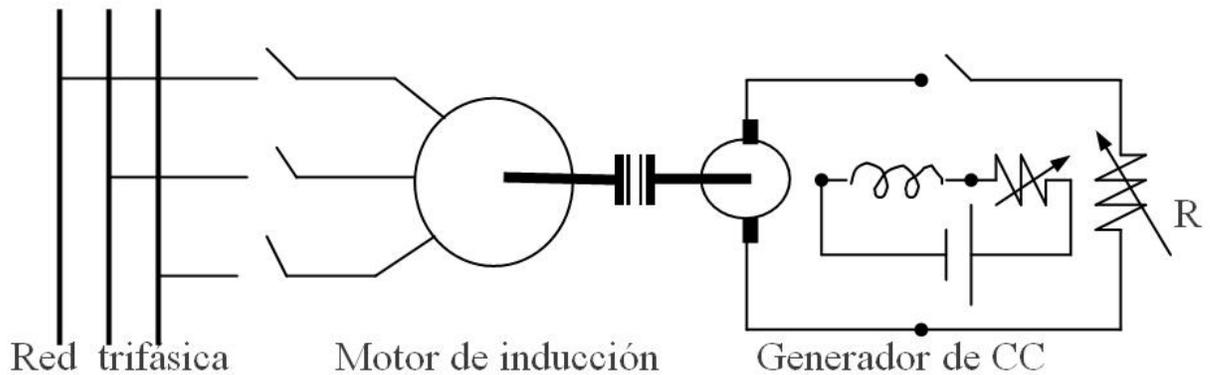


Ilustración 2.5: Grupo Motor Inducción Generador CC.

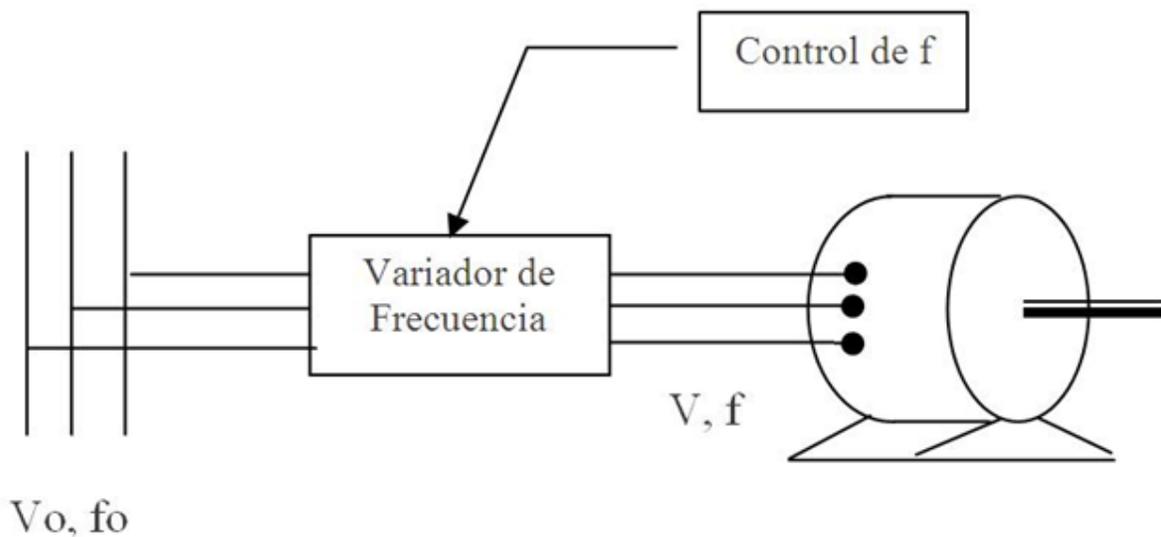


Ilustración 2.6: Motor inducción controlado por variador de frecuencia.

### **Características constructivas**

Se pide a los alumnos que determinen las características constructivas de los motores de inducción en ambas experiencias, observando en particular el tipo de rotor que poseen cada uno de los motores.

### **Métodos de partida**

Se pide que se practiquen los distintos métodos de partida para estos tipos de motores midiendo los valores peak que se obtienen durante estos ensayos.

### **Circuito equivalente**

Se pide a los alumnos realizar las pruebas necesarias para determinar los parámetros del circuito equivalente del motor de inducción, con todas las medidas necesarias.

### **Característica con carga**

Se pide a los alumnos observar el comportamiento de las variables eléctricas de la máquina de inducción operando como motor, sometido a distintas cargas mecánicas, por medio del generador CC.

### **Operación como generador conectado a la red**

Se pide estudiar el comportamiento de la Máquina de inducción operando como generador conectado a la red girando a velocidad mayor que la sincrónica, accionado por la máquina de CC operando como motor Shunt, principalmente la relación entre potencia generada en función del desplazamiento o la velocidad mecánica.

### **Operación como generador desconectado de la red**

Se pide desconectar bruscamente el generador de la red para alimentar una pequeña carga, y analizarlas variables en el régimen permanente.

### **Control de velocidad utilizando variador de frecuencia**

Se pide utilizar un variador de frecuencia de modo de variar la velocidad a la que gira el motor. Se pide que se encuentre la relación entre la velocidad de giro, la corriente y la frecuencia controlada, también que se visualicen las formas de ondas de la corriente y los voltajes suministrados por el variador de frecuencia [3].

### **2.1.7. EXPERIENCIA 5: MÁQUINA SINCRÓNICA AISLADA DE LA RED**

En esta experiencia se utiliza una máquina síncrona como generador. Esta se utiliza aislada de la red y suministrando potencia a determinadas impedancias de carga. Esta situación es similar a la de los grupos electrógenos; sin embargo, en este caso como máquina motriz se utilizará un motor CC Shunt, con la ya explicada configuración se le pide al alumno que estudie lo siguiente:

#### **Características constructivas**

Se pide que analicen las características constructivas de la máquina síncrona. Este análisis es utilizado tanto en esta experiencia como en la siguiente (Generador Síncrono conectado a la red).

#### **Saturación en vacío**

Se pide que en vacío y a velocidad nominal lleve la saturación del núcleo al límite. Esto se logra aumentando la corriente de campo y midiendo el voltaje en vacío hasta que este pierda su característica lineal.

### **Característica de cortocircuito**

Se pide estudiar la característica de cortocircuito que posee esta máquina para dos velocidades distintas, llevándola hasta un 125% de su corriente nominal.

### **Característica de carga**

Se pide estudiar cómo varía el voltaje a medida que se le exige corriente, partiendo desde los valores nominales y aumentando esta corriente cada vez más. Todo a velocidad y corriente de campo constantes.

### **2.1.8. EXPERIENCIA 6: MÁQUINA SINCRÓNICA CONECTADA A LA RED**

En esta experiencia se debe conectar un generador sincrónico a la red, con todo lo que implica, sincronismo, nivel de voltaje etc. Y se deben estudiar las siguientes características:

#### **Sincronización con la red**

Se pide que los alumnos utilicen el “método de las ampollitas para sincronizar y conectar el generador a la red” y que midan los peaks de corrientes que se producen para distintos casos de sincronismo.

#### **Trabajar la máquina en los 4 cuadrantes**

Una vez sincronizado con la red se pide a los alumnos que hagan trabajar a la máquina en los 4 cuadrantes y que determinen los flujos de potencia correspondientes a distintos puntos de operación para corroborar la teoría.

## **Carta de operación**

Determinar los límites de la carta de operación de la Máquina llevándola a cada una de las condiciones extremas de funcionamiento incluyendo condensador y reactor [3].

## **2.2. MEDICIONES ANÁLOGAS Y DIGITALES**

Un aspecto importante del proyecto se basa en la unión de los mundos análogo y digital. Bajo esta premisa cabe mencionar características generales de ambos mundos para así entender cuál es la razón de juntarlos, basado en las ventajas y desventajas de cada uno de ellos.

### **2.2.1. MEDICIONES ANÁLOGAS**

Las mediciones análogas son aquellas en las que no interfiere ningún tipo de muestreo o digitalización, son las típicas medidas con instrumentos electromecánicos, los cuales generan la medición a partir de contrastar fuerzas o torques originados por la medición misma, con fuerzas o torques debido a un elemento de referencia.

Las principales medidas que se realizan con este tipo de instrumentos son las de voltaje y corriente.

#### **Voltímetro**

Es el instrumento que permite medir voltaje. La correcta conexión de este dispositivo es colocando sus terminales en los puntos entre los cuales se desea medir voltaje.

El voltímetro análogo más comúnmente utilizado es el voltímetro electromecánico, el que basa su funcionamiento en producir, con el voltaje medido, un torque proporcional

a éste (según lo explican las leyes de electromagnetismo). De esta forma, este torque es contrapuesto a un torque de referencia, el cual proviene típicamente de un resorte conectado a una aguja o puntero, que se ubica sobre una escala calibrada la cual representa la amplitud de este voltaje como un número en la escala (Ilustración 2.7) [4].

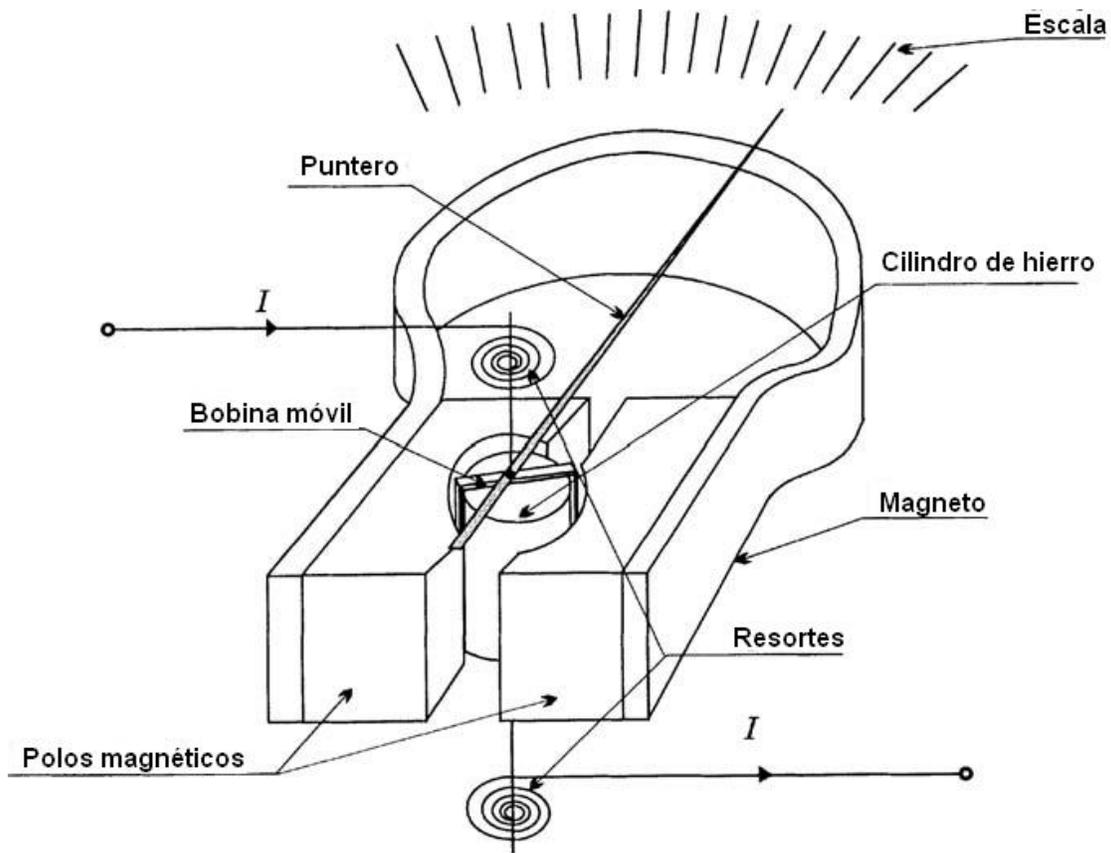
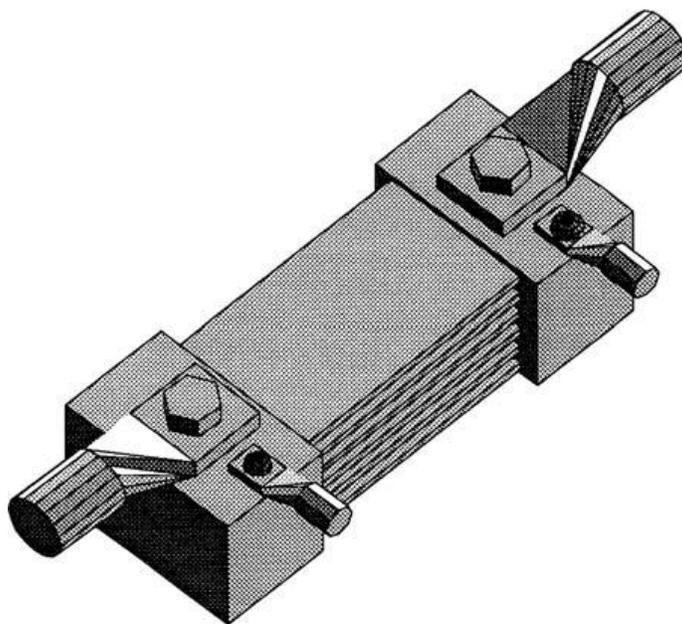


Ilustración 2.7: Voltímetro electromecánico.

## Amperímetro

El amperímetro es el instrumento que permite medir corriente eléctrica. La correcta conexión de este instrumento es interrumpiendo el paso de corriente y haciéndolo fluir a través de él (amperímetros electromecánicos), o enlazando el conductor al cual se le desea realizar la medición de corriente (amperímetros de tenaza).

El primer tipo de instrumento básicamente consiste en una resistencia de bajo valor en paralelo con un voltímetro electromagnético su funcionamiento consiste en hacer pasar la corriente a medir por una resistencia de muy baja impedancia, y alta precisión (resistencia “Shunt”) (Ilustración 2.8) para luego medir, mediante un voltímetro la tensión producida en ella. Se sabe que por la ley de Ampere existe una relación lineal entre el voltaje y la corriente si se conoce la resistencia, por lo anterior se debe disponer de una resistencia que mantenga su valor constante para un amplio rango de corrientes. Por lo mismo, estas resistencias se diseñan con múltiples placas para evitar el efecto skin, y con una separación entre ellas de modo de mejorar la ventilación y así reducir el efecto que la temperatura tiene sobre la resistencia.



*Ilustración 2.8: Resistencia Shunt.*

Para el caso de los amperímetros de tenazas, su funcionamiento se basa en que una corriente que circula por un conductor genera un campo magnético  $H$  que rodea al conductor tal y como se ilustra en la (Ilustración 2.9). Este campo es directamente proporcional a la intensidad de corriente que circula por al conductor, dicha proporcionalidad viene dada por la fórmula:

$$H = \frac{I}{2\pi r}$$

De donde  $B = \mu\mu_0 H$ , siendo  $\mu =$  permeabilidad magnética relativa del material ferromagnético de la tenaza y  $\Phi = BA = \frac{\mu\mu_0 H}{2\pi r}$  [wb] es el flujo magnético por el material de la tenaza.

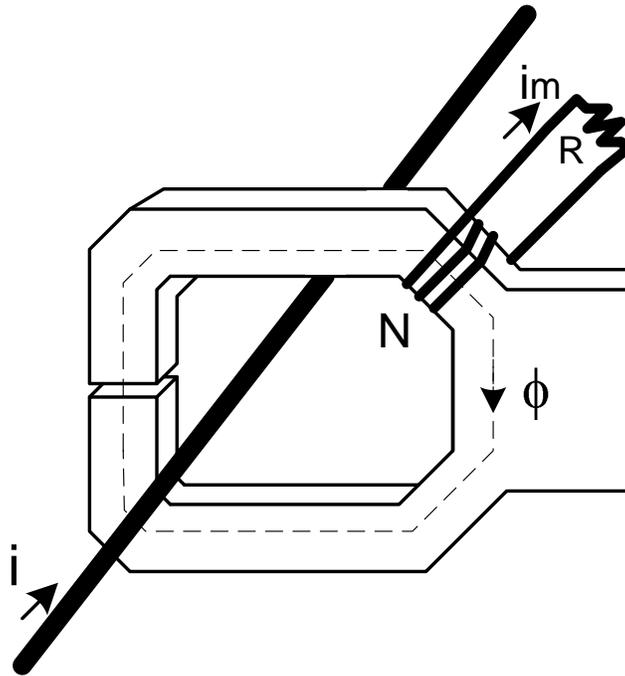


Ilustración 2.9: Amperímetro de tenaza..

Así ubicando una bobina de  $N$  vueltas en el camino del flujo (Ilustración 2.9), si  $\phi(t)$  es alterno, en la bobina se inducirá un voltaje que hace circular una corriente  $I_m$  por una resistencia  $R$  de bajo valor.

$$I_m = \frac{I}{N}$$

Esta corriente es la que finalmente se mide en el instrumento y este se calibra adecuadamente para poder leer el valor de  $I$ .

### 2.2.2. MEDICIONES DIGITALES

Las mediciones digitales como tal, no existen. Como se sabe el mundo real es analógico, y cualquier medición que se haga de él lo es; sin embargo, actualmente es muy utilizado el digitalizar estas señales mediante los CAD (convertor análogo digital). Este proceso se divide en 3 etapas: el muestreo, la cuantificación y la codificación.

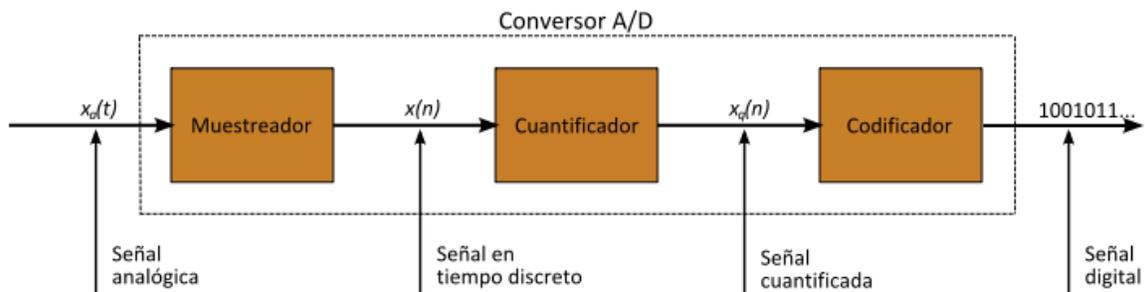


Ilustración 2.10: Diagrama de bloques del convertor análogo digital.

**Muestreo:** en esta etapa se asigna un valor durante un cierto intervalo de tiempo de la señal a convertir. Al conjunto de estos valores puntuales tomados para sucesivos intervalos de tiempos se les denomina señal en tiempo discreto y corresponden, si se quiere ver de cierta forma, a fotografías de la señal.

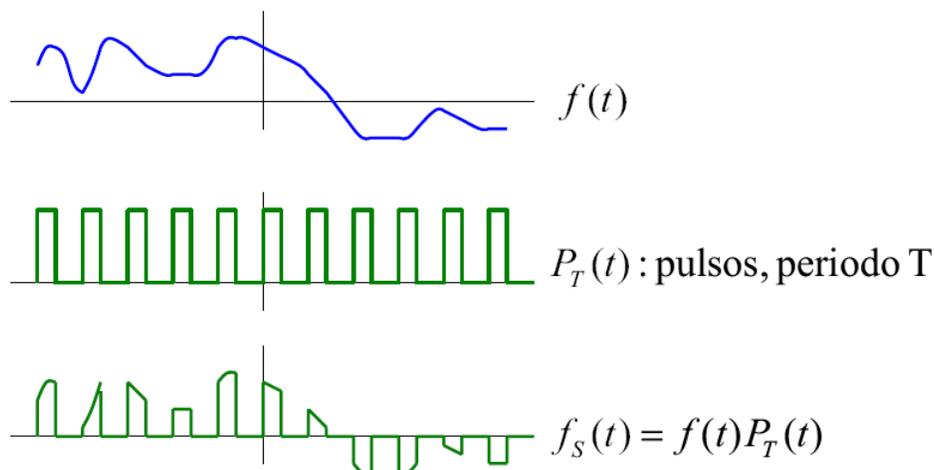


Ilustración 2.11: Señal muestreada.

Cuantificación: el cuantificador convierte cada uno de esos pulsos en un número binario, donde el número es un discreto del valor real de cada muestra, es decir el valor se escala a un número determinado en binario. La precisión de este proceso depende del número de bits en que discretiza dicho cuantificador.

Codificador: el codificador transforma los niveles de cuantificación ("1" Y "0") en niveles de voltaje previamente establecidos por norma. Existen distintas formas de representar estos símbolos de forma estándar.

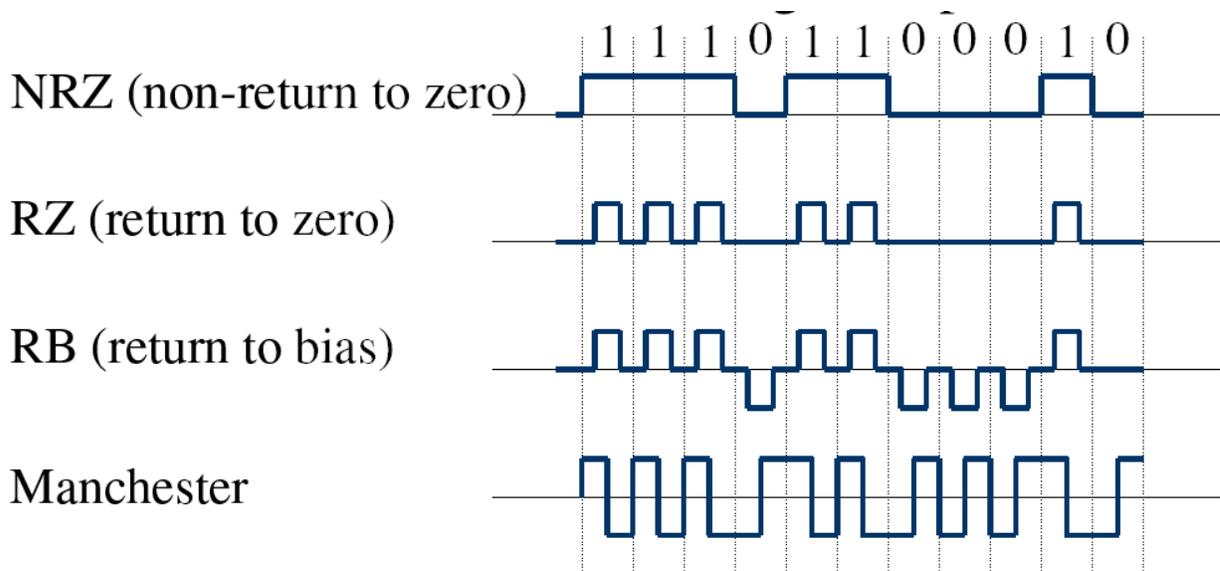


Ilustración 2.12: Codificadores.

Finalmente se tiene una señal digitalizada proveniente de una señal analógica la cual puede ser leída y procesada por un computador o un procesador digital.

Estas señales pueden ser procesadas, analizadas, filtradas, y manipuladas, lo que representa una ventaja de este tipo de señales con respecto a las análogas. Las desventajas son que se requiere un sistema de procesamiento para analizarlas, tiempo de procesamiento y errores permanentes provenientes de la digitalización.

La principal desventaja que poseen las mediciones digitales, con respecto a los objetivos del proyecto, es la pérdida de contacto con el mundo real, ya que en un voltímetro análogo realmente se está viendo un dispositivo que convierte el voltaje real que existe entre 2 terminales, en una resta de fuerzas que produce movimiento. Por lo que se está en presencia de un elemento que materializa todas las ecuaciones de campos electromagnéticos vistas en los cursos anteriores [5].

## 2.3. EXPERIENCIA DE USO DE LABVIEW PARA ADQUISICIÓN DE DATOS

En el mundo, existen infinidad de sistemas de monitoreo y control tipo SCADA para elementos de laboratorios de energía; y muchos de éstos utilizan la plataforma LabVIEW. También, por supuesto, existen muchos paneles con muestreos analógicos, sin embargo, no se ha encontrado un dispositivo móvil que presente ambas características, la mayoría de los elementos que presentan una fusión entre lo digital y lo análogo, son gabinetes antiguos que poseen un indicador análogo y que se ha actualizado incluyendo sistemas de medida digitales en su interior, con una pantalla digital.

A continuación se muestran algunos prototipos móviles que presentan características similares al dispositivo en cuestión:

### Ejemplo 1



*Ilustración 2.13: Ejemplo 1 paper "LABVIEW APPLICATION: ENERGY LABORATORY UPGRADE".*

Este dispositivo es parte de un proyecto del departamento de ingeniería mecánica del instituto militar de Virginia, EEUU, y trata acerca de la utilización de LabVIEW para monitorear y controlar la temperatura de un tubo de enfriamiento. Este dispositivo

muestra la temperatura del tubo ejerciendo un control sobre este. El medio de monitoreo y control es un computador cuya interfaz corresponde a una tarjeta de adquisición de datos controlada por LabVIEW, sin embargo no posee la flexibilidad como la que se espera del DIMAD, ya que solo está adecuado a la función con la que fue creado [6].

## Ejemplo 2

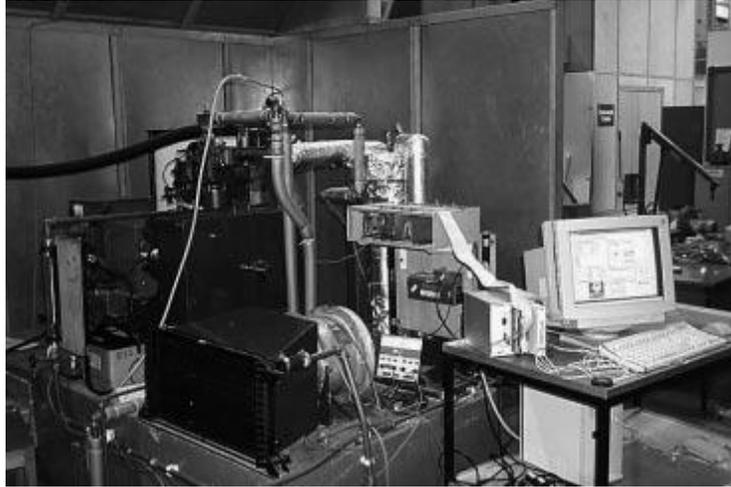
El siguiente ejemplo corresponde a una estación de trabajo de un laboratorio que permite controlar un generador eólico y solar en conjunto de forma remota, nuevamente el control y visualización de ha realizado utilizando una plataforma de procesamiento de información basada en LabVIEW, y una tarjeta de adquisición de datos National Instrument.



*Ilustración 2.14: Ejemplo 2 paper "A LabView Based Instrumentation System for a Wind-Solar Hybrid Power Station".*

Pese a no ser móvil tiene una cierta similitud al trabajo a realizar, ya que complementa mediciones análogas y digitales simulando un escenario de trabajo real de una subestación eléctrica, en las que si conviven estas dos tecnologías de manera habitual [7].

### Ejemplo 3



*Ilustración 2.15: Ejemplo 3 paper "Introducing Instrumentation and Data Acquisition to Mechanical Engineer".*

Esta es una estación de monitoreo del "Department of Mechanical Engineering, University of Strathclyde, Glasgows" en la que se utiliza un computador con LabVIEW para monitorear un motor de combustión interna y regular la entrada y salida de combustible de forma automática, en este caso las variables medidas no solo corresponden a variables eléctricas, ya que por medio de sensores de monitorean, niveles de combustible, temperatura, presión, apertura o cierre de válvulas etc [8].

