

**UCLV**  
Universidad Central  
"Marta Abreu" de Las Villas



**FIE**  
Facultad de  
Ingeniería Eléctrica

## **TRABAJO DE DIPLOMA**

Departamento de Automática y Sistemas Computacionales

Título Estudio de la maqueta demostrativa de eficiencia energética de la Schneider Electric.

Autores Albert Alaín Valdivia García

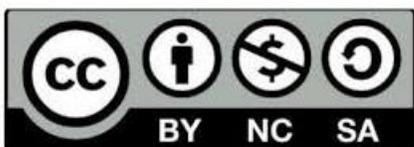
Tutores Ms. C. Samy Brito Barroso

Santa Clara, julio 2018  
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubián” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

**Atribución- No Comercial- Compartir Igual**



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-141

## PENSAMIENTO

*“El problema real no es si las máquinas piensan, sino si lo hacen los hombres”*

*B. F. Skinner*

## **DEDICATORIA**

- A mi mamá, mi abuela, mi tía, mi prima y mi papá por el amor, la dedicación y el apoyo que me dieron en todo momento.
- A mi abuelo y Miguel Javier Legón Brizuela donde quiera que estén.
- A mis demás familiares.
- A todos mis amigos.

## **AGRADECIMIENTOS**

- A mi mamá, mi abuela, mi tía, mi prima y mi papá por ayudarme en todo lo que estaba a su alcance.
- A mi tutor Samy Brito Barroso y a la profesora María del Carmen.

## RESUMEN

El presente trabajo diploma tiene como objetivo principal la realización de un estudio de la maqueta demostrativa de eficiencia energética de la Schneider Electric sobre la base de los principios que rigen la ingeniería inversa. Se trabaja en el sentido contrario del orden ingenieril, porque ya se tiene un producto terminado, el cual es analizado con el objetivo de encontrar el porqué de cada detalle de construcción y funcionamiento. Esto es opuesto a los procesos de ingeniería los cuales inician con unas necesidades y finalizan con un producto.

Como resultado se proponen los esquemas eléctricos y diagramas de comunicaciones, pues no se posee documentación de la misma. Se realiza un minucioso análisis del programa implementado y se ve hasta qué punto se pueden cargar otros programas en el autómeta. Para eso se profundiza en el estudio del autómeta TM251MESE, el cual es el encargado del funcionamiento de la maqueta en el modo automático.

La realización de este proyecto es de gran importancia, pues se va a obtener un conjunto de especificaciones del software y el hardware de la maqueta que va a posibilitar la puesta en marcha de esta y que se pueda utilizar en las diferentes asignaturas de la carrera.

## TABLA DE CONTENIDOS

DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTOS .....	v
RESUMEN .....	vi
INTRODUCCIÓN .....	1
Organización del informe .....	3
CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA INGENIERÍA INVERSA EN MAQUETAS DEMOSTRATIVAS. ....	5
1.1 Ingeniería inversa .....	5
1.1.1 Elementos de la ingeniería inversa .....	7
1.1.2 Importancia de la ingeniería inversa .....	8
1.1.3 Aplicaciones de la ingeniería inversa .....	8
1.1.4 Areas de la ingeniería inversa .....	10
1.2 Maquetas demostrativas .....	11
1.3 Actualidad de la tecnología Schneider .....	13
1.4 Consideraciones del capítulo.....	19
CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS.....	20
2.1 Procedimiento para la realización de ingeniería inversa.....	20
2.1.1 Metodología para realizar ingeniería inversa al hardware.....	21
2.1.2 Ingeniería Inversa del software.....	22
2.2 Maqueta demostrativa. Partes y componentes fundamentales .....	23
2.2.1 Autómata TM251MESE y sistema de gestión del motor .....	24
2.2.2 Pantalla tipo Magelis .....	26

2.2.3	Variador de frecuencia.....	27
2.2.4	Motor de inducción electromagnética.....	28
2.2.5	Contactores y breaker .....	29
2.2.6	Disyuntores .....	31
2.2.7	Relé .....	31
2.2.8	Pulsadores .....	32
2.2.9	Selectores .....	33
2.2.10	Potenciómetro .....	34
2.3	Software empleado.....	34
2.4	Funcionamiento de la maqueta demostrativa.....	35
2.5	Consideraciones del capítulo.....	36
CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....		37
3.1	Relación de componentes de la maqueta .....	37
3.2	Conexiones eléctricas y de comunicaciones del M251 y del Altivar.....	37
3.3	Análisis del programa .....	38
3.3.1	Tabla de variables. ....	38
3.3.2	Declaración de variables globales y locales. ....	39
3.4	Valoración económica e impacto medioambiental .....	42
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		43
Conclusiones .....		43
Recomendaciones .....		43
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		44
ANEXO .....		48
Anexo I	Principales características del TM251MESE .....	48