### Ejemplo 4

Por último un ejemplo de utilización de LabView como programa de adquisición de datos bastante cercano en cuanto a funcionalidad al DIMAD, dentro de un entorno más investigativo que docente. Este dispositivo consiste en un entorno de instrumentación virtual que permite analizar variables eléctricas dentro de un laboratorio de electricidad.

En este caso el instrumento toma medidas fasoriales en tiempo real, realiza análisis de componentes de secuencia, ejecuta análisis espectrales etc. Utilizando de buena manera las potencialidades de LabView.

Se puede ver (Ilustración 2.16) que el dispositivo es menos portátil que lo que se desea en este trabajo, sin embargo el trabajo de programación realizado es altamente avanzado y sirve como ejemplo de las tareas que se le pueden exigir al DIMAD [9].

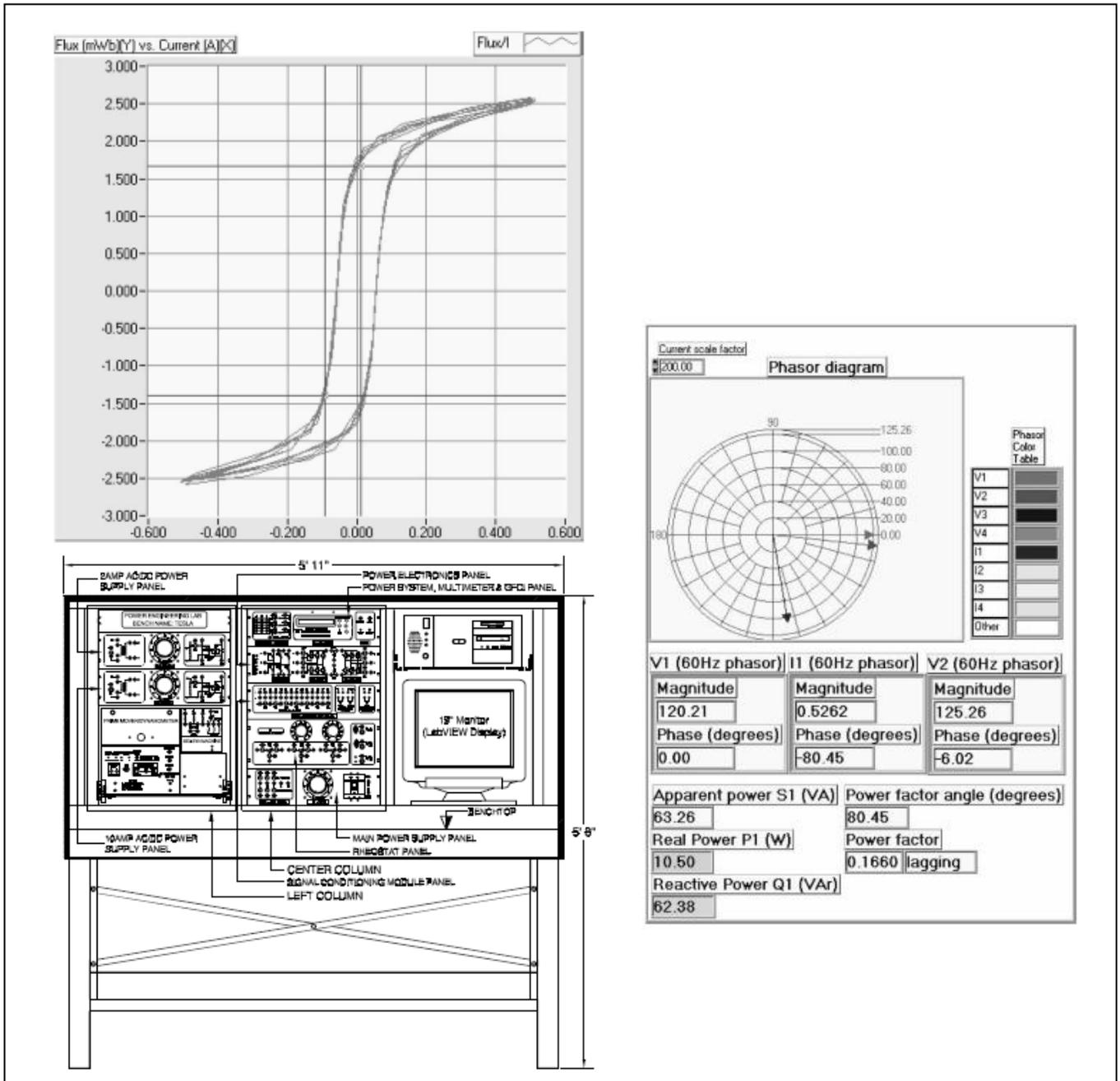


Ilustración 2.16: Ejemplo 4 paper "Integration of Data Acquisition and LabVIEW in Experimental Methods Courses".

## **2.4. ADQUISICIÓN DE DATOS A TRAVÉS DE LABVIEW**

LabVIEW es una herramienta computacional desarrollada por NI (National Instruments), lanzada al mercado en los años 80 y con la cual, mediante interfaces de adquisición de datos y control, permite el monitoreo, control y automatización de sistemas.

El software LabVIEW presenta como principal característica su facilidad de utilización y su compatibilidad tanto en el aspecto computacional o de programación, como en el de interfaces de comunicación tales como: FireWire; ISA; PCI; PCI Express; PCMCIA; PXI; PXI Express; SCC; SCXI y USB.

Por otro lado NI posee su propia gama de tarjetas y módulos de adquisición de datos. Estos están disponibles en todos los protocolos de comunicación nombrados y por pertenecer a la misma empresa son 100% compatibles con LabVIEW y de fácil comunicación, por ello es recomendado su uso si se desea simplificar la tarea de sincronizar el software y el hardware. Es de interés entonces conocer sus características, en particular, el módulo que se utilizará en el DIMAD.

### **2.4.1. CHASIS DE ADQUISICIÓN DE DATOS DEL DIMAD**

El modelo adquirido corresponde a un chasis NI CompactDAQ (Ilustración 2.17) que es una especie de “porta equipos” ya que, aparte de poseer sus propias entradas digitales, posee 8 entradas para bloques de distinta naturaleza que operan con señales análogas, digitales y específicas para elementos como relés o termocuplas,. Esto se puede observar en la tabla 2.1. El análisis se enfocará en la adquisición análoga, la cual es la que primará en las experiencias de laboratorio.



*Ilustración 2.17: Chasis compactDAQ.*

Tabla 2.1: Bloques compatibles con chasis compactDAQ. Fuente NI.

Tipo de señal	Señal	Módulo	Canales	Características
Entrada análoga	Termocupla	NI 9211	4 DI	24-bit delta-sigma, 14 [S/s], diferencial (Termocuplas tipo J, K, R, S, T, N, E, y B)
	Sensores IEPE (acelerómetros, micrófonos)	NI 9233	4 SE	24-bit, 50 [kS/s], simultaneas, IEPE
	Propósito general ( $\pm 200$ [mV] a $\pm 10$ [V])	NI 9205	32 SE/16 DI	16-bit, 250 [kS/s]
		NI 9206	16 DI	16-bit, 250 [kS/s], 600 [VDC] (US)/400 VDC (EU) Cat I, canal a tierra
		NI 9215	4 DI	16-bit, 100 [kS/s/ch], simultáneos, diferencial
	Propósito general ( $\pm 80$ [mV])	NI 9211	4 DI	24-bit, 14 [S/s], diferencial
	Medio puente y puente completo	NI 9237	4	24-bit, 50 [kS/s/ch]
salida análoga	Propósito general ( $\pm 10$ [V])	NI 9263	4 SE	16-bit, 100 [kS/s/ch], simultáneos
Entrada digital	Bidireccional 5[V] TTL	NI 9401	8	5 [V] TTL, alta velocidad, bidireccional, 30 [V] protección
	24[V], Sinking	NI 9421	8	10 [kS/s], 24 [V] lógicos, 40 [V] protección
Salida digital	Bidireccional 5[V] TTL	NI 9401	8	5 [V] TTL, alta velocidad, bidireccional, 30 [V] protección
	24[V], sourcing	NI 9472	8	10 [kS/s], 24 [V] lógicos, 750 [mA] máx. por canal, 30 [V] protección, a prueba de cortocircuitos
Relé	Electromecánico, de un SPST	NI 9481	4	30 [VDC] (2 [A]), 60 [VDC] (1 [A]), 250 [VAC] (2 [A])electromecánico desde un (SPST)
Contador, Generador de pulso	Contador/timer/PWM/generador de pulsos (TTL)	NI 9401	8	5 [V] TTL, alta velocidad, bidireccional, 30 [V] protección
	PWM/generador de pulsos (24 V)	NI 9472	8	10 [kS/s], 24 [V] lógicos, 750 [mA] max por canal, 30 V protección, a prueba de cortocircuitos

## 2.4.2. MÓDULO DE ENTRADA ANÁLOGA DE 32 CANALES

El módulo de entradas analógicas con el que se cuenta es el modelo NI 9205, el cual posee 32 canales analógicos con tierra común, que será utilizado como un bloque de 16 canales analógicos diferenciales. Esta configuración es la más adecuada debido a que permite realizar medidas de voltajes y corrientes con la seguridad de que no se producirá ningún cortocircuito por levantamiento de tierra, La desventaja, por supuesto, es que se requiere el doble de canales para lograrlo, ya que lo que se hace en la práctica, es medir la diferencia entre las diferencias de cada una de las medidas con respecto a tierra utilizando un MUX, tal y como se ve en la Ilustración 2.18.

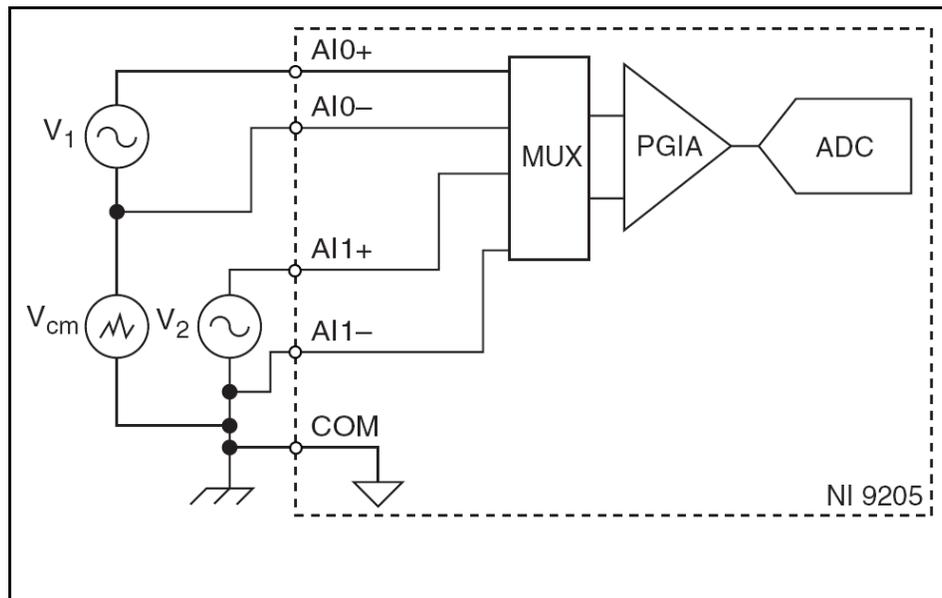


Ilustración 2.18: interno de las mediciones diferenciales.

Este bloque recibe voltajes de entrada analógicos con una amplitud máxima de  $\pm 10$  [V] por lo que para medir los voltajes en cuestión se requieren transductores que reduzcan la tensión hasta los valores adecuados, además de resistencias Shunt para los transductores de corriente, ya que estos deben transformar corriente en voltaje, también se requieren transductores de efecto hall para las mediciones continuas.

Como se sabe, los computadores funcionan de una forma absolutamente digital, debido a esto las entradas analógicas poseen internamente un conversor análogo-digital, denominado por ADC. En el caso del módulo de 32 canales que posee el DIMAD, este ADC discretiza la señal con una resolución de 16 bits lo que permite una buena precisión como se puede observar en la Tabla 2.2. Allí se especifica que para la medida de  $\pm 10$  [V] se tiene una sensibilidad de 96 [ $\mu$ V] lo que corresponde aproximadamente a la diezmilésima parte del valor máximo. Esto permite que la medida posea una precisión mucho más alta que con las medidas análogas tradicionales, ya que para una medición de voltaje alterno de 380[V] se tendría en el mejor de los casos una precisión de 3,7 [mV].

Tabla 2.2: Características del bloque NI 9205 fuente NI.

Voltaje nominal [V]	Ruido Aleatorio $\sigma$ [ $\mu$ Vrms]	Sensibilidad [ $\mu$ V]
$\pm 10$	240	96
$\pm 5$	116	46,4
$\pm 1$	26	10,4
$\pm 0,2$	10	4

Por supuesto toda esta precisión se desperdicia si no son utilizados transductores de alta calidad. Por esta razón, en el proceso se utilizarán transductores de efecto hall, ya que son los que presentan la mayor precisión a un precio razonable [10].

### 2.4.3. TRANSDUCTORES DE EFECTO HALL

Estos transductores son los más utilizados en el último tiempo, debido a su gran precisión y a su posibilidad de transformar tanto señales alternas como continuas. El efecto Hall consiste en el desvío que se produce en el flujo de electrones que circulan por un conductor al ser expuesto a un campo magnético transversal. Esta redistribución de electrones produce una diferencia de potencial proporcional al campo magnético el cual puede ser medido con un voltímetro (Ilustración 2.19), este voltaje es directamente proporcional al campo magnético dada por la siguiente ecuación.

$$V_h = \frac{IB}{ne}$$

Donde I: corresponde a la corriente que circula por el conductor, B: la densidad de flujo magnético, d: el espesor del conductor, n: es la densidad de carga del portador, y e: es la carga del electrón.

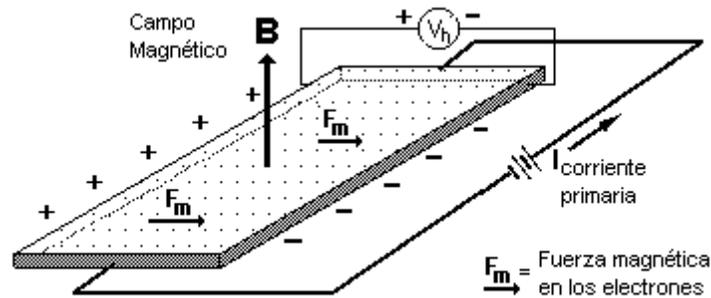


Ilustración 2.19: Efecto hall.

Los sensores de efecto Hall, o transductores de efecto Hall utilizan este principio de proporcionalidad para medir corrientes o voltajes y llevarlos a los niveles de tensión idoneos; esto con una independencia eléctrica absoluta entre los circuitos, de forma similar a un transformador, ya que el campo magnético es el que genera en enlace así se tiene una aislación eléctrica respecto al circuito eléctrico que se desea medir [11].

## 2.5. ERGONOMÍA

En Agosto del 2000 la IEA adoptó una definición oficial de la palabra ergonomía, la que quedó definida como sigue: “La ergonomía (o factor humano) es la disciplina científica relacionada con el entendimiento de la interacción entre humanos y otros elementos de un sistema” [www.iea.cc], es por esto que para la ergonomía temas tales como percepción, memoria, razonamiento, respuesta motora, el comportamiento psicológico de

las personas, la respuesta frente a estímulos, la diferencia en comportamiento entre géneros, edades, etc. son temas relevantes de ser estudiados [12].

### **Técnicas de visualización**

Uno de los aspectos ergonómicos más involucrados con el proyecto es la visualización de la información, sobre todo cuando esta es abundante y de similares características. A continuación se entregan algunas técnicas ergonómicas para mostrar información las cuales permiten la mejorar la inclusión de la información entregada a la memoria y sobre todo pasando por el razonamiento de la persona permitiendo ser interpretadas de forma rápida y correcta [13].

### **Presentación tabular**

El formato tabular de diagrama de línea simple presenta la información en formato alfabético o numérico. Esta información se presenta como una lista con información caracterizada por distintos parámetros (tiempo, ubicación, estado, etc.), con la cual, para el usuario la búsqueda de información es mucho más sencilla; y si a ésta se le agrega la opción de ordenar según determinados parámetros, que es lo que usualmente permite la presentación tabular, permite una fácil comparación entre los resultados y una rápida búsqueda de la variable deseada.

En el caso de los sistemas de medición eléctrico, los sistemas SCADA son los que tienen más estudios asociados en el área de la ergonomía; esto debido a que los operadores de estos sistemas deben manejar una gran cantidad de información y deben estar atentos a cualquier anomalía que estos sistemas presenten. En estos sistemas la presentación tabular se hace fundamental en algunas variables tales como cargas por las líneas, generación, voltajes, valores programados versus actuales, etc.

Estudios muestran que la presentación ordenada de la información reduce de forma dramática la posibilidad de la omisión por parte del operador de una situación de riesgo [14].

### **Diagramas unilineales**

El diagrama unilineal es la representación más común de un sistema eléctrico de potencia, pero en general sirve para representar cualquier sistema eléctrico de alta, baja, o muy baja potencia. En éste, los nodos equipotenciales son representados por barras y los medios de transmisión son representados por líneas simples. Para los sistemas eléctricos de potencia existen normas que regulan la forma y las gráficas que representan los distintos elementos que la componen, como por ejemplo, generadores, transformadores, reactores, condensadores, interruptores, condensadores etc.

En general los colores son utilizados para representar los distintos niveles de tensión que coexisten en un sistema eléctrico. Sin embargo, en algunos casos los colores también son utilizados como sistemas de alarmas, con el fin para mejorar los tiempos de reacción de los operadores y como indicadores del estado que poseen partes del sistema en cierto momento, por ejemplo, capacidad de transmisión de la líneas, niveles de tensión críticos, capacidad de los transformadores, etc. [15].

### **Animaciones**

Las animaciones son relativamente recientes, ya que necesitan un sistema de procesamiento gráfico para funcionar. Este recurso es utilizado para representar en tiempo real acciones difíciles de representar con imágenes o texto estático, como por ejemplo, flujos de potencia activa, flujos de potencia reactiva, parpadeo de procesos en curso (inclusión de una central generadora, apertura programada de algún interruptor), etc. También es utilizado para describir procesos no eléctricos involucrados, como flujos

de agua por un ducto, nivel de los estanques de agua, estado térmico de un motor, estado de un generador, estado de un interruptor, etc.

### **Gráficas**

La utilización de gráficas es muy utilizada para mostrar el comportamiento que ha tenido un sistema en el transcurso del tiempo. Ya sea de régimen permanente, como por ejemplo un grafico del flujo de potencia a través de una línea durante un determinado periodo de tiempo, o el nivel de tensión en una barra, a lo largo de un día. O de régimen transitorio, como el análisis gráfico de una oscilación de potencia, o la oscilografía asociada a una falla tipo cortocircuito del sistema.

Un gráfico muestra tendencias de variables, y sin realizar un análisis profundo, permite tomar decisiones basadas en la proyección eventual de un fenómeno.

### **El uso del color**

El uso del color como estrategia de visualización de elementos en una pantalla es tremendamente utilizado en la industria. Esto se debe a que la forma en la que funciona el cerebro humano, provoca que seamos especialmente sensibles a ésta variable visual. Como ejemplo, para una persona, distinguir los 20 elementos verdes de entre una lista de 100 elementos, es mucho más fácil que distinguir los 20 números "345" de entre 100 números.

Esta ventaja que poseen los colores sobre otras formas de información se hace aún más evidente cuando se trata de encontrar valores que pertenecen a cierto rango numérico, como ejemplo, al tener un sistema de potencia representado en un modelo de barras, el tiempo de reacción de un operario es menor si la barra cambia de un color amarillo a un color rojo, que si sólo se tiene un número que indica la tensión y este supera el valor máximo.

Como respaldo a lo expuesto, a continuación se menciona un experimento realizado por la Universidad de Illinois [14].

### **Configuración de experimento**

Para el experimento participaron 43 personas (38 hombres y 5 mujeres) que fueron reclutados de la clase de Sistemas de Potencia de la Universidad de Illinois. El experimento en si fue corrido en una versión modificada del programa PowerWorld simulando un sistema de 118 barras, y con computadores de igual características de manera de no establecer ninguna diferencia entre las condiciones de los participantes del experimento.

Durante el curso del experimento el sistema fue sujeto a una variedad de diferentes contingencias. Estas contingencias causaron violaciones en los valores límites de la tensión, El número de violaciones por proceso variaba de 1 a 13, cada una de las contingencias eran indicadas sonoramente por un pitido, y la información era mostrada en uno de los 3 formatos disponibles: valores numéricos, colores o una combinación de ambos.

A los participantes se les solicitaron 2 tareas. Primero, identificar la barra con la peor violación de voltaje y segundo realizar la acción correctiva de control para hacer volver los niveles de tensión a valores aceptables; esta tarea consistía en conectar uno o más bancos de condensadores.

Los resultados son mostrados a continuación en forma de gráficos.

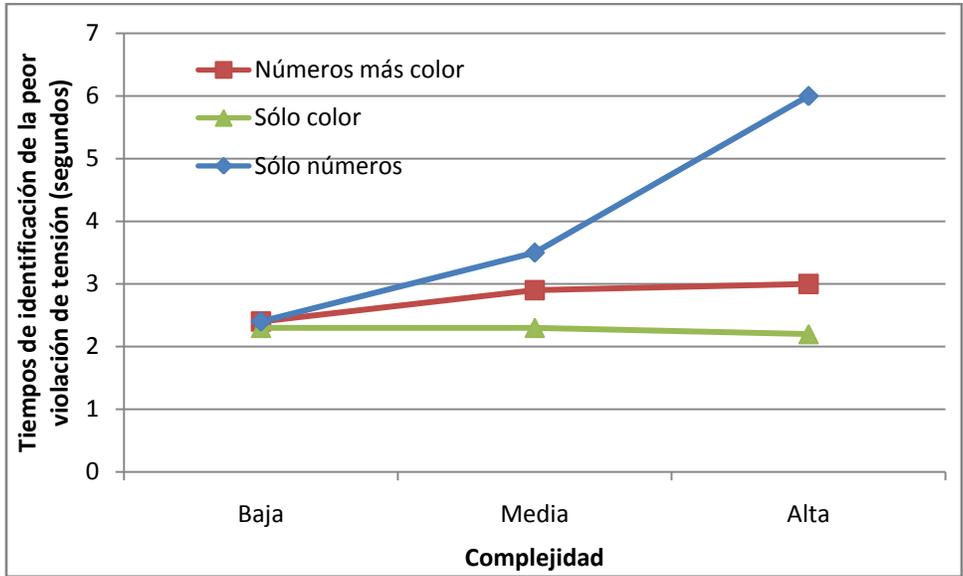


Ilustración 2.20: Curvas de tiempos de identificación de la peor violación de tensión en función de la complejidad del escenario.

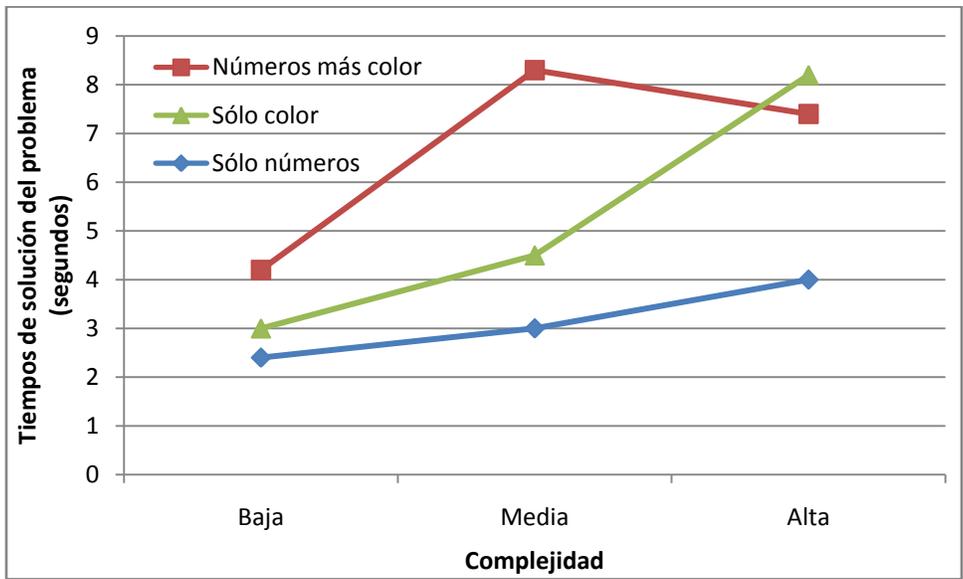


Ilustración 2.21: Curvas de tiempos de resolución de problema usando condensadores en función de la complejidad del escenario.

La conclusión del estudio es que la teoría es correcta. Como se ve en el primer gráfico, el tiempo que le toma a los participantes encontrar la barra con el mayor problema de tensión, es menor cuando se utilizan colores, sin embargo, el resolver la tarea “solucionar el problema utilizando condensadores” tiene una mejor respuesta cuando la información se muestra en forma de números. La razón de esto se debería a que pese a que el color es mucho más fácil de identificar que un número, éste no entrega

suficiente información, ya que el asignar graduaciones de color a los distintos niveles de tensión no es suficiente para una persona, esto se debe a que asociar un número exacto con un nivel de tonalidad exacto resulta sumamente complejo para una persona; por lo mismo, el uso de información numérica no es prescindible.

Otra conclusión que se extrae del estudio es que la utilización de ambos métodos no entrega el mejor resultado de ambos mundos, más bien es un promedio de ambos, lo que lo convierte en el mejor caso general, pero no el mejor caso cuando se sabe exactamente lo que se quiere.

## **3. DESARROLLO DEL DIMAD**

### **3.1. DISEÑO**

El diseño del DIMAD se basó en dos aspectos principales: en primer lugar, los requerimientos técnicos que debe cumplir enfocados al servicio que este prestará y en segundo lugar, en ser un dispositivo con un aspecto acorde con la línea estética que ya posee el lugar en el que se ubicará.

#### **3.1.1. REQUERIMIENTOS TÉCNICOS**

A continuación se describen brevemente los requerimientos técnicos solicitados para éste diseño:

##### **Funcionalidad**

El DIMAD debe contar con instrumentos de medición tales que pueda realizar, por si mismo, todas las mediciones asociadas a cada una de las experiencias obligatorias del LCEE. También debe contar con un sistema operativo compatible con los de uso común y

debe contar con todas las facilidades para que el usuario pueda exportar el trabajo realizado, procesar su información y utilizarla para su futuro análisis.

### **Movilidad del dispositivo**

El dispositivo debe ser móvil, debe poder ser transportado por una única persona de características normales sin impedimentos, debe caber en un ascensor. No es requisito el que pueda ser transportado a través de las escaleras.

### **Estabilidad**

El dispositivo debe ser estable durante su uso, esto es, soportar que se trabaje en él bajo cualquier condición, sin poner en riesgo la integridad del equipo o que se vea afectado su funcionamiento. El DIMAD también debe ser estable durante su transporte, no debe balancearse al enfrentar algún obstáculo imprevisto y no debe haber riesgo al ser empujado o jalado para su traslado.

### **Seguridad**

La naturaleza del DIMAD provoca que su operador esté expuesto a un peligro latente, debido a que se trabaja con sistemas eléctricos de potencia, lo que implica que a través del dispositivo circularán altas corrientes y se expondrá a altos voltajes. Por esta razón el DIMAD deberá brindar la máxima seguridad posible.

### **Ergonomía**

El DIMAD debe poder ser operado por una única persona, tanto en el trabajo de manejo de la información, como en el trabajo de las conexiones necesarias para su funcionamiento. Debe satisfacer requerimientos, visuales, auditivos, táctiles y posturales tales que no se convierta en un elemento que atente contra la salud de las personas, en el contexto de la relación “hombre máquina”.