Anexo II	Principales especificaciones del LTMR08MBD.....	53
Anexo III	Principales especificaciones de la pantalla tipo Magelis .....	56
Anexo IV	Principales especificaciones del Altivar 61.....	59
Anexo V	Conexiones generales de la maqueta.....	67
Anexo VI	Conexiones eléctricas y de comunicaciones del PLC M251 .....	68
Anexo VII	Conexiones de eléctricas y de comunicación del Altivar 61.....	69
Anexo VIII	Programación estructurada en el POU .....	70

## INTRODUCCIÓN

Las maquetas demostrativas juegan un importante papel en la didáctica para impartir la docencia pues sirven de entrenamiento en temas de control automático. Las maquetas de forma general pueden clasificarse en dos grupos: modelos educacionales y plantas pilotos (Domínguez et al., 2010a)

-Plantas pilotos: son plantas de proceso a escala reducida, algunos ejemplos de plantas pilotos a escala de laboratorio se muestran en (Granado et al., 2010). Estas plantas cuentan con instrumentación con capacidad de comunicación (sensores, actuadores) y pueden ser controladas por Autómatas Programables (PLC), Sistemas de Control Distribuidos (SCD) o por Tarjetas de Adquisición de Datos y Computadoras (PC). Las mismas permiten la realización de prácticas de gran envergadura, como proyectos de automatización con buses de campos, SCADA, etc. Las maquetas de laboratorios para sistemas de control, surgen por la necesidad de enseñar, entrenar e investigar en un ambiente seguro y para probar nuevas variantes del control, así como para la realización de experimentos que puedan poner en riesgo la seguridad y estabilidad de un sistema de control. Se permite así avances importantes en el desarrollo industrial, sin necesidad de detener los procesos reales, ya que estas maquetas permiten recrear de manera aceptable la realidad que puede encontrarse en el sector industrial (Granado et al., 2010).

-Modelo educacional: es un equipo el cual se conecta a una PC, para ser manejado desde algún software utilizado para el control como Matlab, Simulink, Labview, etc. En esta clasificación se pueden incluir los modelos educativos de la Humusoft y Quanser. Con estos equipos es posible la realización de numerosos experimentos, como por ejemplo: la identificación y obtención de modelos (lineales o no-lineales), diseño de controladores, entre otros.

La maqueta Schneider se encuentra en el grupo de maquetas de modelos educativos. Se conecta a dispositivos electrónicos, porque cuenta con módulos de comunicación para esto.

La firma Schneider Electric dona una maqueta demostrativa de Eficiencia Energética al departamento de Automática de la Facultad de Ingeniería Eléctrica (FIE) de la Universidad Central de las Villas Marta Abreu (UCLV). La misma está conformada por un autómatas M251, un variador de frecuencia Altivar 61, una pantalla tipo Magelis, un motor de inducción electromagnética de la Electro Adda, contactores LP4K y LP5K y las protecciones y botoneras correspondientes. Todos los componentes están bien distribuidos en la maleta contenedora y correctamente identificados.

En este tipo de maquetas los motores son un elemento fundamental, pues se controla la velocidad de estos. Los motores son ampliamente utilizados en la industria moderna debido a sus buenas características de rendimiento y a su baja contaminación. Estos suelen trabajar a velocidades variables para obtener la máxima productividad en cada momento así como un importante ahorro energético. Por lo tanto es necesario controlar la velocidad para este tipo de máquinas. En el caso de esta maqueta se usa el variador de velocidad y se usa el TM251MESE que trabaja con el variador o se puede actuar directamente con él.

El entrenador de la maqueta tiene dos modos de trabajo fundamentales: manual y automático. El modo manual permite operar de forma directa el motor. El modo automático no funciona correctamente, esto se debe a que el autómatas carece del programa que permite el funcionamiento correcto de la maqueta cuando se inicia esta investigación.