### **3.1.2. SOLUCIÓN DE DISEÑO**

#### **Requerimientos de funcionalidad**

Para satisfacer el aspecto de las mediciones, el DIMAD cuenta con los siguientes instrumentos:

- 1 Frecuencímetro.
- 3 Voltímetros AC 500 [V].
- 3 Amperímetros AC 20 [A].
- 2 Voltímetros DC 500 [V]
- 2 Amperímetros DC 20 [A].
- 1 Amperímetro DC 5 [A].

Estos instrumentos, basado en las guías de las experiencias del LCEE, permiten efectuar el mínimo número de mediciones que se requieren para que con un sólo dispositivo (DIMAD) se puedan llevar a cabo todas las actividades obligatorias del LCEE. Por la naturaleza del DIMAD, cada elemento debe tener asociado un transductor que permita llevar los valores medidos, a variables digitales interpretables por el computador.

#### **Movilidad del dispositivo**

El DIMAD cuenta con 4 ruedas en su base, 2 móviles y 2 de posición fija, estas permiten que el DIMAD se desplace sin mayo inconvenientes sobre el piso. No fue necesario adicionar algún tipo de manilla ya que la forma del DIMAD permite una fácil sujeción para su transporte. El tamaño de este permite ser transportado fácilmente dentro de un ascensor o pasillo angosto y permite que transite a través de una puerta estándar.

## **Estabilidad**

Para la estabilidad del DIMAD se trabajó en la disposición de los elementos, lo principal es la concentración del peso en la parte inferior, de manera de bajar el centro de masas y mantener la estabilidad durante el traslado. Para esto se ubicó la mayor cantidad de elementos posibles en su parte inferior: computador; fuente de alimentación para DAQ; fuente de polarización para transductores; tarjeta de adquisición de datos; transductores; etc. El único elemento de peso que, dada su función, no pudo ser ubicado en la parte inferior, fue el monitor. Para mantener la estabilidad durante el trabajo, se adicionaron frenos a las ruedas de forma de evitar el deslizamiento indeseado, sumado a la baja del centro de masa ya mencionada.

## **Seguridad**

La seguridad es de suma importancia, dado el riesgo inherente que presenta el uso del DIMAD en circuitos de alto voltaje y alta corriente. El usuario está expuesto permanentemente a elementos energizados. Así en particular es de alto riesgo la conexión y desconexión de bornes. En efecto pese a que estas conexiones y desconexiones deben ser realizadas con los cables desenergizados, es posible que partes del conector queden a la vista, siendo luego éstas energizadas. Para evitar esto se tomó la decisión de utilizar bornes y cables del tipo banana, ya sea con cobertura retráctil o cobertura fija, de forma de evitar un riesgo latente.

## **Ergonomía**

Para los requerimientos ergonómicos se tomaron las siguientes decisiones:

El operador trabajará de pié, pues estas son las condiciones del trabajo en el laboratorio.

El operador trabajará de frente al DIMAD, lugar donde se ubica una pantalla táctil que hace las veces de mouse del sistema. También dispone de una bandeja retráctil donde se ubica un teclado y una entrada USB para dispositivos de almacenamiento externo.

Las conexiones eléctricas se realizan por los costados del DIMAD, separados en lado de corriente alterna y lado de corriente continua. La razón de esto es tan sólo por un tema de comodidad al trabajar en experiencias de corriente continua y corriente alterna, y no tiene ninguna justificación eléctrica.

Las dimensiones del DIMAD quedaron determinadas según en las siguientes restricciones:

- Tamaño del computador.
- Tamaño del monitor.
- Dimensión de los medidores análogos.
- Altura del monitor: 1.6 m, altura estándar utilizada en kioscos de consulta comercial, distinta a la utilizada en cajeros automáticos y otros dispositivos que muestran información confidencial.
- Altura del teclado: 1.3 m, máxima altura considerando las dimensiones y la altura del monitor.
- Altura de los bornes: 1.2 m, altura promedio entre la mejor posición para las experiencias más altas (Transformadores), y las más bajas (máquinas en general).

### **3.2. PROGRAMACIÓN**

La programación asociada a este dispositivo consta de distintas partes que en su conjunto, permiten que el DIMAD funcione correctamente. A continuación se distinguirán y describirán:

### 3.2.1. ADQUISICIÓN DE LOS DATOS

La adquisición de la información se realiza a través del software LabVIEW. Esta información ha sido pasada por 2 conversores o transductores previos: en primer lugar, las señales real fueron transformadas a tensiones entre -10 y 10 [V] por los transductores de voltaje y corriente ya descritos; luego, estas tensiones fueron convertidas en señales digitales por el módulo de adquisición de datos y este último envía a través de un puerto USB estas señales al computador. Las señales recibidas son entregadas como una variable que contiene las entradas que recibe la tarjeta de adquisición separada en distintos canales. Hasta este punto la información no posee una identificación y es toda de la misma naturaleza.

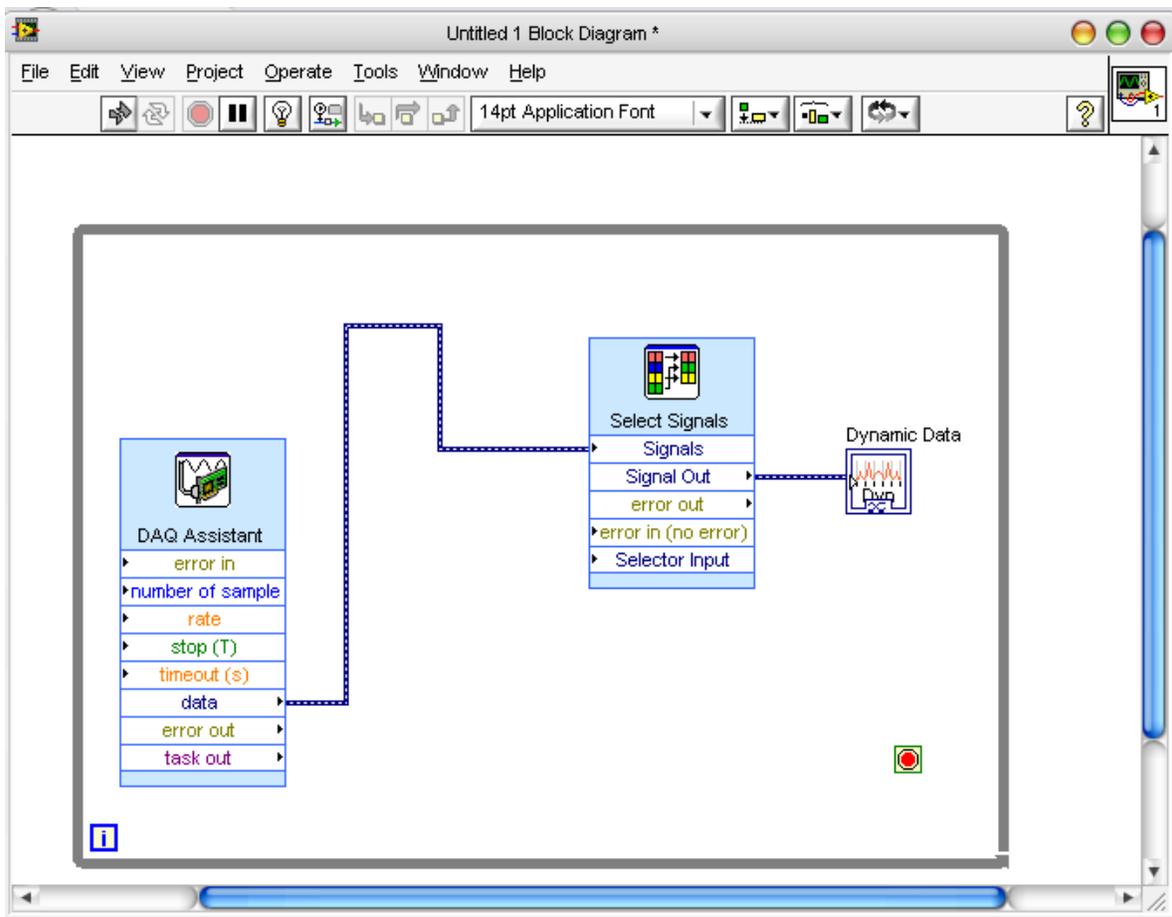


Ilustración 3.1: Ventana de programación de extracción de datos.

Desde el punto de vista de la programación, la adquisición de datos se hace mediante el elemento “DAQ Assistant” (ilustración 3.1), la cual entrega una señal múltiple que contiene todas las entradas análogas de la tarjeta, luego mediante un selector se escoge la deseada.

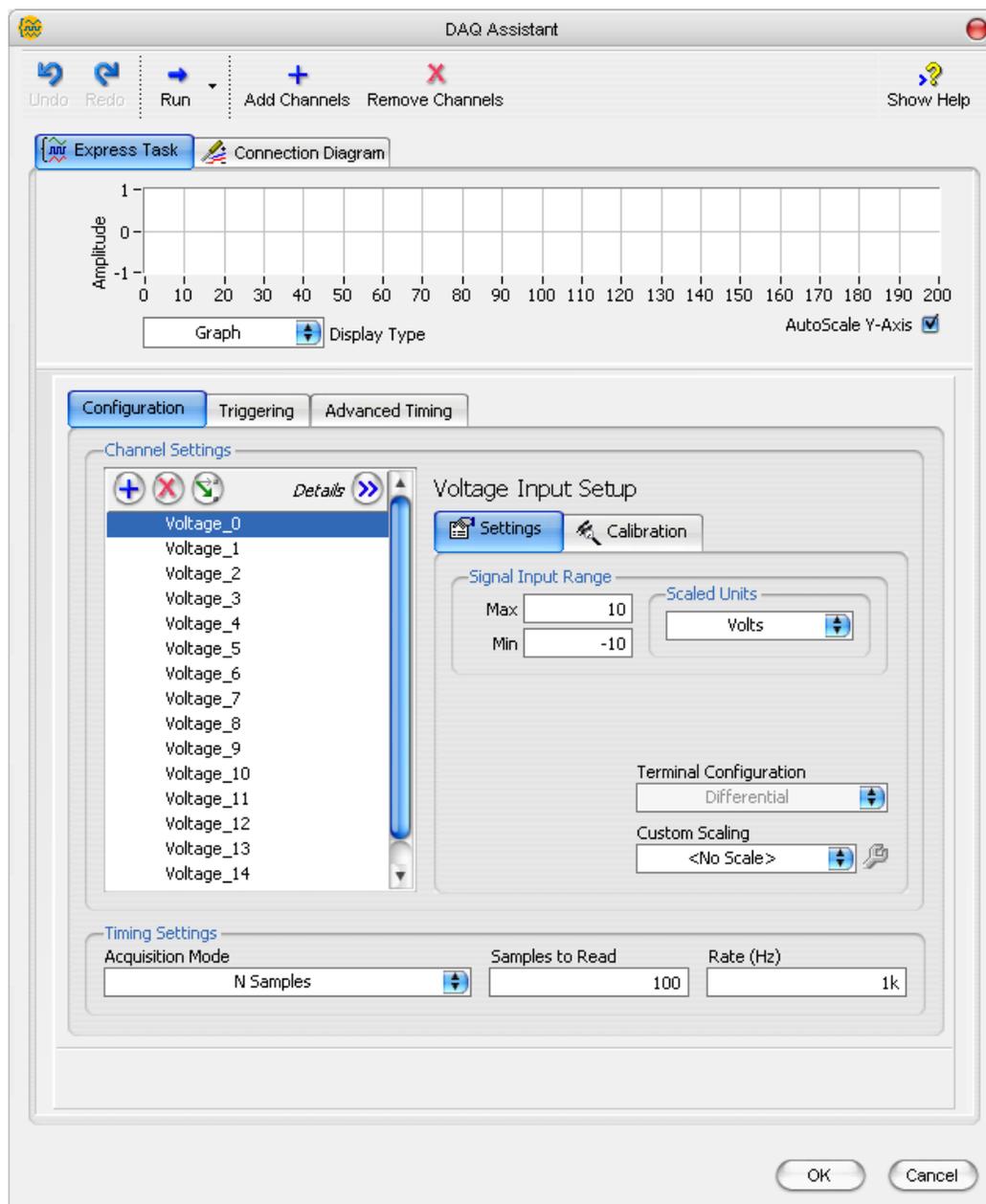


Ilustración 3.2: Ventana de selección y configuración de canales.

### 3.2.2. MANIPULACIÓN DE LOS DATOS

Una vez que el software posee una representación digital del fenómeno externo se procede con la manipulación de estas señales. En primer lugar el software debe tener claridad de qué señal corresponde a qué entrada, esto se hace a través de los canales (ilustración 3.2), cada canal tiene asociada una señal, lo que significa que se tienen 11 canales, los cuales se deben identificar. Luego de identificarlos, cada canal debe ser escalado; para esto es importante conocer las razones de conversión de los transductores y pese a conocerlos, es importante utilizar medios externos para su calibración.

Para la calibración se ocupó la siguiente metodología: 4 mediciones simultáneas (2 instrumentos por tecnología), luego, la calibración se realizó calculando el promedio de las mediciones de los instrumentos de calibración, utilizando los instrumentos previamente existentes en el LCEE.

Una vez identificado y calibrado cada canal se puede proceder a la manipulación de todos estos datos. Las operaciones típicas que se realizan son.

- Cálculos de valores efectivos (RMS), tanto para corrientes como para voltajes.
- Cálculos de frecuencia, basado en onda de voltajes.
- Cálculos de ángulos de desfases entre voltajes y corrientes
- Exposición de la información
- Cálculos de potencias: aparente, activa y reactiva.
- Cálculos aritméticos básicos (restas, sumas, etc.), para aplicaciones puntuales.
- Análisis de espectros de frecuencia de las señales.

Para hacer todos estos cálculos, es importante que el alumno siga correctamente las instrucciones de la guía del alumno para la experiencia, ya que errores como, medir voltaje entre fases en vez de voltajes fase-neutro, utilizar bornes distintos a los especificados para la experiencia, no respetar la polaridad de los bornes, etc. Puede llevar a errores en las mediciones.

La información queda en formatos acorde a la variable procesada para su posterior presentación mediante una interfaz gráfica. Por esto, valores como: voltajes en el tiempo y corrientes en el tiempo, son mostradas como valores instantáneos en función del tiempo, otras como las transformadas de Fourier son mostradas como valores en función de la frecuencia, y otras como valores RMS o frecuencia son mostradas en forma de texto como un sólo valor numérico, por supuesto todas ellas son actualizadas en tiempo real de manera se seguir constantemente el funcionamiento de la máquina. Desde el punto de vista del software la manipulación de los datos se realiza mediante diagramas de bloque (Ilustración 3.3). Para esto se cuenta con herramientas de cálculo y análisis prefabricadas lo que facilita el desarrollo del programa.

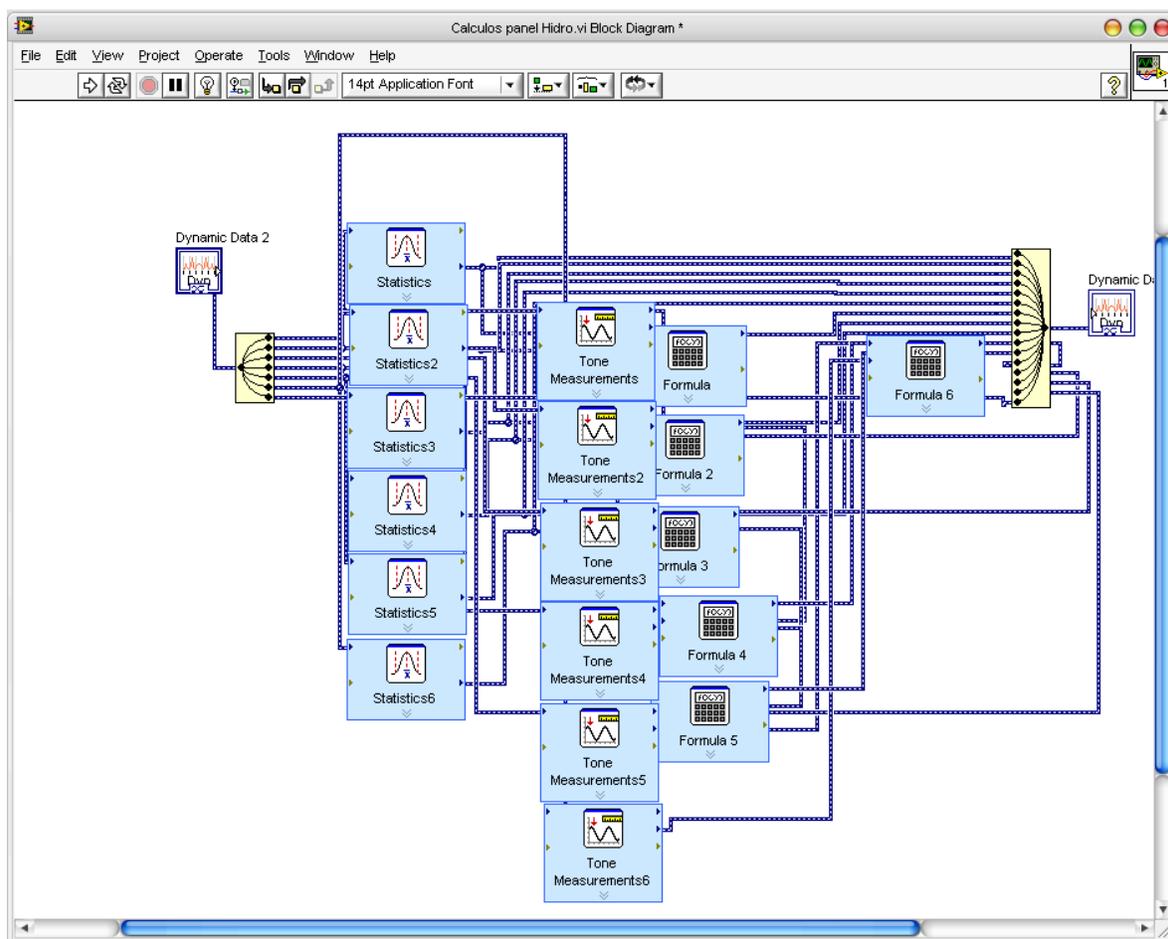


Ilustración 3.3: ventana de programación de manipulación de datos.

### 3.2.3. INTERFAZ GRÁFICA

La interfaz gráfica es el medio utilizado para plasmar toda la información ya procesada de forma que el alumno la pueda procesar y entender. Para esto, basado en la filosofía de los métodos de aprendizaje que se pretende implementar en el Departamento de ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile, se utilizan diversos métodos como diagramas unilineales, mímicos, fotografías, oscilografías y animaciones, de manera de motivar y lograr la atención y aprendizaje del alumno, también se utilizan reglas ergonómicas como colores, alarmas, información tabulada, etc. De manera de lograr la mayor retención de información por parte del alumno.

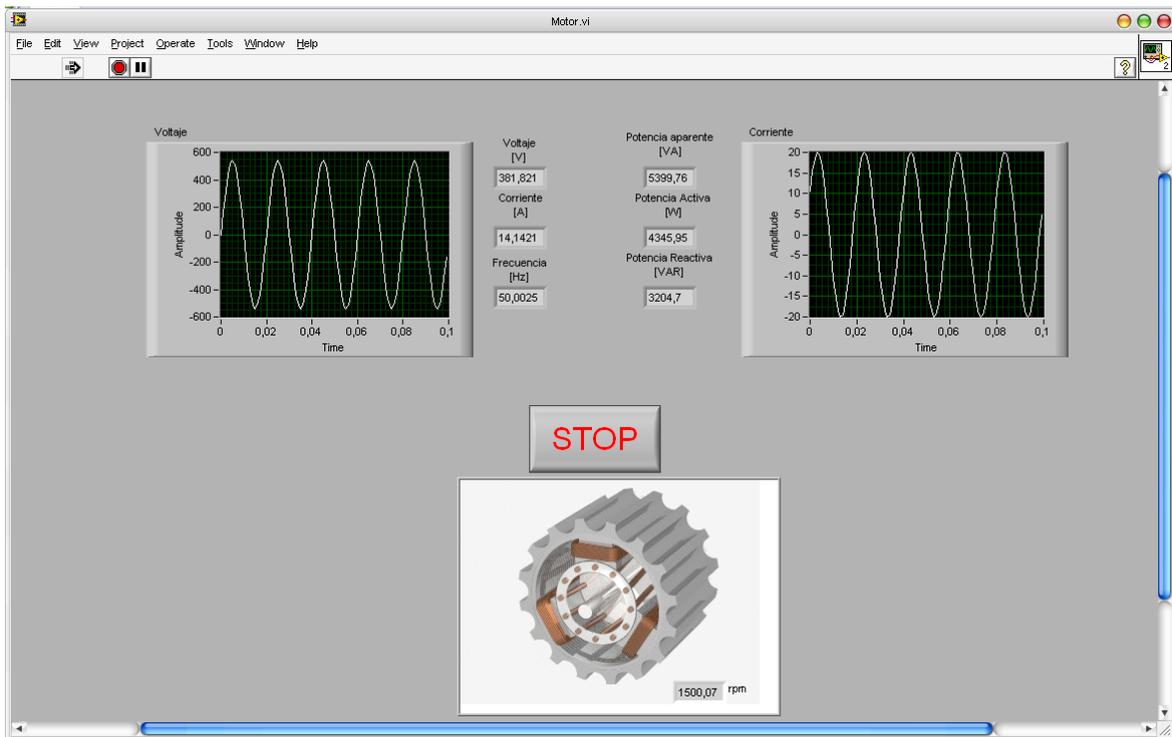


Ilustración 3.4: Ventana de interfaz gráfica de voltajes y corrientes en el motor (bomba).

Esta interfaz gráfica, sumada a la experiencia de la pantalla táctil, entrega al alumno distintos medios de adquisición de la información, utilizando los sentidos de los alumnos y estimulándolos a seguir con las experiencias.

En este punto LabVIEW cumple un rol fundamental, ya que una de las razones por las que LabVIEW fue elegido como plataforma computacional para sustentar el mundo digital del DIMAD, es su atractivo gráfico y su facilidad para integrar nuevos elementos gráficos a una interfaz ya existente. De esta manera una experiencia gráfica puede ir enriqueciéndose a través de la experiencia con mucha facilidad.

### **3.3. FILOSOFÍA DE APRENDIZAJE**

El dispositivo en cuestión responde a la búsqueda del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile de renovar los métodos de aprendizaje.

Bases de la Teoría del aprendizaje.

El racionalismo planteado por Platón explica el aprendizaje basado en la siguiente premisa “Conocer es recordar, todo está en la mente”. Por otro lado se tiene el empirismo de Aristóteles que dice “Se conoce por la experiencia, la mente está vacía”. Por supuesto ambas teorías son opuestas; sin embargo, las teorías cognitivas que se aceptan hoy toman parte de cada una de estas teorías y construyen una teoría que explica la adquisición de nuevos conocimiento tanto desde la experiencia, como de los conocimientos que se poseen, de esta fusión nace el constructivismo que explica “Se conoce la realidad en relación a los contenidos de la mente”, esto quiere decir que los contenidos que la mente ya posee son utilizados para interpretar la realidad (experiencia) y así adquirir nuevos conocimientos.

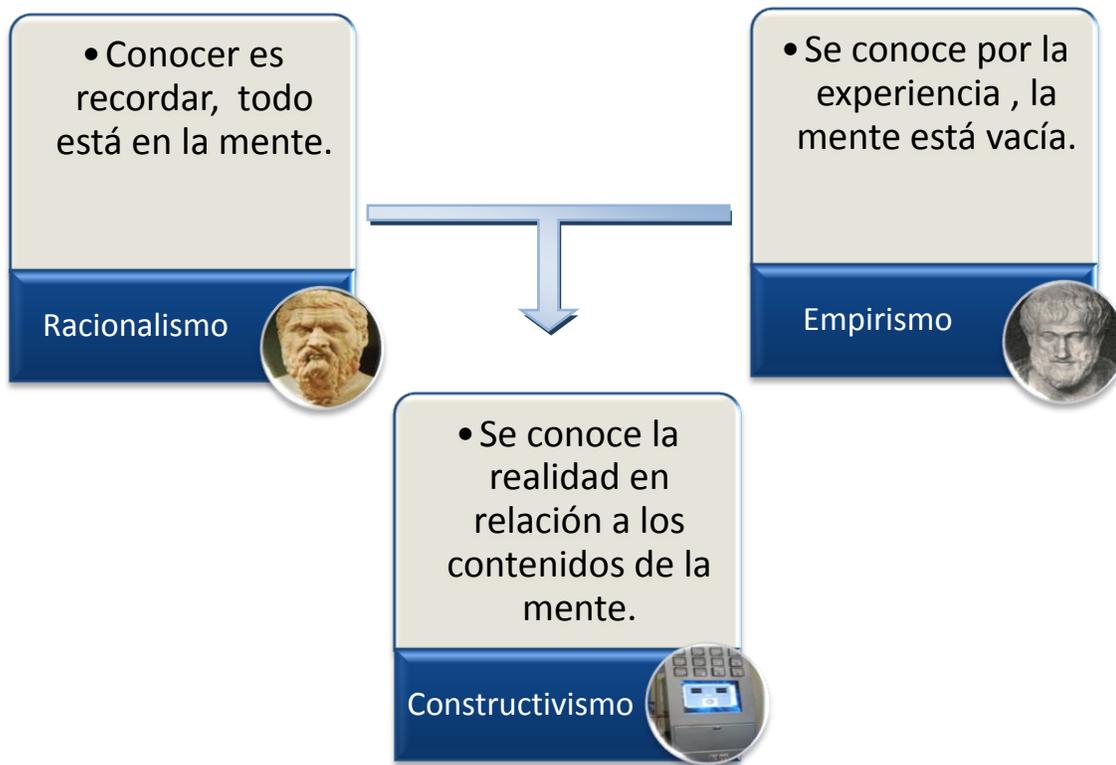


Ilustración 3.5: Diagrama de teorías del aprendizaje.

### Motivación en el aprendizaje

En psicología y filosofía, motivación son los estímulos que mueven a la persona a realizar determinadas acciones y persistir en ellas para su culminación. La motivación dentro del contexto del aprendizaje es vista como “el motor de la actividad”, es decir, las “ganas” de actuar. Una estrategia de motivación pasiva, es decir, en ausencia del ejercicio de estímulos, positivos frente al éxito, o negativos frente al fracaso, o cualquiera que sea la estrategia, es la estimulación de los sentidos. A modo de ejemplo, para un niño de 7 años que aprende a leer es mucho más motivante un libro con imágenes, olores incluso sonidos, que uno con sólo texto; y el hecho de mantenerlo motivado (con altas chances de culminar su tarea), provoca que un niño motivado tenga una mayor probabilidad de triunfar en su objetivo final (aprender a leer) [16].

Este principio no es exclusivo de los niños, ni del proceso de aprender a leer. El nivel de retención de la información aumenta enormemente cuando los sentidos son estimulados, manteniendo la motivación en el proceso de aprendizaje. Como ejemplo, los niveles de retención de la información entregada en formato audiovisual, prácticamente triplican los niveles de retención de la lectura.

### Estrategia de enseñanza

La estrategia de enseñanza corresponde al conjunto de métodos utilizados durante el proceso docente, que tienen por objetivo lograr el mayor nivel de aprendizaje de los alumnos. Estrategias de enseñanza existen muchas, sin embargo, de todas ellas se puede extraer un factor común, el cual es la estructuración de la información. Este concepto hace referencia a la organización que tienen los contenidos, la forma, visualización y orden.

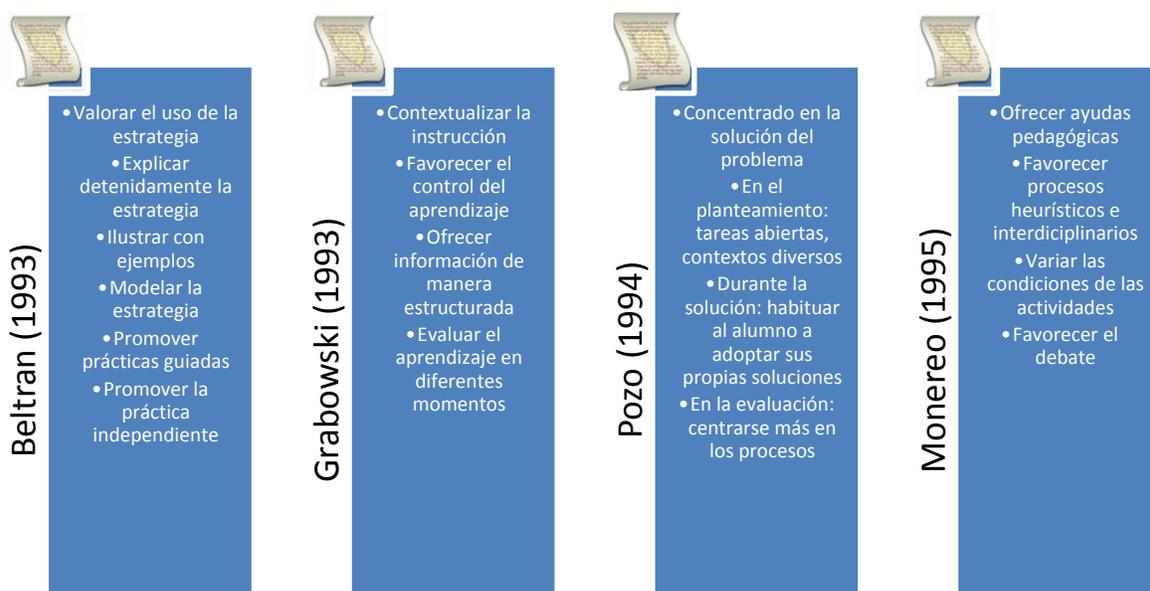


Ilustración 3.6: Tablas de estrategias del aprendizaje.

## **Propuesta docente**

La renovación de los métodos de aprendizaje del Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile, responde a una necesidad de mejoramiento del proceso docente. En primer lugar se deben orientar estos métodos a la forma en que los alumnos adquieren su conocimiento, Según el método constructivista, los nuevos conocimientos que adquiere un alumno, vienen dados por sus conocimientos previos, ya que en base a éstos el alumno interpreta la realidad que lo rodea e internaliza dicha experiencia como un nuevo conocimiento; dicho conocimiento que en un futuro servirá para interpretar e internalizar otro conocimiento, siguiendo así un círculo del conocimiento (mientras más sabe y más presente tenga este conocimiento, más puede aprender). Debido a esto es que es tan importante tener una base de conocimiento fuerte y presente durante la adquisición del nuevo conocimiento. La fortaleza de los conocimientos está determinada por la forma en la que fueron adquiridos; el hacerlos presentes durante las nuevas adquisiciones, es un ejercicio fácil de implementar y que puede mejorar enormemente la experiencia del aprendizaje.

Basado en lo anterior, y aplicando esto al caso particular del LCCE, desea un instrumento en el que se pueda tener presente las 2 etapas del aprendizaje, por un lado, se tendrá la máquina real en la que se experimentará, mientras que por otro lado se debe tener la visualización teórica de la misma, a través de guías que basadas en conceptos utilizados en el curso que precede al LCCE, este es "Conversión Electromecánica de la Energía". De esta forma, la experiencia de aprendizaje durante la experiencia del LCCE estará siendo interpretada e internalizada por la mente del alumno, a través de sus conocimientos previos, cuya fortaleza dependerá de cómo afrontó el curso previo.

En cuanto a la motivación, la curiosidad y atención del alumno, estarán siendo estimuladas por 2 focos: el fenómeno físico, el cual siempre es un punto de atención para un alumno acostumbrado a la teoría, y la forma de visualización de las variables eléctricas. En este último punto se puede extraer una externalidad de la decisión de utilizar tanto

métodos análogos como digitales (lo cual puede aumento de la motivación del alumno al tener por un lado, una medición clásica con instrumentos electromecánicos, y por otro una visualización virtual del comportamiento de la máquina con animaciones, colores y formas llamativas para el alumno). Todo este conjunto de elementos hacen atractiva e interesante la experiencia del alumno, hecho que, dada la teoría de motivación en el aprendizaje, tiene más valor que el simple entretenimiento del alumno durante la actividad, ya que esta entretención provoca a la larga que el alumno adquiera un conocimiento mayor que frente a la ausencia de estos elementos.

Finalmente la estrategia de aprendizaje que se utilice debiera quedar plasmada en la confección de nuevas guías de experiencias, las que deben tener en cuenta ete nuevo concepto de aprendizaje utilizado en este documento [16].

### **3.4. INTEGRACIÓN A MICRO CENTRAL HIDRÁULICA**

La matriz energética chilena posee una influencia hidráulica cercana al 40% (2007). Esto hace que el estudio de estas fuentes de energía sea de vital importancia en la formación nuestros profesionales. En este contexto, se justifica la inclusión de una micro central hidráulica (MCH) como una actividad dentro del Departamento de Ingeniería Eléctrica significando el estudio de ésta una ventana al conocimiento de las grandes centrales hidráulicas. Por otro lado, en el caso particular de las MCH, éstas pertenecen al grupo de las denominadas energías renovables. Hoy en día las fuentes de energía renovables representan el 20% de la generación mundial, y se caracterizan por ser mucho más amigables con el medio ambiente en comparación a sus competidoras de gran potencia. Se encuentran en la mira mundial, debido al conocido problema ambiental que enfrenta el planeta, conocido como calentamiento global, fenómeno causado principalmente por las emisiones dióxido de carbono que se producen con el uso de combustibles fósiles como fuente de energía, específicamente en centrales termoeléctricas que utilizan dichos combustibles [17].

Como definición una central hidroeléctrica corresponde a un conjunto de elementos que permite la conversión de energía hidráulica en energía eléctrica. La energía Hidráulica puede provenir de distintas fuentes, tales como ríos, canales, embalses, etc. la que al encontrarse a cierta altura posee una energía potencial, y al descender se transforma en energía cinética, la que es aprovechada por las turbinas hidráulicas que transforman esta energía cinética en la rotación de un eje, en donde se encuentra acoplado el generador. El generador finalmente transforma la energía del eje de la turbina en energía eléctrica. Por otra parte los pequeños riachuelos presentes en diversos previos y fundos, representan una fuente de energía cinética que puede ser directamente aprovechada por una turbina de tamaño pequeño, estas corresponden a las denominadas MCH, las que poseen potencias instaladas menores a 100[kW].

Existen distintos tipos de centrales hidroeléctricas, las cuales se clasifican de acuerdo a su capacidad de generación, como sigue.

- Grandes centrales: Poseen una potencia superior a los 5[MW].
- Pequeñas centrales: Poseen una potencia superior a 1[MW] e inferior a los 5[MW].
- Mini centrales: Poseen una potencia superior a 100[kW] e inferior a 1[MW].
- Micro centrales: Poseen una potencia superior a 1,5[kW] e inferior a los 100[kW].
- Hidrocargadores: Su potencia es menor que 1,5 [kW], generan electricidad en corriente continua, la cual puede aprovecharse para cargar baterías.

En el caso particular de la MCH disponible en el Departamento de Ingeniería Eléctrica de la Universidad de Chile (Ilustración 3.7), ésta posee una turbina del tipo Pelton.



*Ilustración 3.7: Turbina Pelton.*

Una turbina tipo Pelton corresponde a una versión moderna de las viejas ruedas de molino griegas utilizadas en la antigüedad para moler trigo. En las turbinas Pelton las viejas paletas planas que captaban la corriente del río han sido cambiadas por cucharas, las cuales reciben de forma directa un chorro de agua en su centro, este chorro proviene de una fuente de agua con una presión suficiente como para expulsar el chorro con gran fuerza. Así, debe provenir de una gran altura, o desde un caudal muy torrencioso. El control que se tiene en estas turbinas es la potencia del chorro de agua que impacta sobre las cucharas, potencia que es controlada mediante la apertura o cierre del inyector de agua.

Todo el proceso de conversión sucede en una carcasa cerrada, la cual se encuentra a presión atmosférica.

El inyector de agua es un tubo de diámetro pequeño que recibe agua de la tubería de presión, dentro del inyector. La cantidad de agua que sale del inyector es controlada por un vástago móvil que posee una aguja en su extremo creando un

espacio de circulación de agua con el borde interno de la boquilla que el vástago posee en su extremo (Ilustración 3.8).

El diseño del conjunto aguja – boquilla debe ser pensando para minimizar las pérdidas, lo que implica acelerar el chorro en el menor recorrido posible. El tramo donde se produce el estrangulamiento con la correspondiente aceleración, debe estar libre de imperfecciones a fin de minimizar lo más posible las perturbaciones.

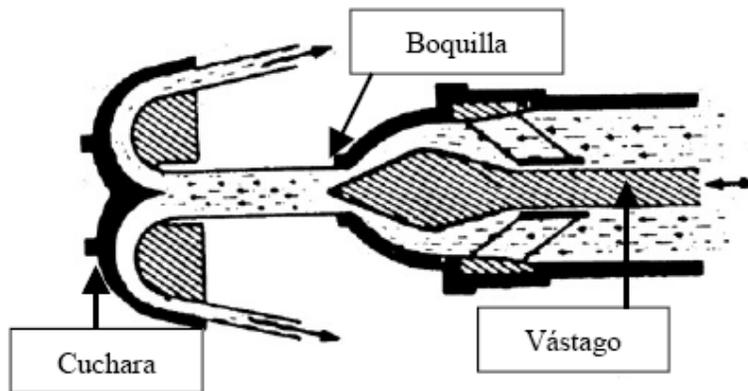


Ilustración 3.8: Diagrama de conjunto aguja-boquilla.

La MCH del Departamento de Ingeniería Eléctrica acciona, un generador sincrónico trifásico de 50 [Hz] y 380 [V] entre fases, con una potencia de 3 [kVA] y 1500 rpm, el cual está conectado al eje de la turbina mediante un par de poleas con una razón entre ellas que permite las revoluciones requeridas. Las poleas están unidas por una correa de goma como medio transmisor del torque. Actualmente este generador cuenta con un sistema de autoexcitación que, en principio, limita el control de la tensión de ésta; sin embargo, en el futuro se plantea la idea de cambiar este sistema por uno de excitación independiente que permita agregar una variable más de control al sistema.

Como fuente de energía hidráulica para el sistema turbina-generador se utiliza una bomba de agua, la cual hace circular el agua desde un estanque hacia la turbina, cerrando así un circuito hidráulico. Dicho circuito está caracterizado por las leyes de la

hidrodinámica. Las leyes de Bernoulli describen este fenómeno desde el punto de vista de las presiones y caudales asociados al circuito.

$$\frac{V^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + h = cte$$

Donde V es la velocidad del fluido, P es la presión, g la aceleración de gravedad, h la altura y  $\rho$  la densidad del fluido, en este caso agua. De esta ecuación se puede extraer el comportamiento de una caída de agua natural y ser simulada con la bomba, este es parte de lo que se pretende a futuro realizar con la MCH.



Ilustración 3.9: Micro central hidráulica.

## **DIMAD integrado a la MCH**

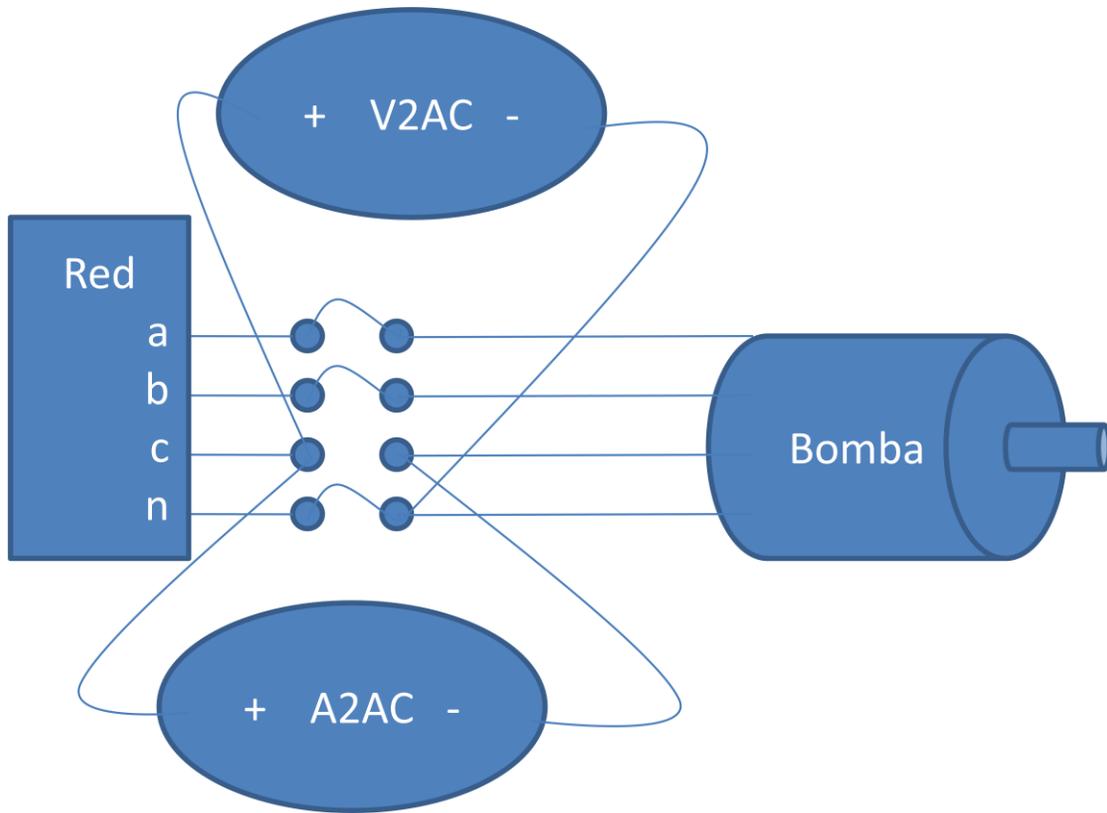
El DIMAD se encuentra integrado a la MCH. En el Anexo A2, se puede encontrar la forma exacta en la que se debe utilizar el DIMAD como elemento supervisor de la MCH. A continuación se muestran algunos aspectos generales de la integración.

### **Monitoreo**

Las variables eléctricas que recibe el DIMAD, son las siguientes:

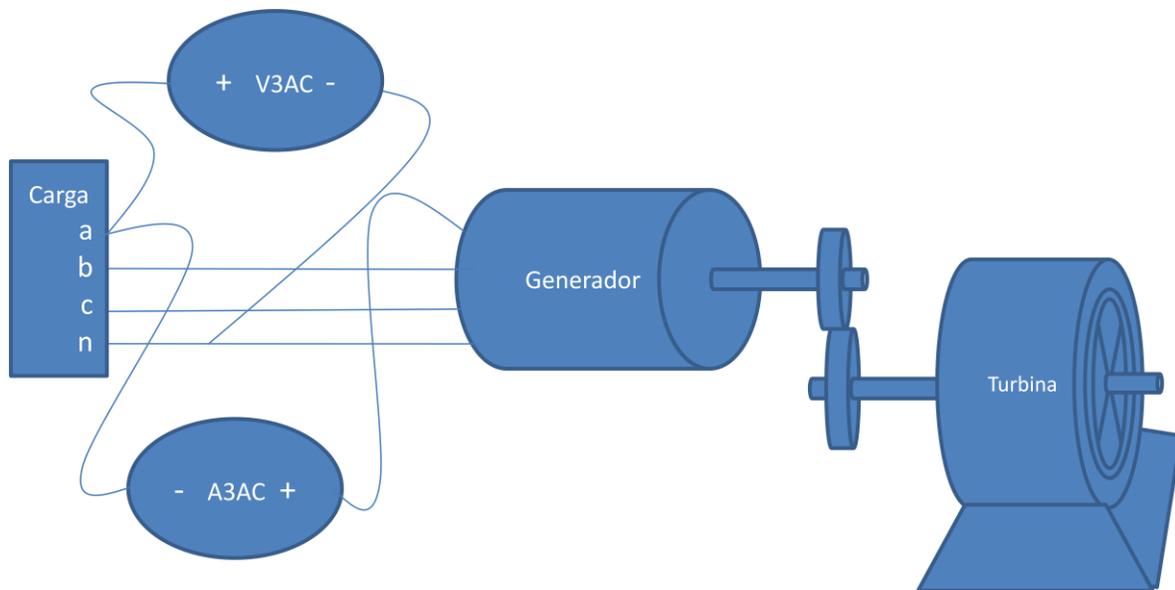
- Voltaje fase neutro de una fase de la bomba.
- Corriente de la misma fase de la que se obtiene el voltaje.
- Voltaje fase neutro de una fase del generador.
- Corriente de la misma fase de la que se obtiene el voltaje.

Para esto se deben intervenir los “chicotes” que posee la bomba, visibles en el panel frontal de la MCH. En esta intervención se conectará el amperímetro 2 AC del DIMAD, usando el borne “+” para la entrada de corriente; es importante que esta referencia sea respetada, ya que de lo contrario se introducirá un desfase de 180° en las mediciones. Luego, de esta fase intervenida se debe obtener el voltaje conectando el borne “+” del voltímetro 2 AC del DIMAD a este chicote intervenido, y el borne “-” del voltímetro 2 AC del DIMAD al chicote del neutro (ver ilustración 3.10).



*Ilustración 3.10: Esquema de conexión del DIMAD a la bomba de la MCH.*

Para las mediciones del generador se debe seguir el mismo esquema, salvo que el chicote a intervenir es el cable que va hacia la carga, y que las conexiones se realizan a los bornes 3 del DIMAD (A3AC y V3AC), en vez de los bornes 2 (ver Ilustración 3.11).



*Ilustración 3.11: Esquema de conexión del DIMAD al generador de la MCH.*

La elección de la fase es completamente libre, pudiendo tomarse cualquier fase en cualquier máquina. Lo importante es que tanto el voltaje como la corriente una misma máquina corresponda a la misma fase, para no introducir un desfase de  $120^\circ$  o  $240^\circ$  ficticio.

### **Características del software**

El software comienza con una pantalla general donde se puede observar un esquemático representativo del sistema compuesto por la turbina, el generador, la bomba y un variador de frecuencia. Este variador de frecuencia se utilizará en el futuro como método de control para la bomba, lo que permitirá simular una caída de agua real controlando la presión que tiene el agua en la tubería de presión por medio de la potencia eléctrica de la bomba controlada por un variador. A continuación se muestra la pantalla principal del software.

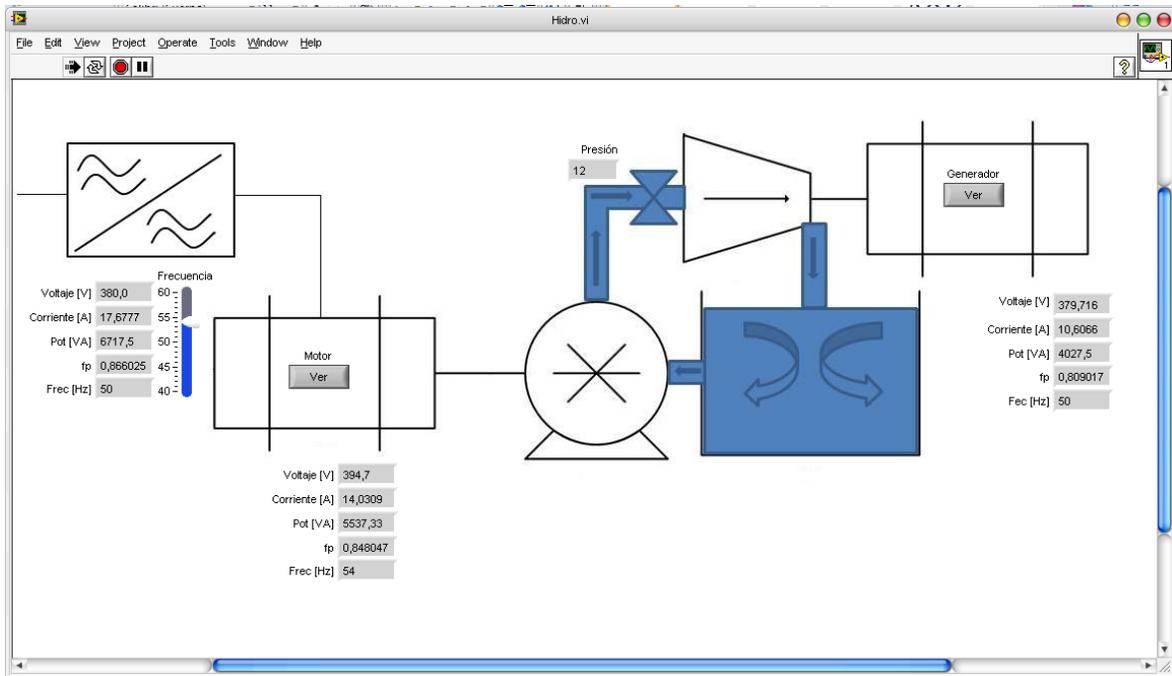


Ilustración 3.12: ventana principal del software.

En esta pantalla se pueden observar

- Voltaje RMS [V].
- Corriente RMS [A]
- Potencia aparente [VA]
- Factor de potencia [ $\cos(\phi)$ ]
- Frecuencia [Hz]

Estas variables se muestra en la entrada del variador de frecuencia (éste a la fecha aun no se encuentra implementado en la MCH), la entrada del motor de la bomba y la salida del generador. Estas variables permiten que el alumno pueda realizar un análisis completo del sistema en su conjunto, tales como: eficiencia, funcionamiento del sistema en función de la frecuencia del variador, potencias salientes y entrantes en función de la presión del agua, etc.

Ahora, al tocar los botones “ver” de esta pantalla se accederá a una subpantalla que mostrará lo siguiente. Por ejemplo, al presionar la de la bomba (motor) aparecerá la pantalla vista en la Ilustración 3.13.

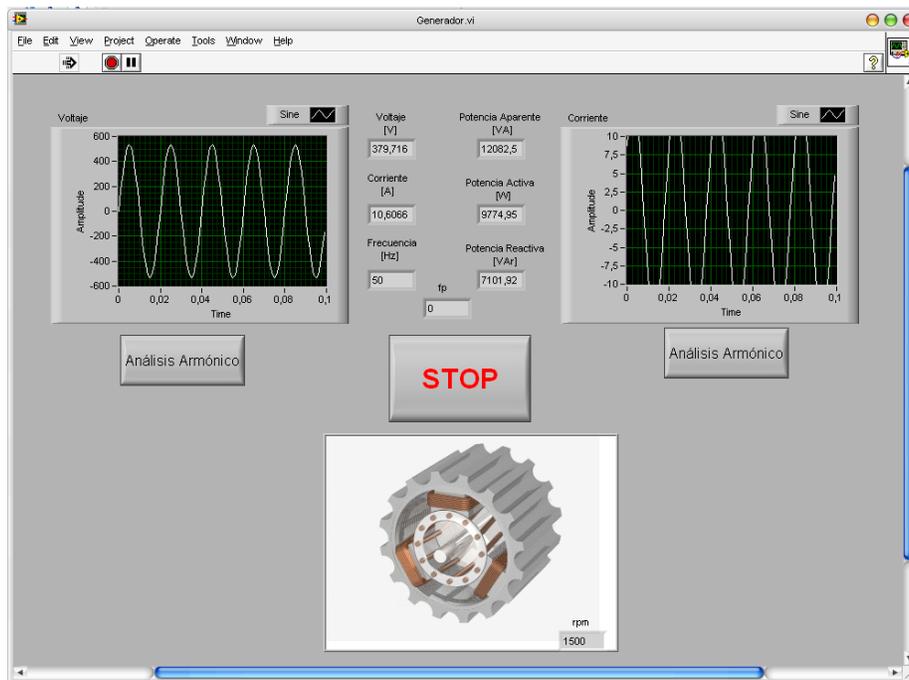
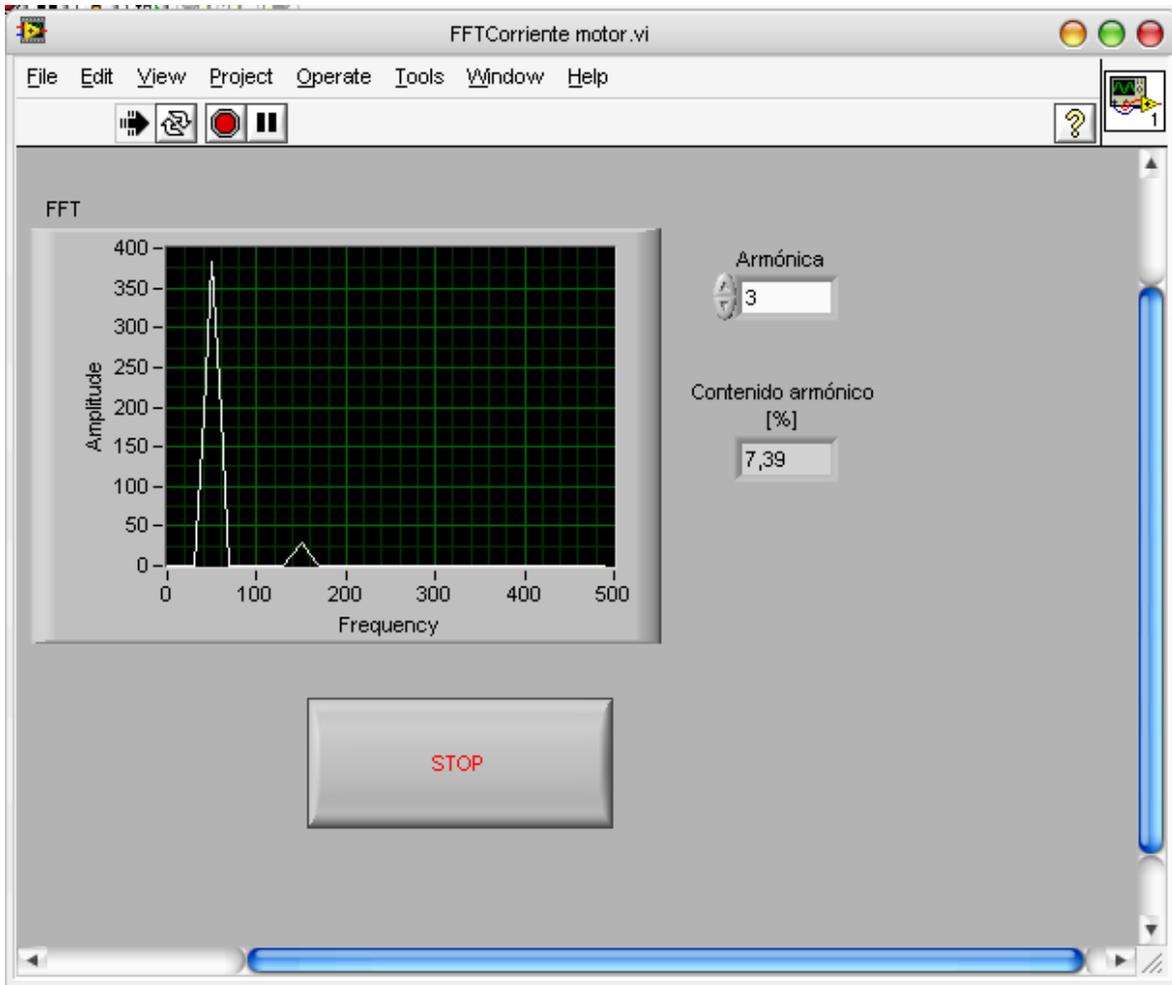


Ilustración 3.13: Ventana de variables del motor en función del tiempo.