Esto junto a la falta de documentación de la maqueta hace imposible poner en marcha la maqueta demostrativa, por tal razón era necesario hacer un estudio general de la maqueta, sobre la base de la ingeniería inversa. Con la realización de este estudio donde se van a caracterizar todos los elementos se va a dotar a los estudiantes de Automática de mayor preparación a la hora de enfrentarse a esta, para así poder complementar conocimientos adquiridos en diferentes asignaturas como, Medios Técnicos de Automatización, PLC, Mediciones, Control de Procesos, Sistema de Mediciones, Máquinas Eléctricas y Accionamiento Eléctrico.

Para un análisis del equipo es necesario tener en cuenta los principios que rigen la ingeniería inversa. El objetivo principal de la realización de este procedimiento es proporcionar una

base para el mantenimiento y futuros desarrollos (Monroy et al., 2012), es decir que al aplicarle este procedimiento a la maqueta de eficiencia energética se facilita su utilización y se proporciona documentación que no existe.

Por tal razón la situación problemática de este trabajo es la falta de documentación referida a la maqueta demostrativa de eficiencia energética que unido a la ausencia del programa del autómatas, hace imposible explicar el mal funcionamiento de la maqueta en modo automático.

**Objetivo general:**

- Realizar un estudio al hardware y software de la maqueta demostrativa de eficiencia energética basado en la metodología de ingeniería inversa.

**Objetivos específicos:**

- Identificar en la literatura especializada las principales tendencias en el diseño de maquetas demostrativas.
- Caracterizar los elementos de hardware y software presentes en la maqueta.
- Confeccionar el diagrama eléctrico y el diagrama de comunicaciones entre los elementos de la maqueta.
- Analizar el programa del PLC M251 de la maqueta demostrativa de Eficiencia Energética.
- Confeccionar un documento técnico que facilite la puesta en marcha, operación y mantenimiento de la maqueta demostrativa de Eficiencia Energética de la firma Schneider Electric.

**Organización del informe**

El presente informe de la investigación se estructura inicialmente con una introducción, el desarrollo se ha organizado en los tres capítulos siguientes:

**Capítulo I:** Se abordan los aspectos fundamentales respecto a la temática de ingeniería inversa a partir del análisis de la bibliografía. Se realiza un enfoque en la situación actual de tecnología Schneider y de las maquetas demostrativas en general.

**Capítulo II:** Se realiza una caracterización de todos los elementos que forman la maqueta, así como se ve el funcionamiento general de la maqueta demostrativa.

**Capítulo III:** Se muestran los esquemas eléctricos y los diagramas de comunicaciones de la maqueta. Se muestra un análisis del programa del PLC. Se valora el impacto económico y medioambiental de la propuesta.

Por último, se definen las conclusiones finales y las recomendaciones para investigaciones futuras, seguidas de las referencias bibliográficas y los anexos, que permiten comprender mejor lo planteado en la memoria escrita.

## **CAPÍTULO 1. FUNDAMENTOS TEORICOS DE LA INGENIERÍA INVERSA EN MAQUETAS DEMOSTRATIVAS.**

Para la puesta en marcha, operación y mantenimiento de la maqueta demostrativa de eficiencia energética es necesario contar con las herramientas necesarias y un profundo conocimiento de sus características estructurales y funcionales fundamentales. Para tener estas características es necesario realizar un análisis de esta, para lo cual se disecciona y estudia la maqueta para conocer todas sus conexiones. El equipo se analiza en orden inverso establecido en el ciclo de vida habitual, lo que es compatible con el término de ingeniería inversa.

A través del estudio de la maqueta se debe lograr un entendimiento general de la funcionalidad del sistema. Es decir que se tiene que saber explicar las tareas de equipo, es decir su funcionamiento, desarrollo e implementación (Jiménez et al., 2006).

### **1.1 Ingeniería inversa**

La necesidad de la ingeniería inversa emerge de problemas operacionales reales en el actual sistema como por ejemplo errores debido a la mala calidad de software, al alto costo del mantenimiento debido a la carencia de documentación y a nuevos requerimientos de los usuarios (Acosta, 2013).

La ingeniería inversa es un proceso de examinación y no involucra cambiar el sistema, es considerada como un subproceso de la reingeniería, al cual si implica la modificación del sistema. En las últimas décadas la ingeniería inversa ha evolucionado, lo que posibilita un continuo mejoramiento de los procesos de construcción de software. Permite a las personas tener una imagen clara del sistema con el que se está trabajando; disminuye así la posibilidad de error al facilitar la verificación de la coherencia entre el código desarrollado y la

arquitectura propuesta. Facilita a su vez el mantenimiento y el conocimiento. Esto se evidencia en el surgimiento de un número cada vez más amplio de herramientas de ingeniería inversa que ofrecen múltiples funcionalidades (Reyes y de las Mercedes, 2014).