En esta pantalla se puede observar la forma de onda tanto de la corriente como el voltaje; esto será de mucho interés cuando se utilice el variador de frecuencia como medio de alimentación de la bomba. Luego se pueden observar algunos datos en texto similares a los de la pantalla principal, pero con un mayor detalle.

Ahora un tercer nivel de análisis es el que se tiene al analizar la forma de onda de la corriente o el voltaje mediante un análisis de espectro de frecuencia (Ilustración 3.13). A este menú se accede tocando los botones “Análisis Armónicos”, ubicados bajo cada una de las señales.



*Ilustración 3.14: Ventana de transformada de Fourier de la corriente del motor.*

En esta pantalla se puede observar la transformada de Fourier de la señal, identificando los armónicos que posee la señal, y se puede ver en cada armónico el porcentaje de este aporte con respecto a la frecuencia fundamental.

Este análisis permite investigar muchos efectos asociados a la MCH como el efecto que tiene el variador de frecuencia dentro del contenido armónico, o cómo afecta el tipo de carga a éste, o las saturaciones que puede tener el generador por sobrecargas, etc.

### 3.5. PRESUPUESTO DEL DIMAD

A continuación se entrega un resumen del presupuesto aproximado del DIMAD, en términos reales hay materiales y recursos de la universidad los cuales no pueden ser cuantificados en este presupuesto, sin embargo este incluye los aspectos principales de su costo:

Computador				
Artículo	Tienda	Ctd.	Precio unit. c/iva	Total
CPU: Intel Core 2 Duo 2.4 GHz, RAM 4GB, HDD 160 GB	Techno Winner	1	\$ 198.900	\$ 198.900
Pantalla táctil 17" con membrana capacitiva	PC Corp	1	\$ 415.000	\$ 415.000
Hub USB	San Diego	1	\$ 5.000	\$ 5.000
Tarje de red inalámbrica	San Diego	1	\$ 10.000	\$ 10.000
Lector DVD	San Diego	1	\$ 15.000	\$ 15.000
Sub-Total				\$ 643.900

Estructura				
Artículo	Tienda	Ctd.	Precio unit. c/iva	Total
Armazón de metal y acrílico.	LCD Touch	1	\$ 357.000	\$ 357.000
Sub-Total				\$ 357.000

Instrumentación analógica				
Artículo	Tienda	Ctd.	Precio unit. c/iva	Total
Voltímetro AC, 0 - 500 V	RS Chile	3	\$ 26.021	\$ 78.062
Amperímetro AC, 0 - 15 A	RS Chile	3	\$ 28.644	\$ 85.933
Frecuencímetro 45 - 65 Hz	RS Chile	1	\$ 61.137	\$ 61.137
Amperímetro DC, 0 - 30 A	RS Chile	2	\$ 52.061	\$ 104.123
Amperímetro DC, 0 - 10 A	RS Chile	1	\$ 49.053	\$ 49.053
Voltímetro DC, 0 - 500 V	RS Chile	2	\$ 55.692	\$ 111.384
Sub-Total				\$ 489.692

Tarjeta de adquisición de datos				
Artículo	Tienda	Ctd.	Precio unit. c/iva	Total
NI CompactDAQ + Licencia LabView	ETT	1	\$ 1.908.082	\$ 1.908.082
Sub-Total				\$ 1.908.082

Grupo Transductor				
Artículo	Tienda	Ctd.	Precio unit. c/iva	Total
Transductor de corriente de efecto hall, HY 50S	RS Chile	5	\$ 14.694	\$ 73.471
Transductor de corriente de efecto hall, HY 10P	RS Chile	1	\$ 14.082	\$ 14.082
Transductor de corriente de efecto hall, HY 5P	RS Chile	2	\$ 14.082	\$ 28.165
Resistencias	RS Chile	2	\$ 3.079	\$ 6.157
Transformadores	San Diego	3	\$ 9.500	\$ 28.500
Sub-Total				\$ 150.375

Extras necesarios				
Artículo	Tienda	Ctd.	Precio unit. c/iva	Total
Transformador 15 V, para fuente	San Diego	2	\$ 9.500	\$ 19.000
Bornes	RS Chile	24	\$ 2.011	\$ 48.266
Cableado	Gobantes	50	\$ 766	\$ 38.300
Spaguetti	Casa Royal	1	\$ 1.500	\$ 1.500
Conectores molex	San Diego	100	\$ 150	\$ 15.000
Estaño	Casa Royal	1	\$ 2.000	\$ 2.000
Pasta de soldadura	Casa Royal	1	\$ 1.500	\$ 1.500
Botón	San Diego	1	\$ 200	\$ 200
Ventiladores	San Diego	2	\$ 1.500	\$ 3.000
Sub-Total				\$ 128.766

TOTAL				\$ 3.677.816
-------	--	--	--	--------------

## **4. TRABAJOS FUTUROS**

### **4.1. IMPLEMENTACIÓN DE OTRAS EXPERIENCIAS**

Como trabajo futuro se propone la integración de la totalidad de las experiencias del ramo LCEE; estas son: transformador monofásico; transformador trifásico; máquina de corriente continua; máquina de inducción; máquina sincrónica aislada de la red y máquina sincrónica conectada a la red.

Cada una de estas experiencias deberá tener asociado un software con todos los elementos necesarios para un funcionamiento adecuado y una satisfactoria experiencia de aprendizaje por parte del alumno, Algunos de estos elementos que deben ser incluidos están relacionados con las guías del alumno:

Manipulación correcta de las variables a utilizar. Para esto se debe tener claridad de la distribución de las entradas entre los distintos canales que posee el sistema, saber de que naturaleza es el tipo de señal que se recibe, tener claridad de qué borne se utilizará para cada una de las variables eléctricas.

Aplicaciones dentro del programa principal que ayuden al mejor entendimiento de la experiencia que se está realizando. Por ejemplo, saber cuándo es útil un análisis de espectro, tener claridad de la necesidad o no de poseer una visión de las variables en el tiempo (como ejemplo, un voltaje continuo es poco interesante de ser expresado como señal en el tiempo), incluir algún tipo de alarma cuando la experiencia en la que se está trabajando pudiera producir corrientes o voltajes superiores a los máximos soportados por el equipo, poseer algún protocolo de exportación de la información tal que el alumno pueda extraer la información recopilada durante la experiencia de forma rápida y cómoda.

Una interfaz gráfica lo más interactiva posible, todo en el contexto del paradigma al que apuesta la construcción del dispositivo, incluir diagramas unilineales, fotografías, animaciones, esquemas representativos, o cualquier método gráfico que permita que la imagen con la que se muestran las variables involucradas en el fenómeno expresen con la mayor claridad posible la implicancia que ésta tiene en la máquina real.

Por otra parte se deben tener manuales de instrucciones de conexión del elemento, especificando el borne a utilizar, las direcciones de las corrientes correctas, el tipo de mediciones que se hará (fase-fase, fase-neutro, corrientes de línea, corrientes por el devanado, etc.). Se debe actualizar cada guía de experiencia adecuándola a las nuevas posibilidades y limitantes que entrega el nuevo dispositivo.

También debe ser desarrollado un manual o guía orientado al profesor auxiliar que estará con los alumnos durante sus respectivas experiencias, esto debido a que ante cualquier error de funcionamiento o problema de seguridad al que pueda estar expuesto algún alumno, el profesor auxiliar deberá estar preparado, ya sea para solucionar cualquier problema durante el desarrollo de la experiencia, como también para prevenir cualquier situación de riesgo en las que pueda estar incurriendo un alumno durante la utilización del DIMAD.

A modo de minimizar el riesgo que corren los alumnos al utilizar el DIMAD y de disminuir la cantidad de explicaciones y dificultades en relación a la utilización de éste, se deberá incluir preguntas asociadas a la utilización del DIMAD en el test de entrada que debe rendir el alumno antes de cada experiencia. Estas preguntas deberán incluir tanto elementos de funcionamiento y utilización de éste, como elementos de seguridad durante su utilización (seguridad tanto para el alumno como para el equipo) sobre todo en aquellas experiencias donde la máquina a utilizar posee la potencialidad de dañar el DIMAD.

## 4.2. INTEGRACIÓN CON ZAPATILLA

### Zapatilla

Previo a la última remodelación del laboratorio de Máquinas Eléctricas (inaugurada el 23 de octubre del 2008) los equipos se energizaban por medio de conexiones directas de los equipos e instrumentos de la experiencia a los tableros fijos disponibles lo que ocasionalmente podía representar un peligro debido a la lejanía entre tableros y equipos, es por esto que se planteó diseñar otra forma de energizar los equipos. Por esto se planteó diseñar otra forma de energizar los equipos [18].

Así surgió la solución que actualmente se utiliza en el LCEE, la cual consiste en un panel de alimentación móvil (denominado “zapatilla”, en alusión a las extensiones eléctricas usadas en el los hogares). Esta zapatilla posee las siguientes características:

Alimentaciones:

- 220 [Vfn] monofásico para instrumentación.
- 220 [Vff] trifásico.
- 380 [Vff] trifásico.
- 110 [VDC].
- 220 [VDC].
- 440 [VDC].

Por motivos de seguridad la zapatilla posee machos volantes a la llegada de la Zapatilla, para así evitar que los alumnos se expongan a un enchufe industrial macho energizado en la mano, que por cualquier descuido podría significar un accidente.

Para tener una buena señalización, la zapatilla utiliza la norma Europea para la denominación de bornes y además la norma chilena para la coloración de los mismos. Esto respecto a las alimentaciones trifásicas.

La Zapatilla posee un botón de pánico en caso que suceda cualquier problema, el cual se puede utilizar además como interruptor ya que está conectado en paralelo con el botón de emergencia del tablero, el cual conecta y desconecta los contactores de todas las alimentaciones de dicho panel.



*Ilustración 4.1: Aspecto visual de zapatilla.*



*Ilustración 4.2: Segunda vista de zapatilla.*

La integración del DIMAD a la zapatilla debe ser total. La idea es que en un futuro sólo se utilice el DIMAD para realizar las experiencias, y que este no sólo sirva como un medidor de las variables eléctricas, sino que posea también la energización necesaria para cada experiencia. Con este objetivo la zapatilla deberá ser parte integral desde el punto de vista físico y eléctrico con el DIMAD. La configuración final deberá ser cómoda de utilizar, atractiva a la vista y segura de usar. Al agregar un panel de energización al DIMAD, la seguridad de éste deberá mejorar, siempre que se preste especial cuidado a los siguientes puntos:

- Ubicación de la zapatilla en el DIMAD: el lugar físico que ésta utilizará será crítico a la hora de su utilización y se debe tomar en cuenta la posición en que el DIMAD se ubique para cada experiencia. Adicionalmente, la zapatilla debe integrarse al DIMAD de manera tal de no atentar contra los criterios de diseño utilizados, menos aún con los criterios de seguridad.

- Ubicación del botón de pánico: como se ha descrito, la zapatilla posee un botón de emergencia que desenergiza totalmente la zapatilla frente a algún problema que se presente durante la experiencia. Este botón deberá ser, con toda seguridad, replicado en el DIMAD y ubicado en algún lugar de fácil y rápido acceso, idealmente a mano de quién esté operando el DIMAD.

- Recorrido de los cables de energización: la zapatilla se conecta a los paneles fijos del laboratorio mediante cables industriales. Estos son cables relativamente rígidos, de peso considerable y con conectores cables grandes y pesados; por esto, se debe planear muy bien el recorrido que estos tendrán desde el DIMAD hasta el panel, ya que frente a un descuido, podrían representar un serio riesgo de accidente al enredarse una persona en ellos al cruzar caminando. También se debe considerar el largo que estos cables poseen, ya que el desplazamiento del DIMAD quedará limitado por la longitud del cable, restringiendo así su búsqueda movilidad.

### **4.3. REPLICACIÓN**

Las condiciones de trabajo del trabajo del LCEE son tales que, durante el desarrollo típico de una experiencia, se encuentran utilizando las instalaciones del laboratorio una cantidad entre 8 y 12 alumnos, distribuidos tradicionalmente en 4 grupos de 2 ó 3 alumnos. Esto significa que poseer sólo un DIMAD es insuficiente para satisfacer la demanda. Por esto es necesario que el DIMAD sea replicado, al menos 2 veces, de manera de tener 3 dispositivos que permitan realizar las actividades a la totalidad de los alumnos en iguales condiciones.

Estas replicas no debe ser necesariamente una copia fiel del DIMAD original, pese al significado de la palabra replica, ya que a partir de la experiencia adquirida, se puede mejorar la calidad de los nuevos dispositivos. Como propuesta se proponen las siguientes recomendaciones:

- Las futuras replicas deberían ser más fáciles de desarmar y desmontar para alguna mantención o reparación.

- Debido a la reducción del tamaño del DIMAD, algunas de sus partes fundamentales, como el computador o las fuentes de alimentación, quedaron ubicadas en lugares de difícil acceso y se requiere de un gran esfuerzo para acceder a ellas e incluso algunas partes sufren deben ser deformadas levemente para su retiro.

- Otra mejora posible que podrían tener las futuras réplicas tienen que ver con la calidad de los materiales, ya que algunos acrílicos utilizados están en riesgo de dañarse, pues están expuesto a constantes esfuerzos, debido principalmente a la conexión y desconexión de bornes.

- Otra mejora sustantiva será la calidad de computador utilizado. Como es sabido, las tecnologías de la información crecen a un ritmo frenético, y el computador que hoy en día puede ser veloz y efectivo para un trabajo, puede no serlo el día de mañana.

- Finalmente una importante fuente de generación de mejoras la constituyen los usuarios finales. La recomendación es realizar algún tipo de encuesta o cuestionario a los alumnos que utilicen semana a semana el DIMAD.

#### **4.4. GUÍA TEÓRICA DE MICRO CENTRAL HIDRÁULICA**

Dada la forma de aprendizaje a la que se está apostando en este proyecto, es de suma importancia que la experiencia que se ha integrado al DIMAD, es decir, la MCH, posea el respaldo teórico que permita llevar a cabo adecuadamente el proceso de aprendizaje del alumno. Para esto se debe desarrollar un guía teórica que fundamente, mediante ecuaciones y bases claras, los fenómenos que se desarrollan frente a los ojos de los alumnos. Esta guía deberá tener un carácter académico, siguiendo la línea de las guías que posee el curso previo, Conversión Electromecánica de la Energía.

Esta guía deberá incluir una pequeña reseña al variador de frecuencia que poseerá esta MCH, explicando superficialmente los principios de funcionamiento de éste y en detalle como este elemento influye en el desempeño de la MCH, de manera de justificar su inclusión y mejorar el entendimiento del usuario.

También se deberán describir los métodos de control que se utilizarán. Como ya se mencionó, existen dos variables de control principales en esta central, el álabe de la turbina, que en este caso corresponde a un vástago móvil que regula la cantidad de agua que entra, y la corriente de excitación del generador (esta modificación aún no se encuentra funcional, de momento el generador posee un sistema de autoexcitación, pero será reemplazado por una fuente controlada). Además de lo anterior, existe una tercera variable de control, la cual también será instalada en el futuro, que es la frecuencia a la que se operará el variador. Estos tres controles hacen posible que las estrategias de control puedan ser un tema interesante de estudio, tema que merecerá ser incluido en esta guía, considerando que mediante el DIMAD, pueden ser implementadas en este mismo utilizando su plataforma LabVIEW y sus salidas digitales.

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

Hoy en día la búsqueda de las instituciones educacionales es formar profesionales de excelencia que posean todas las herramientas necesarias para desenvolverse en el mundo laboral o académico, según sea el caso. Basado en ese principio, se entiende la necesidad de tener un mejoramiento y actualización constante en los métodos y técnicas pedagógicas, ya que no sólo basta contar con los mejores alumnos en cuanto a su inteligencia y dedicación, sino que también cómo explotar al máximo sus capacidades y no desperdiciar sus talentos. Con esto en mente, se trabajó comenzando con una investigación fuera del área de la ingeniería eléctrica, que consistió en la búsqueda de las teorías modernas de aprendizaje que expliquen como es el proceso de adquisición del conocimiento: es así como se llegó a la teoría constructivista del aprendizaje cuya premisa es que, "Se conoce la realidad en relación a los contenidos de la mente". Utilizando esta frase como sustento teórico se llegó a la solución final del problema del enfoque docente que debía tener el DIMAD. Este enfoque se satisfizo en el hecho de hacer que el estudiante recurra de manera fácil a sus conocimientos adquiridos durante su formación profesional, ya sea como una simple visualización de la guía teórica relacionada con la experiencia desarrollada, o con inclusiones teóricas en las interfaces gráficas que posee el software, y los use para entender e internalizar los nuevos conocimientos a los que está accediendo experimentalmente. De esta forma los nuevos conocimientos que adquiera estarán ligados a los previos de manera firme y fundada, y no serán un conjunto de conocimientos independientes en la mente.

Desde ese punto de vista, los requerimientos académicos a los que apuntaba el trabajado realizado como objetivo principal, han sido cumplidos, no obstante, tal vez no hay un cumplimiento cabal de los objetivos en esta primera versión del DIMAD, dado que las guías teóricas de la experiencia integrada (la MCH) aún no se encuentran disponibles para su utilización, por eso se presentan como trabajo futuro complementario a este trabajo. Pero si están cumplidos los objetivos en cuanto a la potencialidad que posee el

DIMAD para sus futuras integraciones con experiencias existentes o futuras. Al respecto, es interesante agregar que a la fecha el DIMAD ha sido probado por alumnos del laboratorio y pese a no existir un registro o una encuesta que refleje de forma concreta y oficial el desempeño de este, los comentarios de los alumnos que lo utilizaron son bastante optimistas en cuanto a la motivación que el DIMAD representa durante la realización de la experiencia.

En un segundo ámbito, el DIMAD fue diseñado siguiendo requerimientos tanto técnicos como estéticos, detallados en el capítulo 3 de este documento. Estos requerimientos representan las bases con la que es posible evaluar el resultado final obtenido. En cuanto a esto, el DIMAD ha cumplido con todos los puntos requeridos en su etapa de diseño; posee todos los instrumentos de medición requeridos para llevar a cabo todas las actividades del LCEE sin la necesidad de recurrir a otros instrumentos de medida digitales o análogos; cumple con los estándares autoimpuestos de estabilidad y seguridad, cumple con la funcionalidad requerida para su aplicación deseada; armoniza con su entorno siguiendo la línea estética del laboratorio tales como los colores, la utilización de acrílico transparente con fines pedagógicos y continúa la normativa impuesta en cuanto a tipo y colores de bornes, cables etc.

Adicional a esto, posee características que no fueron requeridas como criterio de diseño, pero que aportan en la experiencia de utilización y en la potencialidad de este. Algunas de estas características extras son: una conexión WIFI a internet que permite, aparte del puerto USB, establecer una entrada y salida de información; posee la potencialidad de disponer tanto entradas como salidas digitales que permitirán en un futuro no sólo poseer un dispositivo de adquisición de datos, sino que se puede llegar a convertir en un actuador, el cual puede incorporar en su interior todo un sistema de control de procesos implementados sobre la plataforma existente LabVIEW. También, como expansión a su capacidad de adquisición de datos, posee 4 entradas análogas del tipo termocuplas para realizar mediciones de temperatura. Estas medidas permiten ampliar el campo de acción del DIMAD más allá del mundo eléctrico o incluir parámetros

térmicos en los modelos eléctricos, de manera de enriquecer aún más sus características de representador de la realidad en procesos eléctricos.

En cuanto a la integración de la experiencia de MCH, la cual pretende ser la vitrina que muestre la potencialidad del DIMAD y la que motive a futuras incorporaciones, ésta quedó integrada de forma parcial. Esto debido a una descoordinación entre el desarrollo del DIMAD y el desarrollo del proyecto MCH. Así la configuración actual permite utilizar el DIMAD como monitor de los procesos eléctricos que sufre la MCH, sin embargo, debido a la inexistencia a la fecha de una guía teórica que complemente la experiencia práctica, no se puede satisfacer la apuesta académica de mejorar los resultados del proceso de aprendizaje. Otro punto pendiente son las futuras modificaciones que sufrirá la MCH, en cuanto a la incorporación de un variador de frecuencia. El DIMAD posee la programación necesaria para incluir esta variable dentro de los cálculos y análisis que realiza; sin embargo la programación no ha alcanzado a incorporar a la fecha la capacidad de procesar las variables eléctricas que se incluirán al cambiar la forma de excitación del generador, pasando de uno autoexcitado a uno de excitación independiente. DIMAD tiene la potencialidad para incluir esta futura modificación; sin embargo, se deberá modificar la programación de modo de incorporar un análisis e interpretación de esta nueva variable.

## 6. REFERENCIAS

- [1] **Universidad de Chile.** “Página del departamento de Ingeniería Eléctrica, sección de Laboratorio”. [http://www.die.uchile.cl/pre/i\\_pre\\_lab.html](http://www.die.uchile.cl/pre/i_pre_lab.html)
- [2] **Jorge Romo.** “Comentarios respecto a la nueva instalación del laboratorio de máquinas eléctricas” 2008.

- [3] **Jorge Romo & Mauricio González.** “Guías de experiencias de Laboratorio de Conversión Electromecánica de la Energía.”  
[https://www.ucursos.cl/ingenieria/2007/1/EL56A/1/material\\_docente/](https://www.ucursos.cl/ingenieria/2007/1/EL56A/1/material_docente/)
- [4] **John B. Webster.** “Electrical measurement signal processing and Displays” 2003.
- [5] **Claudio Pérez.** “Apunte de análisis de señales, curso EL41C, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Chile”. Santiago, Chile, 2006.
- [6] **J. Howard Arthur & Michael R. Sexton.** “LabView application: energy laboratory upgrade. Mechanical Engineering Department” - Virginia Military Institute - Lexington, VA 24450. [http://www.ni.com/pdf/academic/us/journals/lv02\\_41.pdf](http://www.ni.com/pdf/academic/us/journals/lv02_41.pdf)
- [7] **Dr. Recayi Pecen, Dr. MD Salim, & Mr. Ayhan Zora.** “A LabView based instrumentation system for a wind-solar hybrid power station” 2004.  
[www.nait.org/jit/Articles/pecen070104.pdf](http://www.nait.org/jit/Articles/pecen070104.pdf)
- [8] **P. Strachan, A. Oldroyd & M. Stickland.** “Introducing instrumentation and data acquisition to mechanical engineers using LabVIEW” [En línea] 2000.  
<http://www.ijee.dit.ie/articles/Vol16-4/IJEE1156.pdf>
- [9] **Keith A. Corzine & Mariesa L. Crow** “Power Engineering Laboratory Facilities at the University of Missouri-Rolla” Department of Electrical and Computer Engineering, University of Missouri-Rolla, 2005
- [10] **National Instrument.** “Manual de usuario de chasis NI CompactDAQ” 2007.  
[www.ni.com/pdf/products/us/ni\\_compactdaq.pdf](http://www.ni.com/pdf/products/us/ni_compactdaq.pdf)
- [11] **Janisch, Josef.** “Kleiner Effekt – Große Wirkung” 2007.
- [12] **International Ergonomics Association.** “Página de la asociación internacional de ergonomía”.  
[http://www.iea.cc/browse.php?contID=international\\_ergonomics\\_association](http://www.iea.cc/browse.php?contID=international_ergonomics_association)

- [13] **H. Hendrick & B. Kleiner B.** "Handbook of cognitive task design" Londres, Lawrence Erlbaum Associates Publishers 2003.
- [14] **Douglas Wiegmann.** "Human factors aspects of power system voltage visualizations" 2002.
- [15] **Sushil Kumar Soonee.** "Visualization and human factors in electric power system operation" 2006.
- [16] **M. Carretero.** "Introducción a la psicología cognitiva" Aique, Argentina 1998.
- [17] **Patricio Mendoza.** "Control Electrónico de una Central Micro-Hidráulica para su aplicación en Generación Distribuida" Universidad de Chile, 2007.
- [18] **Lorenzo Reyes.** "Informe de práctica III, Curso EL69A" Departamento de Ingeniería Eléctrica, Universidad de Chile. Santiago, Chile 2008.
- [19] **D. Meister & T. Enderwick.** "Introduction to human factors and ergonomics for engineers. 2005".

## **ANEXO A1**

### **MANUAL DE USUARIO DE DIMAD**



Adrián Guzmán M.



# DIMAD

DISPOSITIVO MÓVIL DE  
ADQUISICIÓN DE DATOS

# Notas y precauciones



---

**Nota:** una nota indica información importante que le ayudará a hacer un mejor uso del equipo.

---



---

**Precaución:** una precaución indica la posibilidad de sufrir daños materiales o personales, e incluso peligro de muerte

---

## ***Importante***

---

*Lea completa y detenidamente el presente manual de instrucciones y siga las mismas para el correcto uso del DIMAD.*

*Tenga presente que uso inadecuado y no informado de este producto puede resultar en gravísimos daños a la propiedad y/o a los seres humanos.*

# Contenido

Contenido.....	1
1 Acerca del DIMAD. ....	2
Características generales.....	2
Vista anterior.....	3
Vista posterior.....	6
Vista lateral izquierda.....	9
Vista lateral derecha. ....	12
2 Condiciones de utilización.....	15
Puerta posterior.....	15
Ubicación.....	15
Alimentación.....	15
Conexiones.....	15
Límite de operación.....	15
3 Utilizando el DIMAD. ....	17
Utilización del DIMAD. ....	17
4 Componentes.....	19
Computador.....	19
Fuente de poder.....	20
Tarjeta de adquisición de datos.....	21
Grupo transductor.....	24
Componentes auxiliares.....	25
5 Plano eléctrico del DIMAD. ....	27



# 1 Acerca del DIMAD.

## Características generales.

El DIMAD, consiste en un equipo de medición eléctrica, que integra tecnología tanto análoga como digital, su funcionalidad principal es servir como herramienta de trabajo para las experiencias del curso “Laboratorio de conversión electromecánica de la energía”, dicho curso consiste en la experimentación práctica de distintas experiencias de máquinas eléctricas transformadoras y giratorias, tanto en corriente continua como alterna.

Las variables eléctricas que se miden pasan directamente a los instrumentos análogos, los cuales indican el valor sin la necesidad de tener prendido el DIMAD, para tomar los datos de forma digital, estas variables pasan por un “grupo transductor”, el cual se encarga de llevar los valores de corriente y voltaje, a valores de voltajes en un rango de  $\pm 10 V_{peak}$ , estos voltajes son digitalizados mediante una tarjeta de adquisición de datos, National Instruments, la cual envía vía USB los datos digitales a un ordenador cargado con Windows XP, utilizando la plataforma LabVIEW como manipulador de datos, dicha plataforma entrega la interfaz gráfica necesaria para visualizar las mediciones realizadas por DIMAD.

Las mediciones que DIMAD posee son las siguientes:

- ❖ 3 mediciones de voltaje alterno [500 Vrms]
- ❖ 3 mediciones de corriente alterna [15 Arms]
- ❖ 1 medición de frecuencia [220 Vrms]
- ❖ 2 mediciones de voltaje continuo [500 Vdc]
- ❖ 2 mediciones de corriente continua [15 Adc]
- ❖ 1 medición de corriente continua [5 Adc]



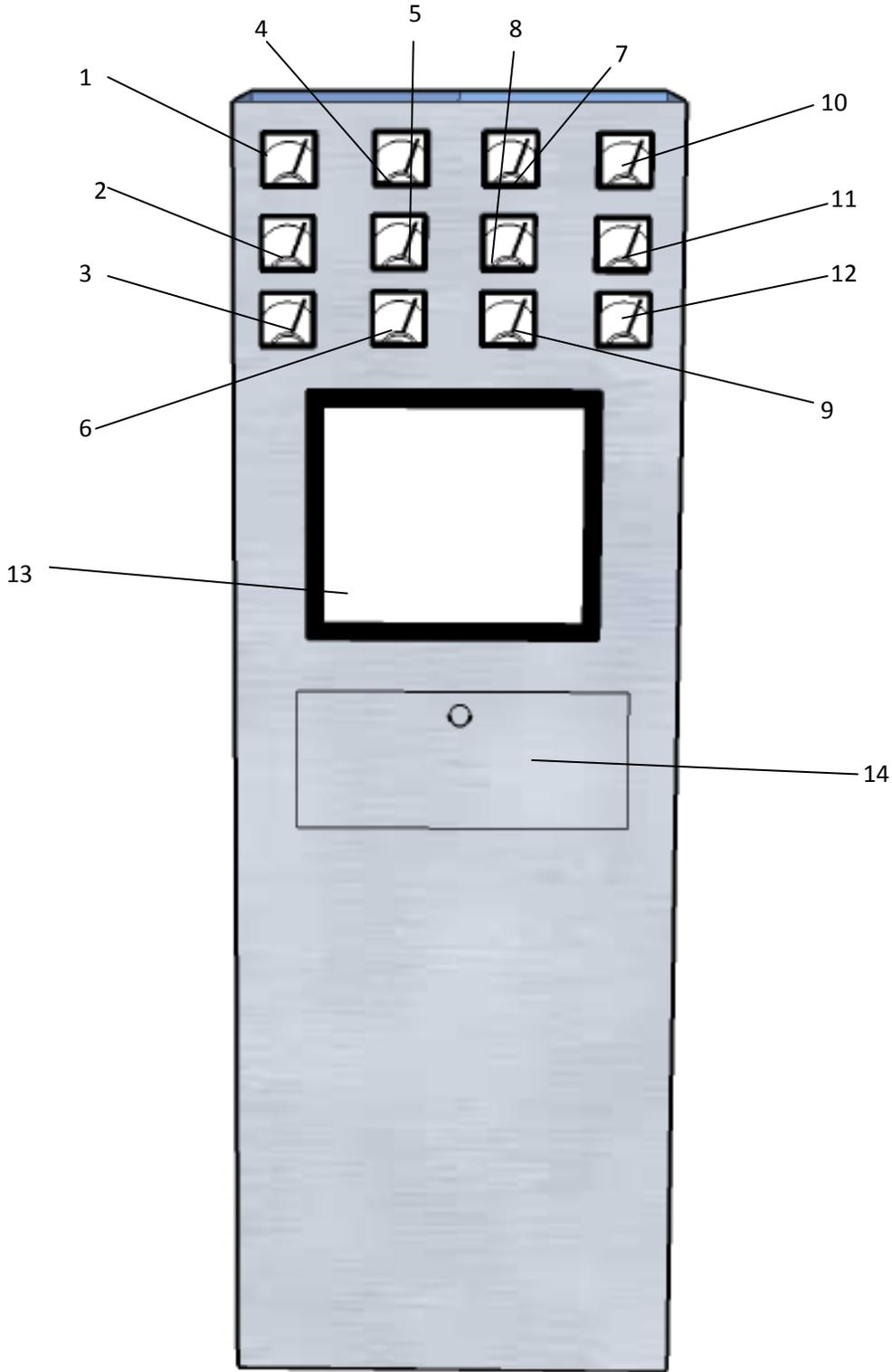
---

Las mediciones descritas son las mediciones directas que puede realizar DIMAD, utilizando el software LabVIEW para manipular estas señales se pueden realizar mediciones de variables más complejas que dependan de estas.

---



# Vista anterior



- 1 Voltímetro análogo de corriente alterna N°1 (V1AC).
- 2 Voltímetro análogo de corriente alterna N°2 (V2AC).
- 3 Voltímetro análogo de corriente alterna N°3 (V3AC).
- 4 Amperímetro analógico de corriente alterna N°1 (A1AC).
- 5 Amperímetro analógico de corriente alterna N°2 (A2AC).
- 6 Amperímetro analógico de corriente alterna N°3 (A3AC).
- 7 Voltímetro análogo de corriente continua N°1 (V1DC).
- 8 Frecuencímetro análogo (F).
- 9 Amperímetro análogo de corriente continua N°1 (A1DC).
- 10 Voltímetro análogo de corriente continua N2 (V2DC).
- 11 Amperímetro análogo de corriente continua para campos (AfDC).
- 12 Amperímetro análogo de corriente continua N°2 (A2DC).
- 13 Pantalla táctil.
- 14 Bandeja de teclado y hub USB.

**Voltímetro análogo de corriente alterna:** voltímetro análogo de corriente alterna para panel tipo DIN de 72x72 mm, escala 0~500 V.

**Amperímetro análogo de corriente alterna:** amperímetro análogo de corriente alterna para panel tipo DIN de 72x72 mm, escala 0~15 A.

**Voltímetro análogo de corriente continua:** voltímetro análogo de corriente alterna para panel tipo DIN de 72x72 mm, escala 0~500 V.

**Frecuencímetro análogo:** frecuencímetro análogo para panel tipo DIN de 72x72 mm, 220 V, escala 45~65 HZ.

**Amperímetro análogo de corriente continua:** amperímetro análogo de corriente continua para panel tipo DIN de 72x72 mm, escala 0~30 A.

**Amperímetro análogo de corriente continua para campos:** amperímetro análogo de corriente continua para panel tipo DIN de 72x72 mm, escala 0~10 A.



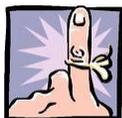

---

El valor máximo de la escala de los instrumentos de medición no corresponde necesariamente al valor máximo que soporta DIMAD para esa entrada.

---



**Pantalla táctil:** pantalla táctil 17 " marca ELO, con membrana capacitiva.



La pantalla táctil se encenderá automáticamente al enchufar el DIMAD, y se apagará al desenchufarlo por lo que no posee un botón de encendido y apagado.

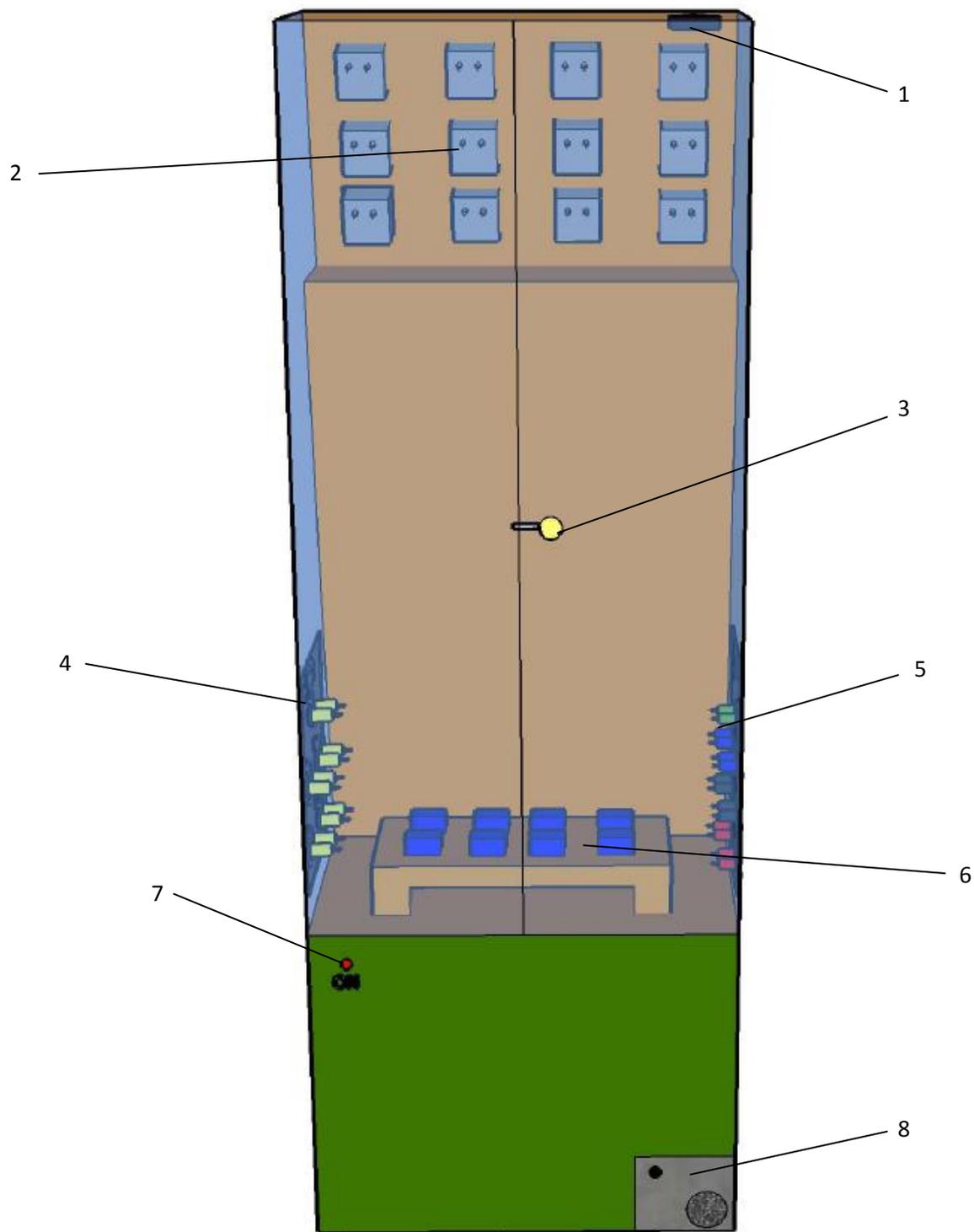


El botón secundario del mouse se utiliza presionando el ícono que se encuentra la esquina superior izquierda de la pantalla. 

**Bandeja de teclado y hub USB:** bandeja retráctil que contiene en su interior un teclado estándar y un hub USB 2.0.



## Vista posterior.



- 1 Ventilador extractor de calor.
- 2 Panel de instrumentos análogos, parte posterior.
- 3 Puerta de acceso posterior.
- 4 Bornera de corriente continua.
- 5 Bornera de corriente alterna
- 6 Grupo transductor.
- 7 Botón ON del DIMAD.
- 8 Fuente de poder.
- 9 Frecuencímetro análogo (F).

**Puerta de acceso posterior:** puerta que permite acceder a los terminales de los instrumentos análogos, y a los elementos transductores.

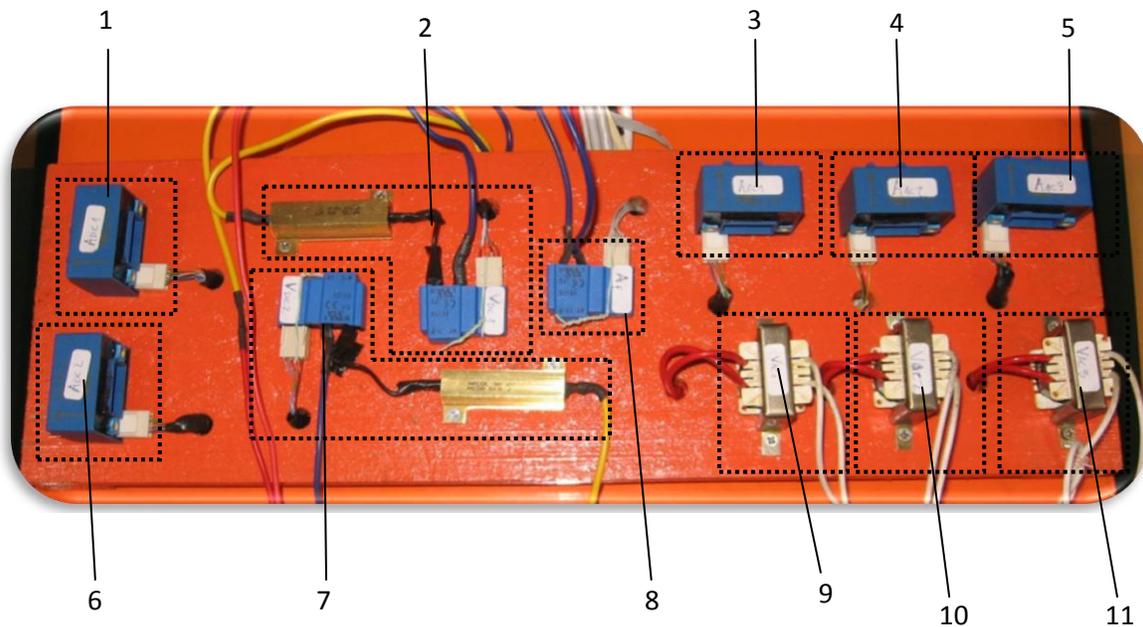


Esta puerta debe mantenerse cerrada todo el tiempo, a menos que se desee hacer algún tipo de reparación, y esto deberá hacerse siempre con el equipo desenchufado y sin ningún tipo de entrada eléctrica en sus terminales.

**Fuente de poder:** fuente de alimentación eléctrica para el DIMAD, es necesario conectar un cable de poder estándar tipo computador, a una red de 220 V a 50 Hz, posee un ventilador de entrada de aire frío, por lo que es importante no obstruir este elemento.

**Botón ON del DIMAD:** botón que permite el encendido del equipo, una vez enchufado a la red eléctrica tanto el monitor como los ventiladores arrancarán automáticamente, sin embargo, el botón ON deberá ser presionado para encender el computador que posee en su interior.

**Grupo transductor:** el grupo transductor corresponde a un grupo de elementos conversores que llevan los valores de los voltajes y corrientes medidas a valores legibles por la tarjeta de adquisición de datos a continuación se muestra en detalle este grupo.



- 1 Transductor de corriente continua N°1 (A1DC).
- 2 Transductor de voltaje continuo N°1 (V1DC).
- 3 Transductor de corriente alterna N°1 (A1AC).
- 4 Transductor de corriente alterna N°2 (A2AC).
- 5 Transductor de corriente alterna N°3 (A3AC).
- 6 Transductor de corriente continua N°2 (A2DC).
- 7 Transductor de voltaje continuo N°2 (V2DC).
- 8 Transductor de corriente continua para campos (AfDC).
- 9 Transductor de voltaje alterno N°1 (V1AC).
- 10 Transductor de voltaje alterno N°2 (V2AC).
- 11 Transductor de voltaje alterno N°3 (V3AC)

**Transductores de corriente continua:** transductores de efecto hall, marca LEM, estos son del tipo tenaza, donde el conductor pasa a través del transductor, los transductores utilizados son de razón de conversión 50A/4V.

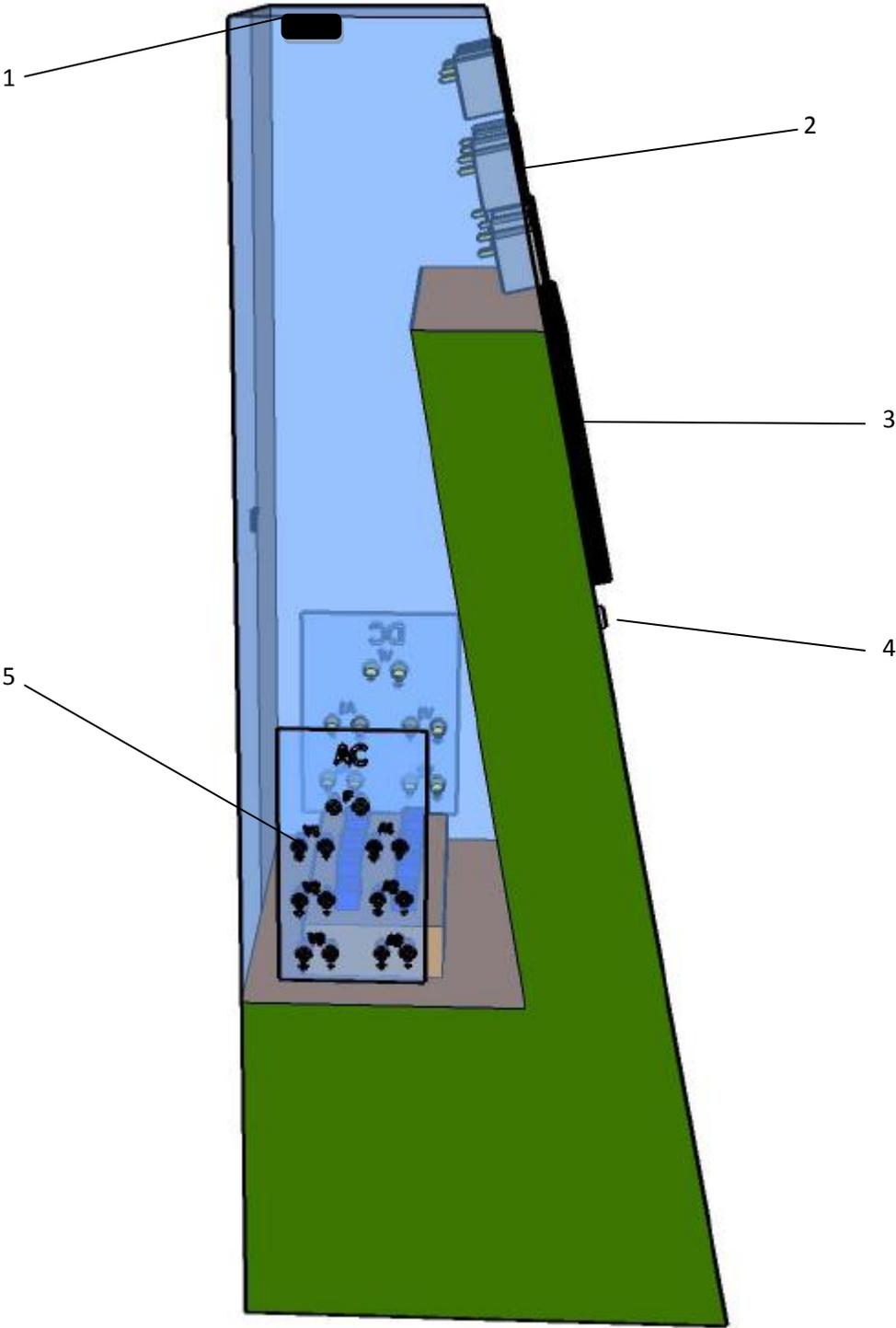
**Transductores de voltaje continuo:** estos transductores están constituidos por una carga de alta impedancia (6.8 k $\Omega$ ) y un transductor de corriente de efecto hall marca LEM, del tipo que se conecta en serie, con una razón de conversión de 5A/4 V, de esta forma se tiene una aislación galvánica en la señal secundaria.

**Transductores de corriente alterna:** transductores de efecto hall, marca LEM, estos son del tipo tenaza, donde el conductor pasa a través del transductor, los transductores utilizados son de razón de conversión 50[A]/4V.

**Transductor de corriente continua para campos:** transductor de efecto hall, marca LEM del tipo conexión serie, donde, el transductor utilizado es de razón de conversión 10[A]/4V.

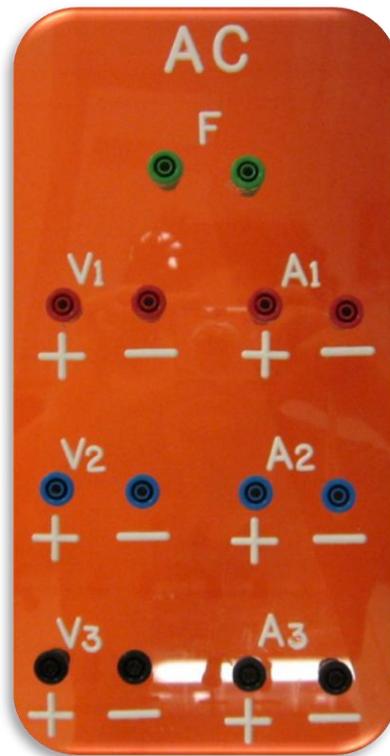
**Transductores de voltaje alterno:** transformadores de dos enrollados con razón de transformación de 500/7, ambos enrollados se encuentran aislados eléctricamente.

Vista lateral izquierda.



- 1 Ventilador extractor de calor.
- 2 Panel de instrumentos análogos.
- 3 Pantalla táctil.
- 4 Manilla para apertura de bandeja de teclado y hub USB.
- 5 Bornera de corriente alterna.

**Bornera de corriente alterna:** Grupo de bornes asociados al lado de corriente alterna del DIMAD, bornes para conectores tipo banana de 4 mm de colores azul, negro y rojo, para los voltajes y corrientes, y verde para la frecuencia, según la norma del Laboratorio.



**Bornes F:** Bornes asociados al medidor de frecuencímetro (F), estos bornes se encuentran conectados directamente a los terminales del medidor análogo de frecuencia.

**Bornes V1:** Bornes asociados al voltímetro y transductor (V1AC), estos bornes se encuentran conectados directamente a los terminales del voltímetro análogo de corriente alterna N°1 y al transductor de voltaje alterno N°1.

**Bornes V2:** Bornes asociados al voltímetro y transductor (V2AC), estos bornes se encuentran conectados directamente a los terminales del voltímetro análogo de corriente alterna N°2 y al transductor de voltaje alterno N°2.

**Bornes V3:** Bornes asociados al voltímetro y transductor (V3AC), estos bornes se encuentran conectados directamente a los terminales del voltímetro análogo de corriente alterna N°3 y al transductor de voltaje alterno N°3.

**Bornes A1:** Bornes asociados al amperímetro y transductor (A1AC), estos bornes se encuentran conectados a través los terminales del amperímetro análogo de corriente alterna N°1 y a través del transductor de corriente alterna N°1.

**Bornes A2:** Bornes asociados al amperímetro y transductor (A2AC), estos bornes se encuentran conectados a través los terminales del amperímetro análogo de corriente alterna N°2 y a través del transductor de corriente alterna N°2.

**Bornes A3:** Bornes asociados al amperímetro y transductor (A3AC), estos bornes se encuentran conectados a través los terminales del amperímetro análogo de corriente alterna N°3 y a través del transductor de corriente alterna N°3.



---

Es importante respetar los sentidos de corriente y voltaje, utilizando adecuadamente los bornes + y – de manera de no introducir desfases en las mediciones.

---



---

Durante su funcionamiento normal estos bornes permanecerán energizados, por lo que se debe extremadamente cuidadoso en su manipulación.

---



---

Los cables jamás deben ser conectados o desconectados a los bornes mientras estén energizados, si debe desenergizar con urgencia utilice el botón de pánico de la zapatilla (ver capítulo 4).

---

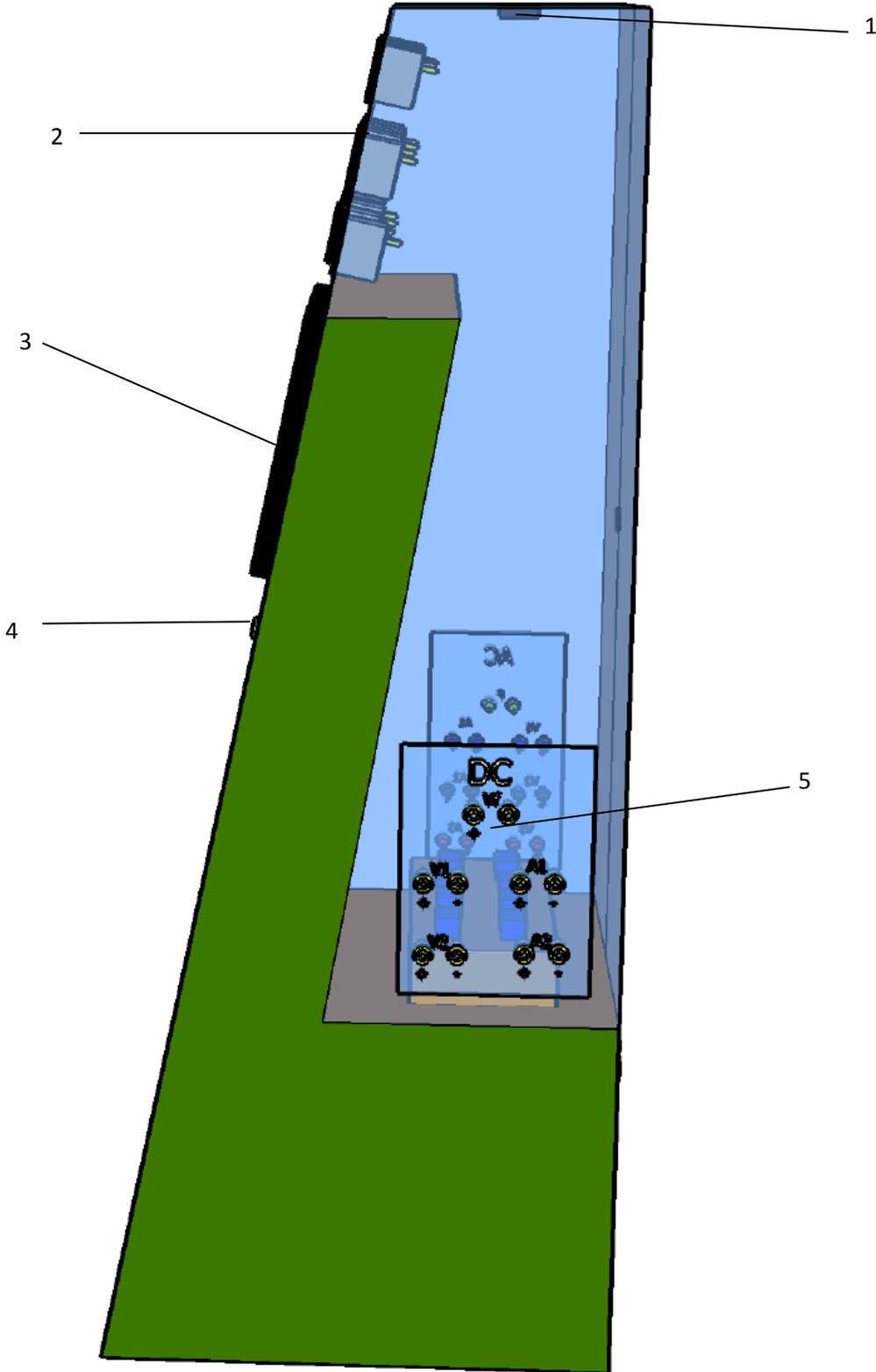


---

Solo se deben utilizar cables con puntas conectoras del tipo banana recubierta, ya sean móviles o flexibles, de 4 mm de diámetro.

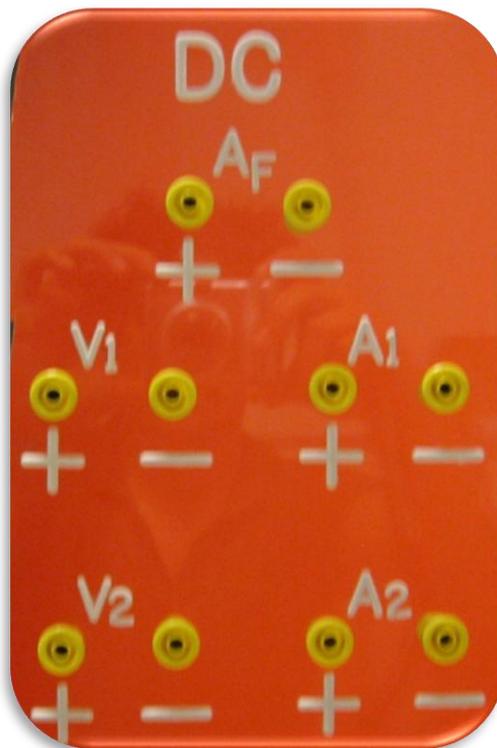
---

Vista lateral derecha.



- 1 Ventilador extractor de calor.
- 2 Panel de instrumentos análogos.
- 3 Pantalla táctil.
- 4 Manilla para apertura de bandeja de teclado y hub USB.
- 5 Bornera de corriente continua.

**Bornera de corriente continua:** Grupo de bornes asociados al lado de corriente continua del DIMAD, bornes para conectores tipo banana de 4 mm de color amarillo, acorde a la norma del Laboratorio.