La ingeniería inversa constituye un método de resolución, es denominada así porque avanza en dirección opuesta a las tareas habituales de la ingeniería. La aplicación de esta a determinado sistema o producto supone la profundización en el estudio de su funcionamiento, hasta el punto que se puede llegar a entender, modificar y mejorar dicho modo de funcionamiento (Mason et al., 2013).

Es el proceso de descubrir los principios tecnológicos de un dispositivo, objeto o sistema, a través de razonamiento abductivo de su estructura, función, forma y operación. Permite obtener la base de fabricación, programación, instalación o concepción de cualquier objeto, software o proceso. Por tanto con este método se estudia al sistema, que en este caso es la maqueta demostrativa de eficiencia energética, pero en el orden inverso establecido en su ciclo de vida habitual; esto es, partiendo del código fuente, tratar de identificar los componentes del sistema y las relaciones existentes entre ellos (Keller et al., 1999).

Existen diversas tecnologías similares para realizar este proceso, aunque la base fundamental de ellas es la misma en todos los casos: Obtener datos del objeto sobre el que queremos realizar la ingeniería inversa, y poderlos manipular y tratar hasta ser capaces de reproducir dicho objeto mediante la tecnología de fabricación más adecuada en cada caso (Monroy et al., 2016).

La ingeniería inversa se ve aplicada tanto al software como al hardware. Tiene sus orígenes en el mundo del hardware. Un clásico ejemplo de esto se ve cuando determinada empresa desensambla un producto perteneciente a una empresa rival, así se comprenden las características estructurales y funcionales fundamentales del producto de la competencia, es decir, los secretos del diseño y de la fabricación de este (Juárez et al., 2007). La ingeniería inversa del software es bastante similar; si bien, en la mayoría de los casos el producto objeto de la misma no es de una empresa de la competencia sino, más bien, se trata de un trabajo propio, que por lo general se ha realizado muchos años atrás, y del que no existen especificaciones o éstas son muy incompletas (Müller et al., 2000).

Concluyendo la ingeniería inversa es el proceso de analizar un sistema para identificar sus componentes e interrelaciones entre los mismos y crear representaciones del sistema a un alto nivel de abstracción (Acevedo y Puma, 2007).

### **1.1.1 Elementos de la ingeniería inversa**

Se realiza mediante herramientas que extraen información de los datos, procedimientos y arquitectura del sistema o dispositivo existente. Puede extraer información del diseño del código fuente, pero el nivel de abstracción, la completitud de la documentación, la interactividad y la direccionalidad del proceso son sumamente variables. Estos constituyen los elementos a tener en cuenta cuando se realiza este proceso (Ricse and Falcón, 2007).

Tiene 4 elementos fundamentales que se desatacan a continuación (Cruz Ocampo, 2012):

#### -El nivel de abstracción:

El nivel de abstracción y las herramientas que se utilizan para realizarlo se refiere a la modernización de la información de diseño que se puede extraer del código fuente. El nivel de abstracción ideal debe ser lo más alto posible. El proceso tiene que ser capaz de derivar sus representaciones de diseño de procedimientos y la información de las estructuras de datos y de programas; modelos de flujo de datos y de control; y modelos de entidades y de relaciones. A medida que crece el nivel de abstracción se proporciona al ingeniero del software información que le permite comprender más fácilmente estos programas.

#### -La completitud:

La completitud de un proceso de ingeniería inversa se refiere al nivel de detalle que se proporciona en un determinado nivel de abstracción. En la mayoría de los casos, la completitud decrece a medida que aumenta el nivel de abstracción. También se pueden derivar representaciones sencillas del flujo de datos, pero es mucho más difícil desarrollar un conjunto completo de diagramas de flujo de datos o un diagrama de transición de estados. La completitud mejora en proporción directa a la cantidad de análisis efectuado por la persona que está efectuando la ingeniería inversa.

#### -La interactividad:

La interactividad alude al grado con el cual el ser humano se integra con las herramientas automatizadas para crear un proceso de ingeniería inversa efectivo. En la mayoría de los

casos, a medida que crece el nivel de abstracción, la interactividad debe incrementarse, o sino la completitud se ve reducida.