**Bornes Af:** Bornes asociados al amperímetro y transductor (AfDC), estos bornes se encuentran conectados a través los terminales del amperímetro de corriente continua para campos y a través del transductor de corriente continua para campos.

**Bornes V1:** Bornes asociados al voltímetro y transductor (V1DC), estos bornes se encuentran conectados directamente a los terminales del voltímetro análogo de corriente continua N°1 y al transductor de voltaje continuo N°1.

**Bornes V2:** Bornes asociados al voltímetro y transductor (V2DC), estos bornes se encuentran conectados directamente a los terminales del voltímetro análogo de corriente continua N°2 y al transductor de voltaje continuo N°2.

**Bornes A1:** Bornes asociados al amperímetro y transductor (A1DC), estos bornes se encuentran conectados a través los terminales del amperímetro análogo de corriente continua N°1 y a través del transductor de corriente continua N°1.

**Bornes A2:** Bornes asociados al amperímetro y transductor (A2DC), estos bornes se encuentran conectados a través los terminales del amperímetro análogo de corriente continua N°2 y a través del transductor de corriente continua N°2.



---

Es importante respetar los sentidos de corriente y voltaje, utilizando adecuadamente los bornes + y – de manera de no introducir desfases en las mediciones.

---



---

Durante su funcionamiento normal estos bornes permanecerán energizados, por lo que se debe extremadamente cuidadoso en su manipulación.

---



---

Los cables jamás deben ser conectados o desconectados a los bornes mientras estén energizados, si debe desenergizar con urgencia utilice el botón de pánico de la zapatilla (ver capítulo 4).

---



---

Solo se deben utilizar cables con puntas conectoras del tipo banana recubierta, ya sean móviles o flexibles, de 4 mm de diámetro.

---

## 2 Condiciones de utilización.

### Puerta posterior

Antes de utilizarlo revise que la puerta posterior esté cerrada y con llave, la apertura de esta puerta durante su utilización involucra un riesgo latente dado el acceso directo a zonas energizadas.

### Ubicación

Sitúe el DIMAD cerca del lugar en la que realizará la experiencia, trate de que el panel de bornes adecuado quede lo más cercano a la máquina, AC o DC, según sea el caso, esto con el fin de evitar que los cables energizados queden atravesando todo el lugar de trabajo.

### Alimentación

Si se encuentra utilizando el DIMAD en el laboratorio de conversión electromecánica de la energía, utilice la alimentación monofásica de la zapatilla (ver capítulo 4) para evitar cualquier tipo de extensión extra que pueda significar una exposición innecesaria de cables con riesgos de desconexión, daño al equipo daño a las personas. Si no se encuentra utilizando el DIMAD en el Laboratorio utilice una extensión eléctrica para acercar el DIMAD al sistema medido, evite que los cables de medida sean los que recorran el sitio de trabajo, debido a su mayor cantidad con respecto al único cable de alimentación.

### Conexiones

Cuando realice las conexiones en los bornes estos deberán encontrarse desenergizados, y el sistema medido no deberá ponerse en marcha hasta que las conexiones hayan sido revisadas y se esté completamente seguro de que no se provocará una falla.

### Límite de operación

El sistema DIMAD posee límites de operación en cuanto a corriente y voltaje para las distintas entradas, para la integridad del equipo es de suma importancia que estos límites sean respetados, y al detectarse alguna infracción a uno de estos límites se deben tomar acciones correctivas lo más rápido posible con el fin de minimizar los daños, a continuación se resumen los rangos de valores que pueden tomar cada una de las variables medidas en cada entrada.



Entrada	Rango
Frecuencímetro (F)	0~220V
Voltímetro AC (V1-2-3AC)	0~500Vrms
Amperímetro AC (A1-2-3AC)	0~15Arms
Amperímetro DC para campos (AfDC)	0~10A <sub>dc</sub>
Voltímetro DC (V1-2DC)	0~500V <sub>dc</sub>
Amperímetro DC (A1-2DC)	0~15A <sub>dc</sub>



---

Antes de conectar el sistema al DIMAD asegúrese con anticipación que los límites no serán violados, recurriendo al manual o datos de placa del sistema a medir, de esta forma evitará un posible daño en el equipo

---



---

Si una señal medida sobrepasa su límite de operación no desenchufe el DIMAD para evitar daños, ya que la razón de algunos límites son del tipo térmicos que no se solucionan apagando el DIMAD.

---

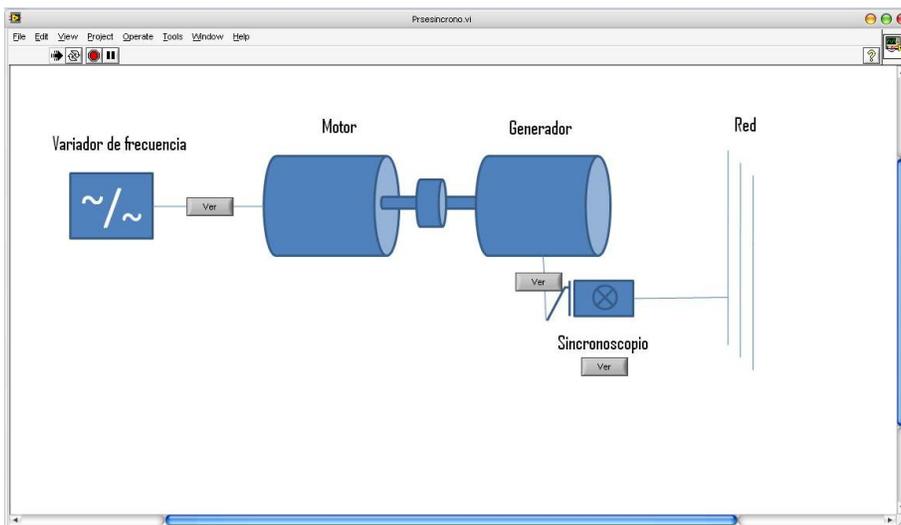
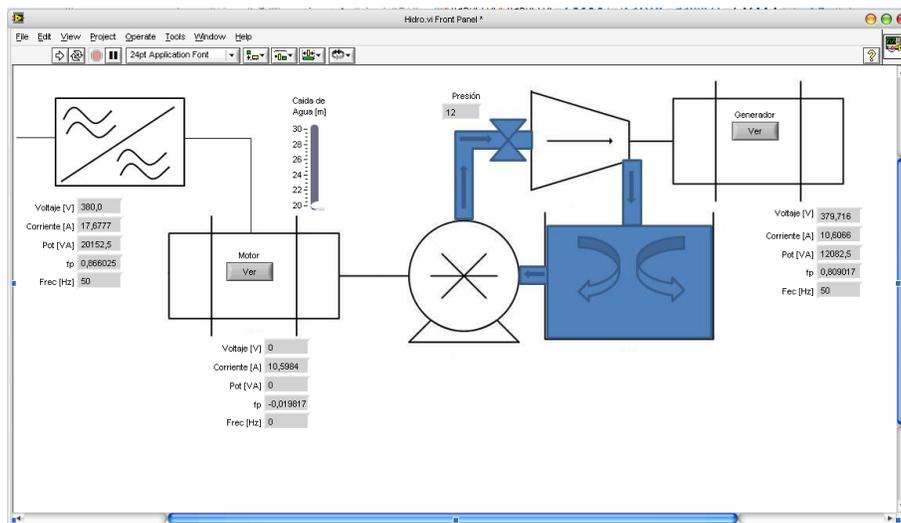
# 3 Utilizando el DIMAD.

## Utilización del DIMAD.

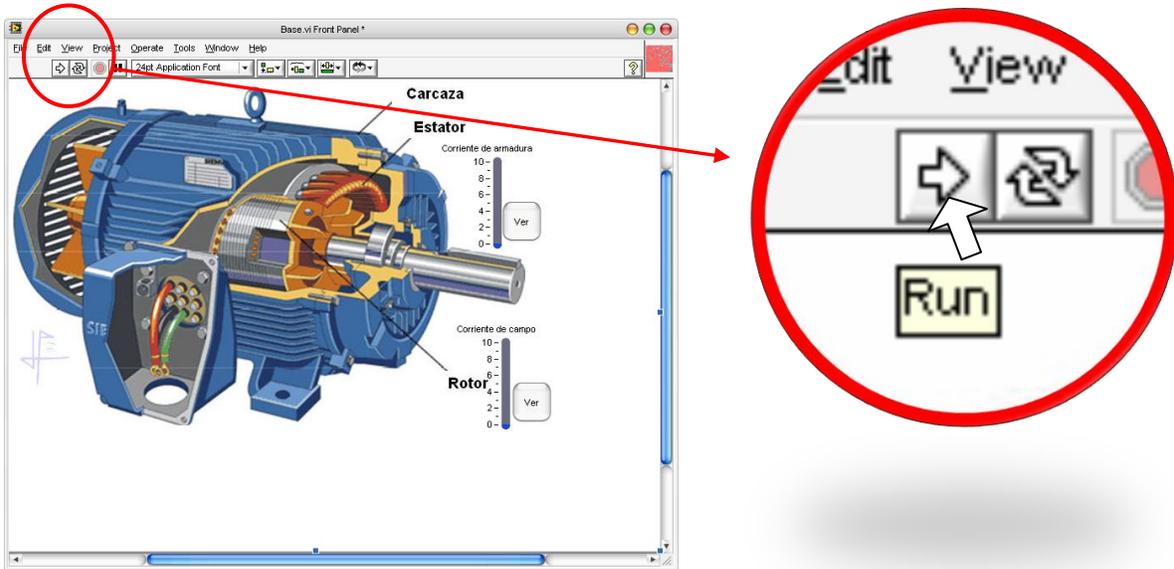
Para utilizar el DIMAD usted deberá enchufarlo a un tomacorriente de 220 V, y presionar el botón ON que posee en la parte posterior, luego de eso deberá esperar que comience el sistema operativo.

Una vez iniciado Windows XP usted deberá abrir el proyecto que utilizará, para esto utilizará el programa, LabVIEW, y hará doble click utilizando la pantalla táctil sobre el archivo .vi que se encuentra en el escritorio.

Acá un ejemplo de unos posibles proyectos que encontrará:

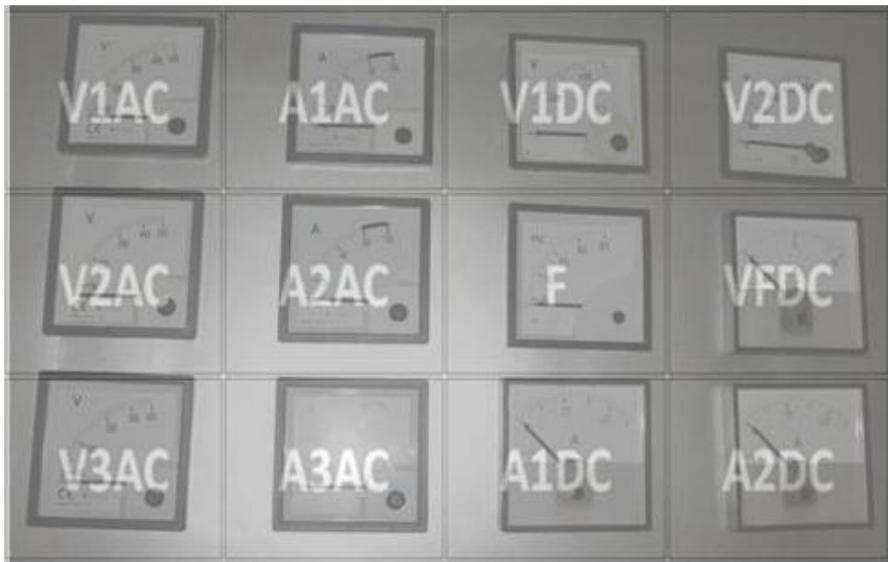


Para arrancar cualquier proyecto .vi, usted deberá hacer un click al botón run ubicado en la parte superior izquierda del proyecto.



Para utilizar los medidores análogos solo se debe saber cuáles son los que se están usando, ya que estos funcionan de forma permanente sin la necesidad de prender el equipo inicial un programa ni presionar ningún botón.

A continuación se entrega un mapa de la distribución que estos poseen.



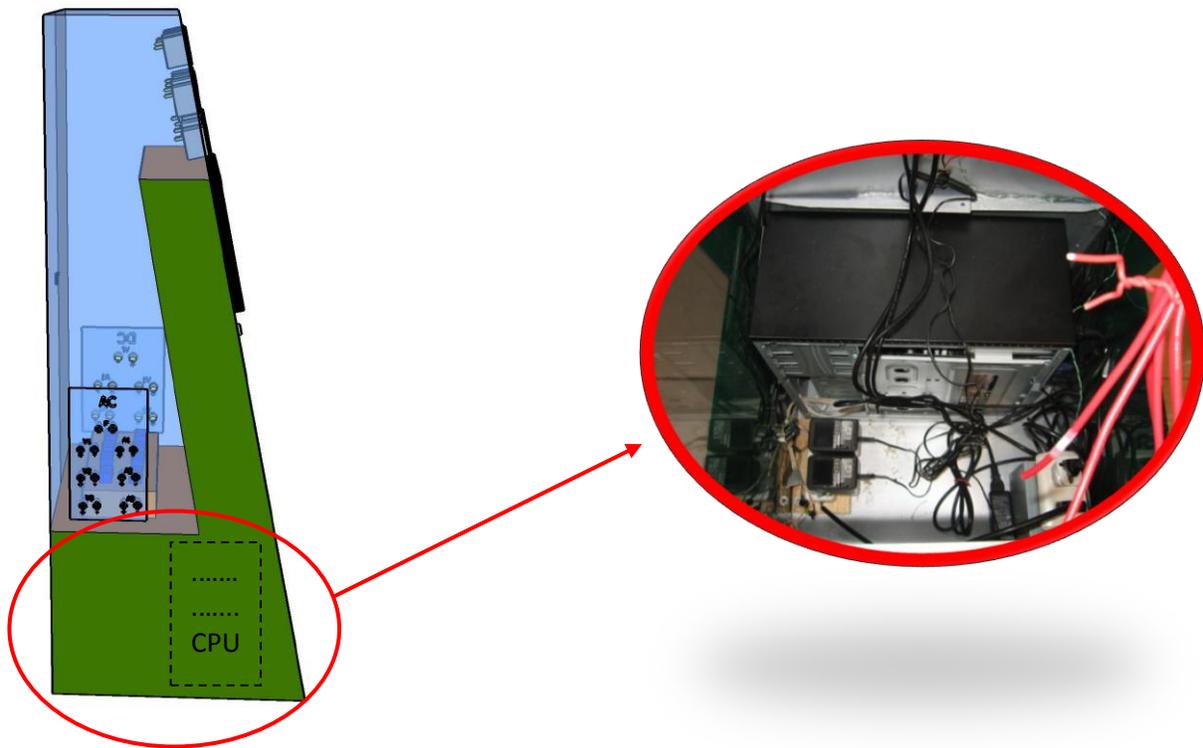
Para la utilización detallada de algún proyecto .vi favor consulte la guía del correspondiente proyecto.



# 4 Componentes.

## Computador

El computador se encuentra situado oculto en el compartimiento inferior del DIMAD, y durante su funcionamiento normal no se tiene acceso a este.



Las características del computador son las siguientes:

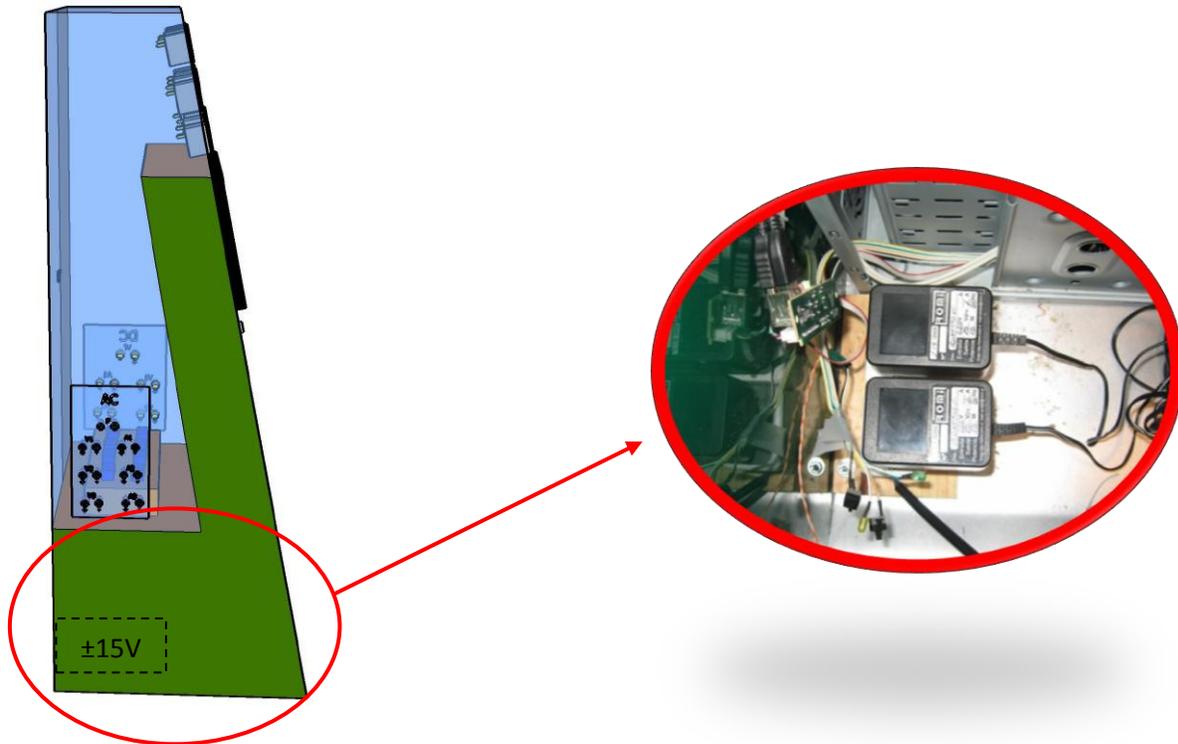
Característica	Valor
CPU	Intel Core 2 Duo E4600 2,4 Ghz
Memoria RAM	4 Gb
Disco duro	Sata 160 Gb
Placa madre	ASUS
Unidad Óptica	Grabador DVD
Sistema operativo	Windows XP SP2



## Fuente de poder.

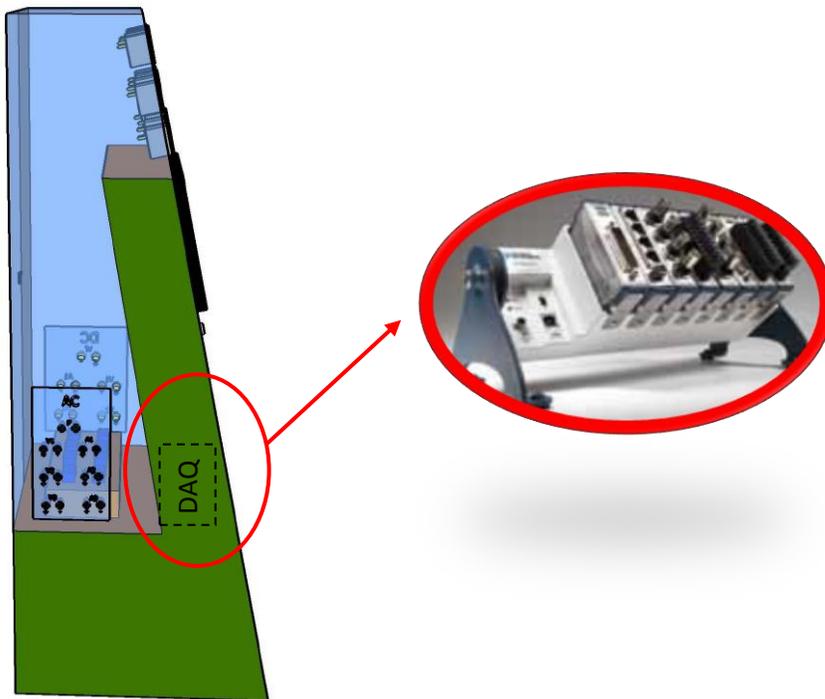
Los transductores de efecto HALL que posee el DIMAD son dispositivos activos, que requieren una polarización de  $\pm 15\text{Vdc}$  para poder ser utilizados, esta polarización proviene de una fuente de alimentación interna, que consiste en 2 fuentes reguladas de  $15\text{Vdc}$  puestas en serie con el neutro aterrizado.

Estas fuentes se encuentran ocultas en el compartimiento interior del DIMAD.



## Tarjeta de adquisición de datos

La tarjeta de adquisición de datos corresponde a una NI CompactDAQ cargada con un bloque de entrada análoga de 32 canales con tierra común o 16 independientes. Se encuentra ubicada oculta en la parte anterior del DIMAD.



Las características del compactDAQ son las siguientes:

Tipo de señal	Señal	Módulo	Canales	Características
Entrada análoga	Termocupla	NI 9211	4 DI	24-bit delta-sigma, 14 [S/s], diferencial (Termocuplas tipo J, K, R, S, T, N, E, y B)
	Sensores IEPE (acelerómetros, micrófonos)	NI 9233	4 SE	24-bit, 50 [kS/s], simultaneas, IEPE
	Propósito general ( $\pm 200$ [mV] a $\pm 10$ [v])	NI 9205	32 SE/16 DI	16-bit, 250 [kS/s]
		NI 9206	16 DI	16-bit, 250 [kS/s], 600 [VDC] (US)/400 VDC (EU) Cat I, canal a tierra
		NI 9215	4 DI	16-bit, 100 [kS/s/ch], simultáneos, diferencial
	Propósito general ( $\pm 80$ [mV])	NI 9211	4 DI	24-bit, 14 [S/s], diferencial



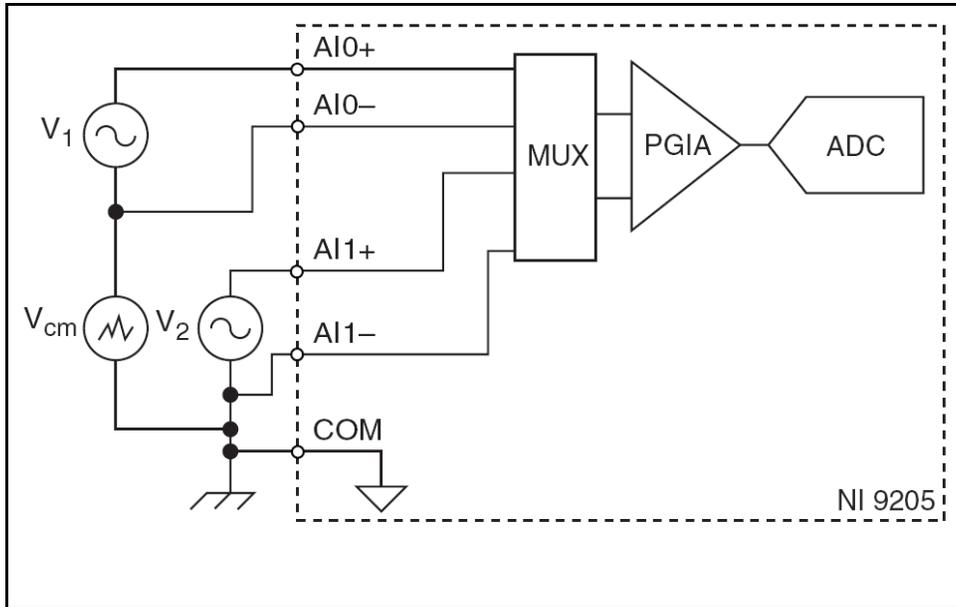
	Medio puente y puente completo	NI 9237	4	24-bit, 50 [kS/s/ch]
salida analógica	Propósito general ( $\pm 10[V]$ )	NI 9263	4 SE	16-bit, 100 [kS/s/ch], simultáneos
Entrada digital	Bidireccional 5[V] TTL	NI 9401	8	5 [V] TTL, alta velocidad, bidireccional, 30 [V] protección
	24[V], Sinking	NI 9421	8	10 [kS/s], 24 [V] lógicos, 40 [V] protección
Salida digital	Bidireccional 5[V] TTL	NI 9401	8	5 [V] TTL, alta velocidad, bidireccional, 30 [V] protección
	24[V], sourcing	NI 9472	8	10 [kS/s], 24 [V] lógicos, 750 [mA] máx. por canal, 30 [V] protección, a prueba de cortocircuitos
Relé	Electromecánico, de un SPST	NI 9481	4	30 [VDC] (2 [A]), 60 [VDC] (1 [A]), 250 [VAC] (2 [A])electromecánico desde un (SPST)
Contador, Generador de pulso	Contador/timer/PWM/generador de pulsos (TTL)	NI 9401	8	5 [V] TTL, alta velocidad, bidireccional, 30 [V] protección
	PWM/generador de pulsos (24 V)	NI 9472	8	10 [kS/s], 24 [V] lógicos, 750 [mA] max por canal, 30 V protección, a prueba de cortocircuitos

El Chasis posee integrados 3 bloques, uno de entradas analógicas de 32 canales, el cual es el que está siendo utilizado, también posee uno para mediciones de termocuplas y uno de 10 canales de entrada/salida analógica.



**Módulo de 32 canales analógicos:** El módulo de entradas analógicas con el que se cuenta es el modelo NI 9205, el cual posee 32 canales analógicos con tierra común, el cual será utilizado como un bloque de 16 canales analógicos diferenciales esta configuración es la más adecuada debido a que permite realizar medidas de voltajes y corrientes con la seguridad de que no se producirá ningún cortocircuito por levantamiento de tierra, la desventaja por supuesto es que se requiere el doble de canales para lograrlo, ya que lo que se hace en la práctica, es medir la diferencia entre las diferencias de cada una de las medidas con respecto a tierra utilizando un MUX, tal y como se ve en la Ilustración siguiente.



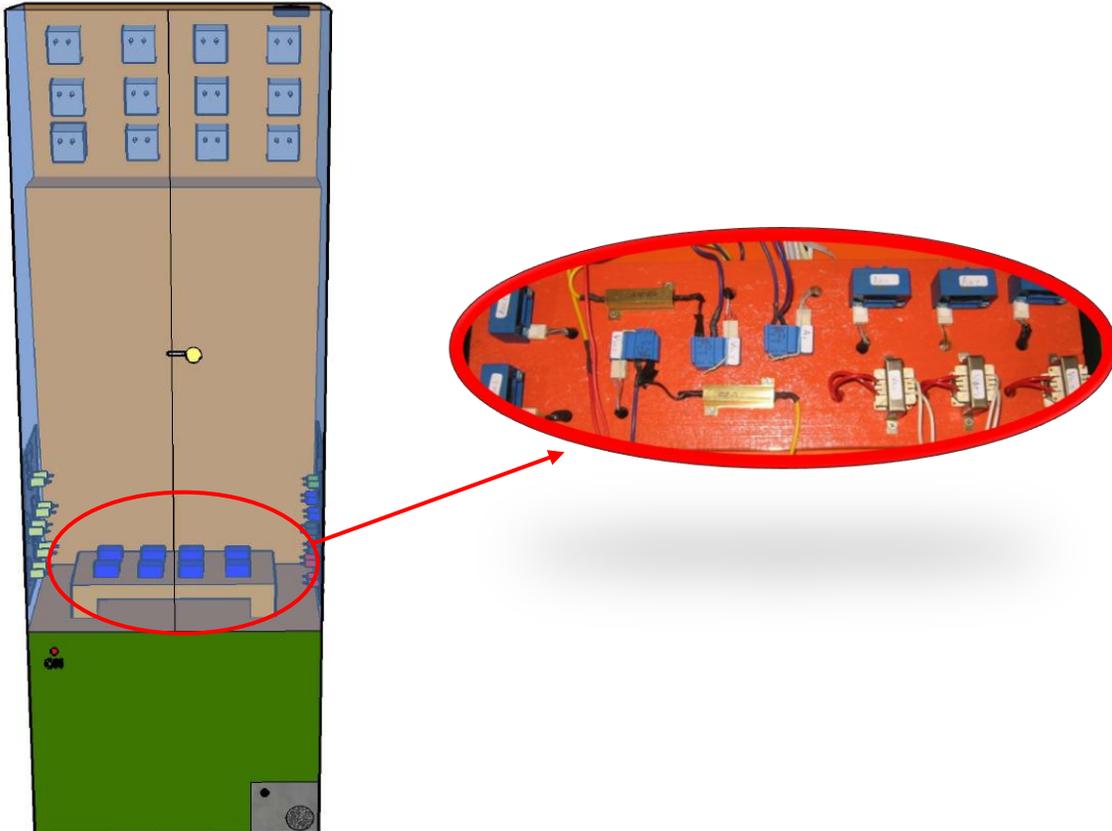


esto permite que la medida posea una precisión mucho más alta que con las medidas análogas tradicionales, ya que para una medición de voltaje alterno de 380[V] se tendría en el mejor de los casos una precisión de 3,7 [mV].