#### -La direccionalidad:

Si la direccionalidad del proceso de ingeniería inversa es mono-direccional, toda la información extraída del código fuente se proporciona a la ingeniería del software que puede entonces utilizarla durante la actividad de mantenimiento. Si la direccionalidad es bidireccional, entonces la información se suministra a una herramienta de reingeniería que intenta reestructurar o regenerar el viejo programa.

#### **1.1.2 Importancia de la ingeniería inversa**

El objetivo principal de la realización del procedimiento de la ingeniería inversa es proporcionar una base para el mantenimiento y futuros desarrollos (Monroy et al., 2012), es decir que al aplicarle este procedimiento a la maqueta de eficiencia energética se facilita su utilización, se proporciona documentación que no existe, de existir problemas como es el caso, se va a migrar a otra plataforma de hardware o software si es necesario

Siendo aplicada esta tiene grandes beneficios (Cuesta et al., 2005):

- Disminuye los costos de mantenimiento.
- Mejora la calidad del software.
- Aporta una mayor ventaja competitiva.

#### **1.1.3 Aplicaciones de la ingeniería inversa**

La ingeniería inversa es aplicable a equipos con las siguientes características(Jiménez et al., 2007) :

- Falta de documentación o la que se tiene está obsoleta.
- Inexistencia de documentación interna de los programas, o que sea incomprensible o desfasada.
- Se prevé que el equipo tenga una vida útil prolongada.

La primera actividad real de la ingeniería inversa comienza con un intento de comprender y extraer después abstracciones de procedimientos representadas por el código fuente. Para comprender las abstracciones de procedimientos, se analiza el código en distintos niveles de

abstracción: sistema, programa, componente, configuración y sentencia. La funcionalidad general de todo el sistema de aplicaciones debe ser algo que se comprenda lo mejor posible antes de que tenga lugar un trabajo de ingeniería inversa más detallado. Esto establece un contexto para un análisis posterior, y se proporcionan ideas generales acerca de los problemas de interoperabilidad entre aplicaciones dentro del sistema. Cada uno de los programas de que consta el sistema de aplicaciones representa una abstracción funcional con un elevado nivel de detalle. También se crea un diagrama de bloques como representación de la iteración entre estas abstracciones funcionales. Cada uno de los componentes efectúa una sub-función, y representa una abstracción definida de procedimientos. En algunas situaciones ya existen especificaciones de sistema, programa y componente. Cuando ocurre tal cosa, se revisan las especificaciones para preciar si se ajustan al código existente. Todo se complica cuando se considera el código que reside en el interior del componente. El ingeniero busca las secciones de código que representan las configuraciones genéricas de procedimientos. En casi todos los componentes, existe una sección de código que prepara los datos para su procesamiento (dentro del componente), una sección diferente de código que efectúa el procesamiento y otra sección de código que prepara los resultados del procesamiento para exportarlos de ese componente. En el interior de cada una de estas secciones, se encuentran configuraciones más pequeñas (Cuesta et al., 2005).

Por ejemplo, suele producirse una verificación de los datos y una comprobación de los límites dentro de la sección de código que prepara los datos para su procesamiento. Para los sistemas grandes, la ingeniería inversa suele efectuarse mediante el uso de un enfoque semiautomático.

La ingeniería inversa de datos suele producirse a diferentes niveles de abstracción. En el nivel de programa, es frecuente que sea preciso realizar una ingeniería inversa de las estructuras de datos internas del programa, como parte del esfuerzo general de la reingeniería. En el nivel del sistema, es frecuente que se realice una reingeniería de las estructuras globales de datos (por ejemplo: archivos, bases de datos) para ajustarlas a los paradigmas nuevos de gestión de bases de datos (por ejemplo, la transferencia de archivos planos a unos sistemas de bases de datos relacionales u orientados a objetos). La ingeniería inversa de las estructuras de datos globales actuales establece el escenario para la introducción de una nueva base de datos que abarque todo el sistema (Ricse and Falcón, 2007).

Es utilizada para propósitos de rediseño, puede ser utilizada por otras razones, al menos cinco motivaciones detrás de la de un producto son (Camp y Camp Robert, 1995):

- *Benchmarking*.
- Evaluación y estudio crítico del producto de un competidor.
- Mejoramiento de la calidad.
- Reducción de costos.
- Comprensión de su funcionamiento.