Voltaje nominal [V]	Ruido Aleatorio $\sigma$ [ $\mu$ Vrms]	Sensibilidad [ $\mu$ V]
$\pm 10$	240	96
$\pm 5$	116	46,4
$\pm 1$	26	10,4
$\pm 0,2$	10	4

## Grupo transductor

El grupo transductor se encuentra ubicado en la parte posterior del DIMAD, tras la puerta, como se observa en la figura, estos transductores reciben las señales a través de los cables de poder y envían a través de cables de control, las señales de salida son introducidos a la tarjeta de adquisición de datos, la cual se encarga de incorporarlos al computador.



## Componentes auxiliares.

El DIMAD posee un componente auxiliar fundamental, el cual es el panel móvil o zapatilla del laboratorio, esta zapatilla corresponde a un dispositivo que hace las veces de adaptador eléctrico, convirtiendo los tomacorriente tipo industriales que posee el laboratorio, en salidas con bornes para cables tipo banana, del mismo tipo que posee DIMAD.



La zapatilla posee las siguientes alimentaciones.

- ❖ 220 Vfn monofásico para instrumentación.
- ❖ 220 Vff trifásico.
- ❖ 380 Vff trifásico.
- ❖ 110 VDC.
- ❖ 220 VDC.
- ❖ 440 VDC



Las alimentaciones de la zapatilla se encuentran repetidas, esta condición permite evitar las conexiones entre cables peligrosas por lo que es recomendable utilizar esta característica a fin de reducir los riesgos.



Utilice la zapatilla lo más cercano posible al DIMAD, evite las extensiones innecesarias de cables

La Zapatilla posee además un botón de pánico en caso de que suceda cualquier complicación, esto significa que se debe estar constantemente en un lugar cercano a esta, al oprimir este botón se desenergizará por completo el panel en el cual se está trabajando



---

El botón de pánico es un elemento primordial de seguridad, por lo que se deberá usar de forma rápida y decidida ante cualquier problema que pueda presentarse, por lo que siempre debe haber un alumno cerca de ésta para su eventual operación

---



---

Es recomendable que el DIMAD se conecte directamente a las alimentaciones monofásicas de la zapatilla de manera de reducir el cableado innecesario en los alrededores del lugar de trabajo.

---



---

Recuerde grabar los datos de su trabajo con regularidad durante el transcurso de este, ya que ante cualquier emergencia en el que deba recurrir al botón de pánico el DIMAD también se desenergizará pudiéndose perder parte del trabajo realizado.

---

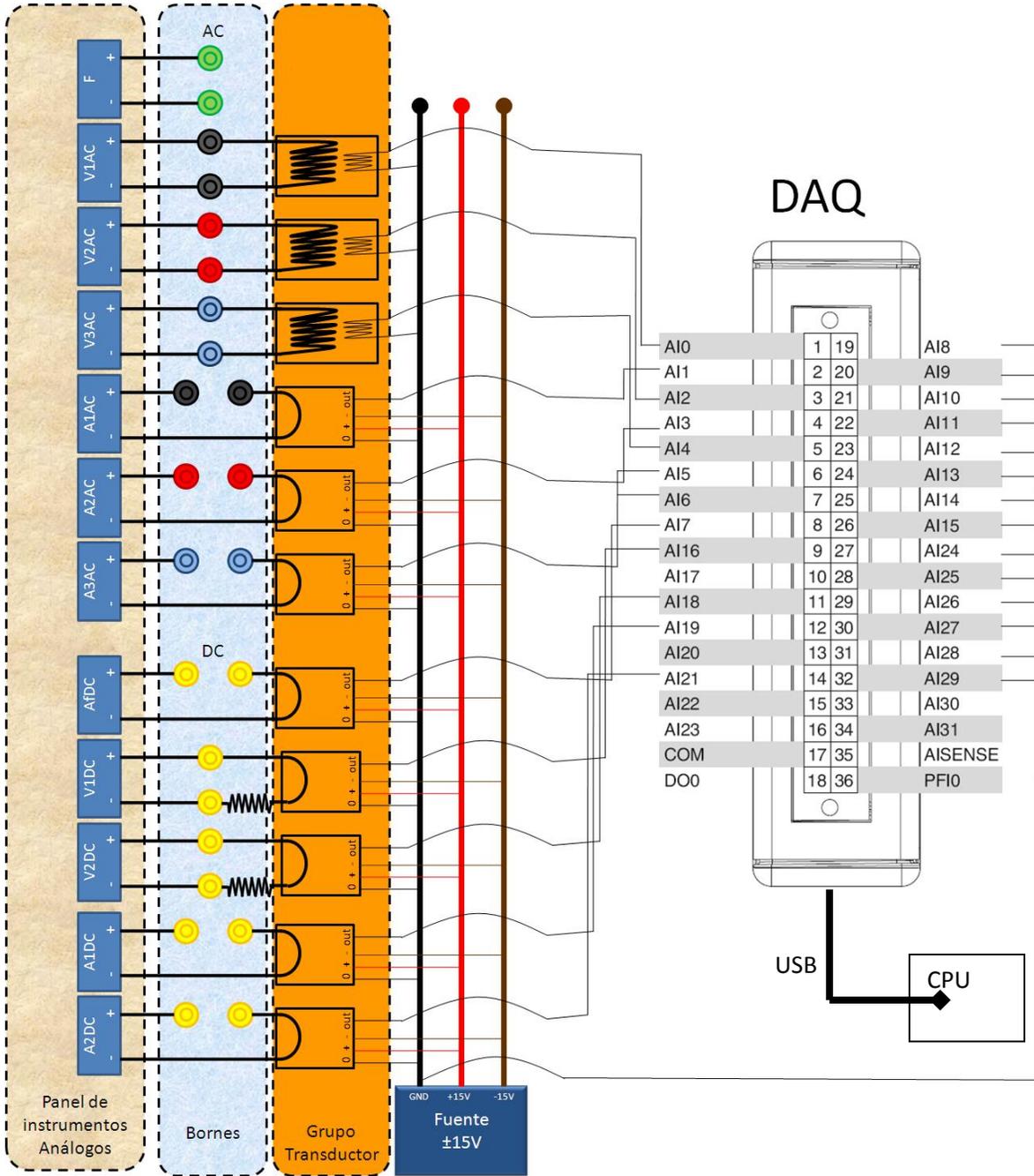


---

Antes de comenzar a utilizar la zapatilla lea atentamente las instrucciones impresas en ella, y siga cuidadosamente cada paso para poder utilizarla de forma correcta sin tener que recurrir al profesor de forma innecesaria.

---

# 5 Plano eléctrico del DIMAD.



## **ANEXO A2**

### **GUÍA DE ACTIVIDADES MICRO CENTRAL HIDRÁULICA**



**DIMAD**

GUÍA DEL ALUMNO PARA LA  
EXPERIENCIA DE MICRO  
CENTRAL HIDRÁULICA



# Notas y precauciones



---

**Nota:** una nota indica información importante que le ayudará a hacer un mejor uso del equipo.

---



---

**Precaución:** una precaución indica la posibilidad de sufrir daños materiales o personales, e incluso peligro de muerte

---

## ***Importante***

---

*Lea completa y detenidamente la presente guía para facilitar la utilización del DIMAD en la experiencia.*

*Antes de leer esta guía es recomendado que lea el manual de funcionamiento del DIMAD.*

# Contenido

Contenido.....	1
Micro central Hidráulica.....	2
Características generales.....	2
Panel de la micro central.....	3
Mediciones.....	4
Utilización del programa de visualización.....	5
Iniciando el programa.....	5
Utilizando el programa.....	6



# Micro central Hidráulica.

## Características generales.

La micro central hidráulica forma parte de las nuevas experiencias prácticas que posee el Departamento de Ingeniería Eléctrica, esta experiencia, tiene por objetivo introducir al alumno en el mundo de la generación hidráulica de baja potencia, con el fin de mejorar el entendimiento de éste en temas como, la generación distribuida, el control de centrales hidráulicas, el uso de las energías renovables, etc.

Para simular las condiciones naturales en las que se encuentran estas centrales, es decir, caídas y cursos de aguas reales, es que se ha determinado la siguiente configuración para su funcionamiento.

**Generador:** como elemento de generación eléctrica, se ha escogido un generador sincrónico con campo de excitación independiente, alimentado por una fuente de corriente continua, esto con el fin de poder ejercer control sobre el generador, básicamente controlar su tensión, cuando se quiera analizar su uso como generador aislado, y su inyección o retiro de reactivos, cuando se quiera analizar su uso como sistema generación conectado a la red eléctrica.

**Máquina motriz:** como fuente de energía se ha escogido utilizar una turbina Pelton, esta turbina tiene su mayor desempeño cuando es utilizada en sistemas hidráulicos con grandes caídas de agua, por lo que la buena representación de una caída de agua natural es fundamental, ésta posee un álabe que permite controlar la cantidad de agua que ingresa a la turbina, cuando se utiliza como sistema de generación aislado, esto permite tener un control de la frecuencia de este sistema, y cuando se utiliza como generador conectado a la red eléctrica, permite controlar la cantidad de potencia que es inyectado a éste.

**Caída de agua:** para simular una caída de agua se cuenta con una motobomba hidráulica que retira el agua de un estanque, mismo estanque que hace las veces de receptor de la turbina, cerrando así el circuito hidráulico. Para simular las distintas alturas de agua que pueden alimentar la turbina, se cuenta con un variador de frecuencia, que alimenta al motor asíncrono de la bomba.



---

Antes de usar verificar que el estanque de agua posee agua suficiente (ver indicador), a fin evitar que la motobomba absorba aire.

---



## Panel de la micro central.

La micro central hidráulica, posee un panel acrílico compatible con los estándares del DIMAD, en cuanto a bornes, colores, tensiones y corrientes máximas, etc. En este panel se encuentran los medidores análogos propio de la central, y bornes de acceso a los elementos que componen el sistema.

En el panel se puede acceder a los bypass que tiene la alimentación de la bomba, de esta manera se puede medir tanto el voltaje, como la corriente que ingresan al motor de la bomba, también se puede acceder a los bornes de salida del generador sincrónico, el panel finalmente, posee el interruptor de encendido de la bomba que inicia el funcionamiento de todo el sistema.



Recuerde que al terminar de usar la central, los cables del bypass de la bomba deben quedar conectados.



# Mediciones

Con el fin de realizar un análisis completo del funcionamiento del sistema es necesario que se tomen las siguientes medidas, las cual pueden ser tomadas simultáneamente por DIMAD, esto significa que dichas conexiones solo deberán ser realizadas una sola vez.

- ❖ Voltaje de la red.
- ❖ Corriente de alimentación del variador de frecuencia.
- ❖ Voltaje de salida del variador de frecuencia.
- ❖ Corriente de entrada de la bomba.
- ❖ Voltaje de salida del generador.
- ❖ Corriente de salida del generador (cuando haya carga).
- ❖ Corriente de excitación del generador.

Para esto se deberán utilizar los siguientes instrumentos del DIMAD.

Variable	Instrumento
Voltaje de la red.	V1AC
Corriente de alimentación del variador	A1AC
Voltaje de salida del variador de frecuencia.	V2AC
Corriente de entrada de la bomba.	A2AC
Voltaje de salida del generador.	V3AC
Corriente de salida del generador	A3AC
Corriente de excitación del generador.	VfDC



Para la identificación de los instrumentos, leer manual de funcionamiento del DIMAD.



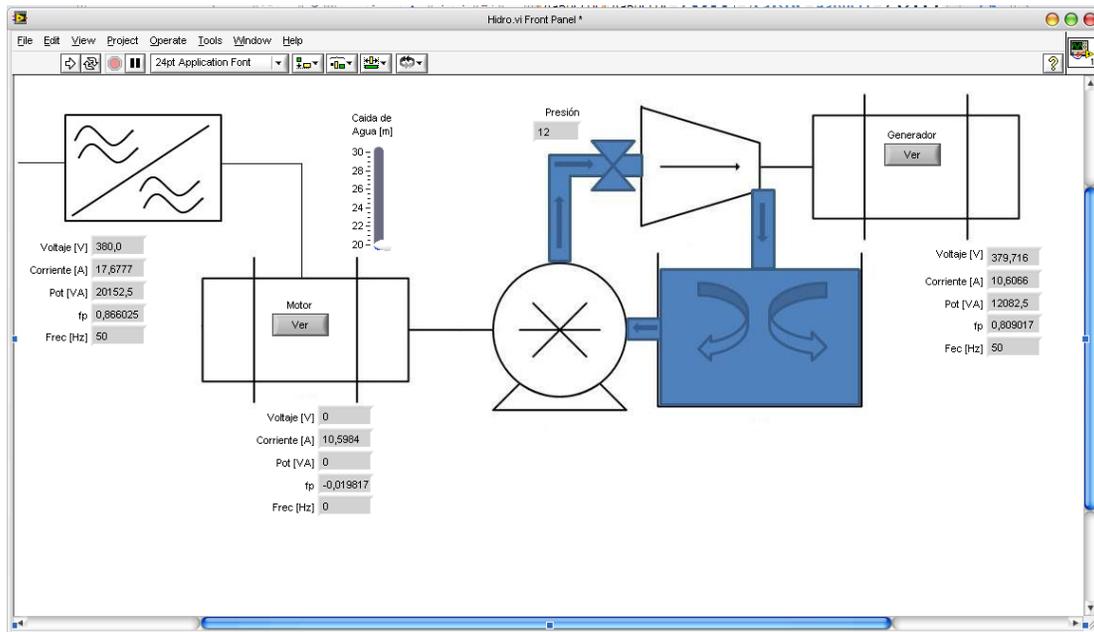
Recuerde que para el correcto funcionamiento del DIMAD, las variables medidas **deberán ser medidas sólo por instrumento asignado.**



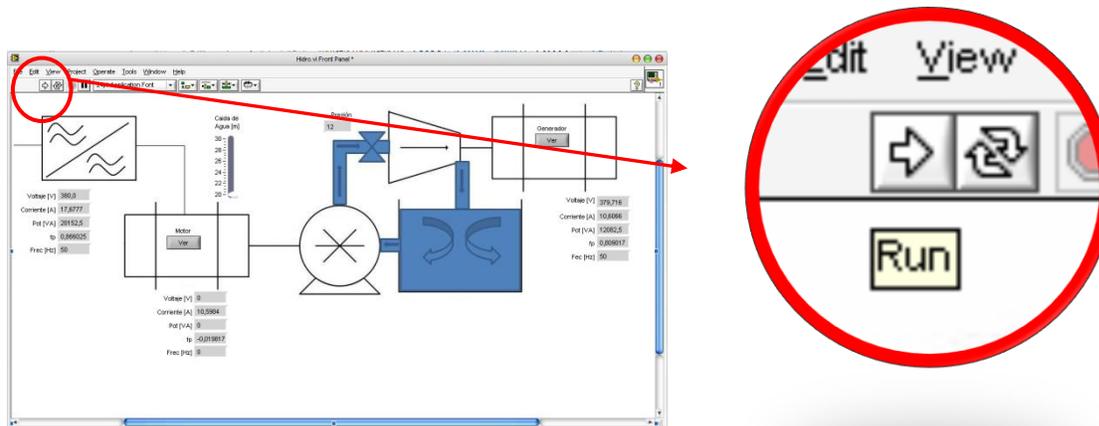
# Utilización del programa de visualización.

## Iniciando el programa.

Para comenzar a utilizar el programa, asegúrese que el DIMAD esté conectado correctamente, y que esté prendido, luego, utilizando la pantalla táctil haga doble click sobre el archivo ubicado en el escritorio "Hidro.vi", el cuál deberá desplegar la siguiente ventana.



Luego de abrir esta ventana deberá comenzar a correr la adquisición de datos, para esto deberá hacer un click, en el botón "run", ubicado en el extremo superior izquierdo de la ventana, tal como se ve en esta figura.



Utilización del programa de visualización.



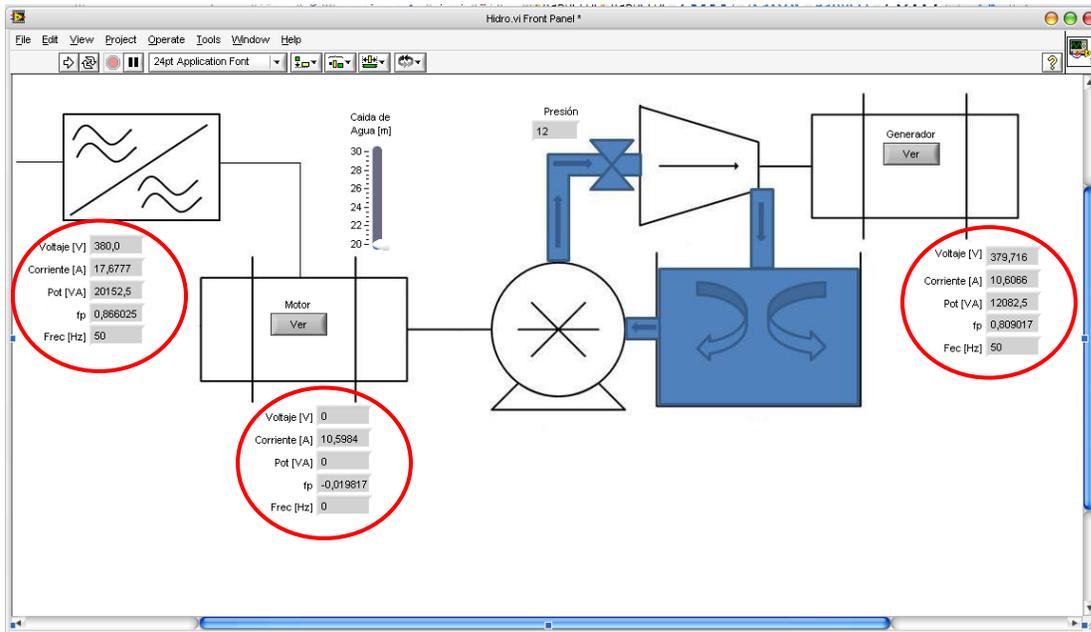
## Utilizando el programa.

Una vez arrancado el programa usted se encontrará visualizando la pantalla principal, en esta pantalla podrá visualizar las primeras mediciones realizadas por el DIMAD, estas son las siguientes:

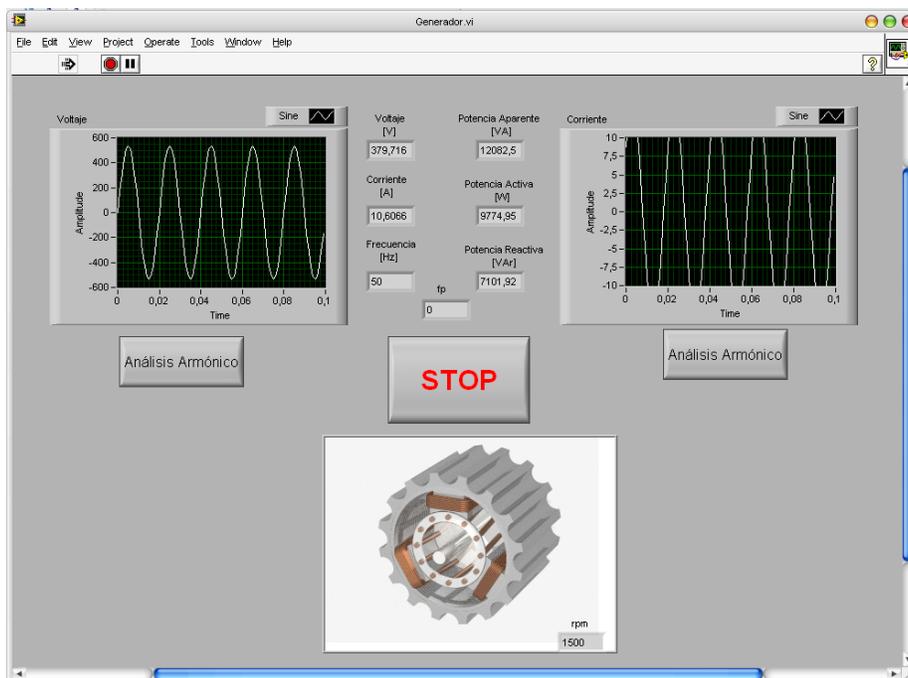
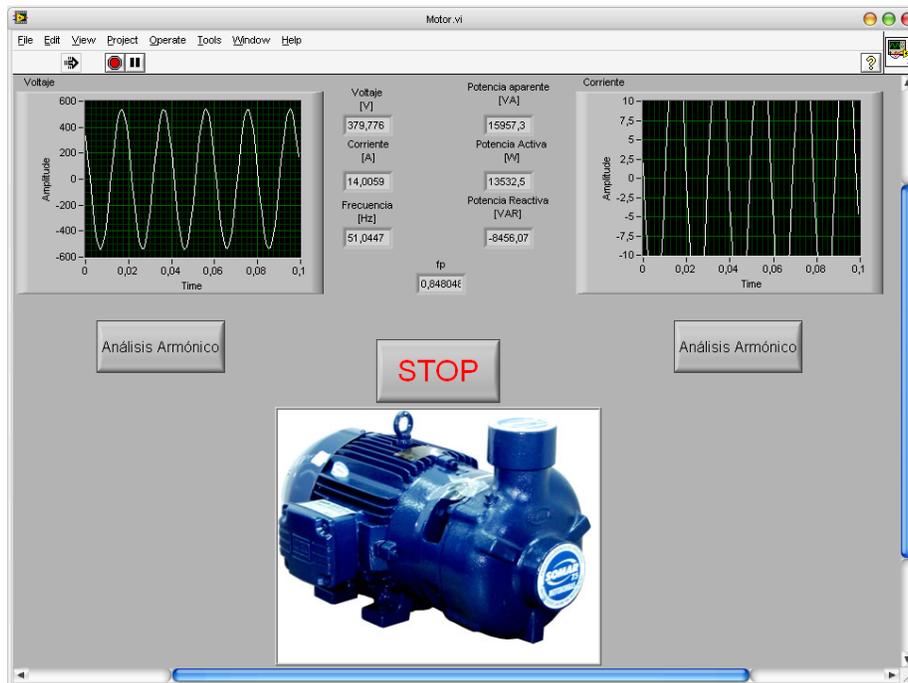
- ❖ Voltaje [V]
- ❖ Corriente [A]
- ❖ Potencia aparente [VA]
- ❖ Factor de potencia [ $\cos(\phi)$ ]
- ❖ Frecuencia [HZ]

Para cada una de las siguientes líneas.

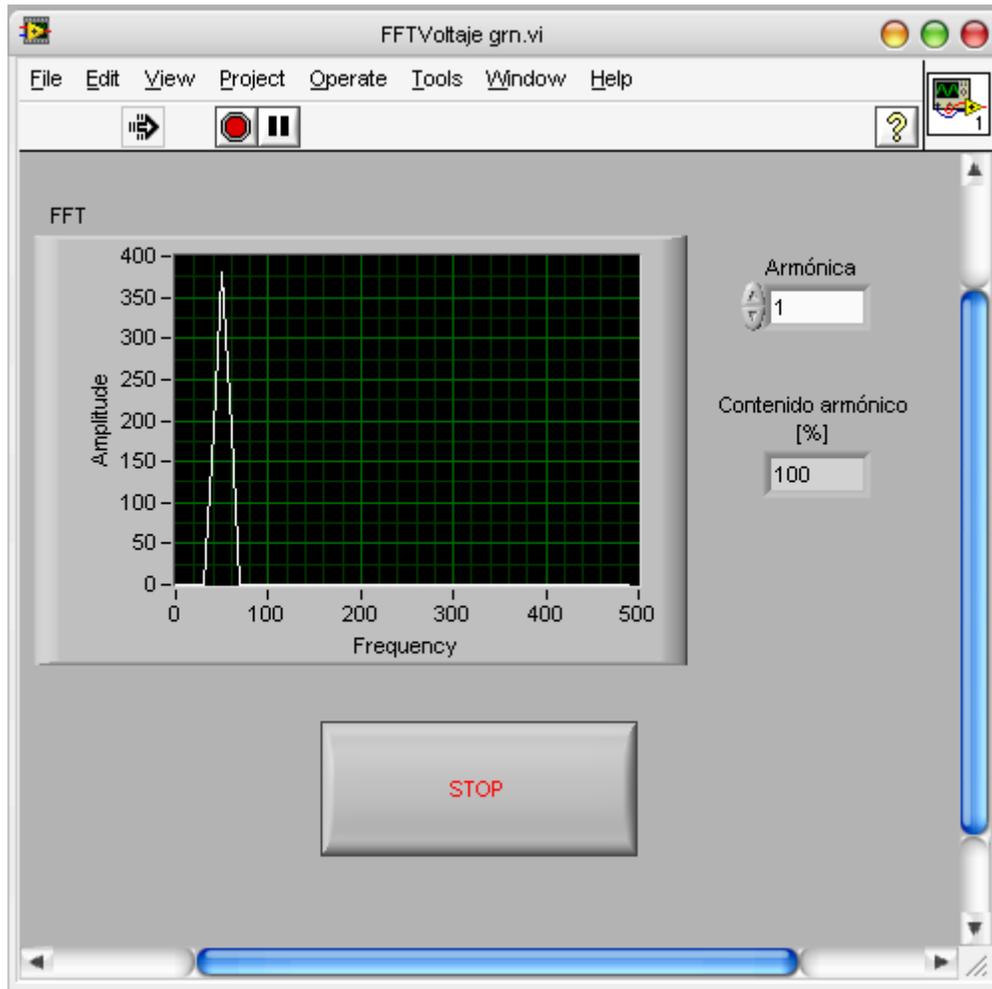
- ❖ Red (alimentación del variador).
- ❖ Salida del variador (alimentación del motor de la bomba).
- ❖ Salida del generador (alimentación de la carga).



Luego, para cada una de las máquinas es posible realizar un análisis más detallado, para esto haremos click el botón “ver” dentro de cada una de las máquinas, lo que desplegará las siguientes ventanas popup.



En estas pantallas se podrá encontrar información más detallada de la máquina, como la forma de onda de su corriente, se du voltaje, valores de los distintos tipos de potencias, frecuencias, etc., , incluidos análisis armónicos, estos aparecerán como subpantallas de esta subpantalla al hacer click al botón “Análisis Armónico”.



En este tipo de pantalla podrá encontrar la transformada de furrier de la señal analizada, y un botón en el cual podrá encontrar el porcentaje de contenido de la armónica seleccionada, con respecto a la fundamental.



Para cerrar las subventanas, utilice siempre el botón “STOP”, si por error utiliza el botón X de las ventanas de Windows, deberá cerrar el programa por completo y comenzar nuevamente.