A menudo la ingeniería inversa es utilizada para estudiar el producto de un competidor por razones diferentes al *benchmarking*. Otro incentivo para realizarla es la valoración de mejoras en la calidad o reducción de costos; estas evoluciones pueden ser a nivel de subsistema, configuración, componente o perimétrico. Una última posible motivación para realizar este proceso puede ser solo para entender el sistema o dispositivo al que se le está aplicando (López y Ramiro, 2011).

La ingeniería inversa involucra el metódico desarme y desensamble de un dispositivo, teniendo cuidado de documentar, evaluar y reportar sobre el estudio de su función; como valor agregado de este proceso se desprenden las modificaciones o mejoras que se hagan al equipo como resultado del ejercicio (Lopez 2010).

#### **1.1.4 Areas de la ingeniería inversa**

Las áreas juegan un papel importante en este proceso. La re-documentación constituye una de estas, que no es más que la creación o revisión de una representación equivalente semánticamente dentro del mismo nivel de abstracción relativo. Los formularios resultantes de representación son consideradas vistas alternativas (por ejemplo: diagrama de flujo, estructura de datos, flujo de control).

La otra área es la recuperación del diseño. Esta es un subconjunto de la ingeniería inversa, en el cual, aparte de las observaciones del sistema, se añaden conocimientos sobre su dominio de aplicación, información externa, y procesos deductivos con el objeto de identificar abstracciones significativas a un mayor nivel (Monroy et al., 2012).

## 1.2 Maquetas demostrativas

Las maquetas demostrativas de eficiencia energética presentan por lo general un autómatas, un motor y un variador de frecuencia, de allí que se relacionen con el control de motores, que constituye una parte importante en los procesos productivos y los sistemas de automatización. El consumo de corriente del motor de estas se ve en una HMI (*Human Machine Interface*). El objetivo del control del motor es la búsqueda de buenas características de rendimiento y una baja contaminación (Comas Codina, 2015).

Los proyectos de maquetas demostrativas representan una herramienta de vital importancia para los estudiantes. Tienen como finalidad el complementar la calidad de estudio. Con la implementación de estos módulos didácticos se refuerza el nivel práctico e instrumental en el área de las instalaciones industriales de los estudiantes todo esto gracias a la gama de opciones y variedades que brindan las maquetas demostrativas. Esto permite determinar múltiples parámetros eléctricos, implementar prácticas específicas diseñadas al alcance de este módulo didáctico. Se logra así que los conocimientos técnicos adquiridos puedan ser implementados por los estudiantes y se interactúe con lo que la industria ofrece (Domínguez et al., 2010b).

En la Universidad Nacional de Loja los estudiantes se involucran de manera práctica con el conocimiento y perfeccionamiento de tecnologías de automatización industrial. Aquí se realizan estudios sobre el diseño, construcción, montaje y supervisión de maletas con autómatas programables (Fernández Vallejo et al., 2013) .

El área de Automática y Control del instituto Automática y Fabricación de la Universidad de León desarrolla maquetas industriales de procesos para fines didácticos y de investigación. La finalidad de este tipo de instalaciones es doble: de una parte, acercar a los alumnos a la realidad industrial mediante el manejo de equipos y sistemas involucrados en un proceso industrial; de otra, incorporarlas, mediante conexión a Internet, a un Laboratorio Remoto y Distribuido, que permita su utilización de forma deslocalizada. Se favorece así un aprendizaje mucho más activo y abriendo nuevas expectativas a la formación (Orellana, n.d.).

También se trabaja en el diseño e implementación de módulos didácticos para el control de motores que utilizan variadores de velocidad para el control, que se define como un campo de aplicación de la automatización en procesos industriales. El desarrollo de este tipo de

proyectos se gestiona con el objetivo de actualizar los laboratorios de automatismo y controles industriales con tecnología de punta. Con esto se fortalece los conocimientos en Automatización y Sistemas Industriales.

En el ámbito académico existe también el desarrollo de maquetas demostrativas en universidades. En el laboratorio de Automatismo de la carrera de Ingeniería Electrónica de la Universidad Politécnica Salesiana con sede en Guayaquil se diseña e implementa maquetas didácticas con mini PLC Logo y Zelio para aplicaciones de arranque e inversión de giro de motores. Esto representa el diseño e implementación de tres módulos didácticos de pruebas para que los estudiantes fortalezcan sus conocimientos teóricos en la parte práctica (Espeleta Rios, 2013).

Compañías como la Siemens, OMRON, Endress Hauser se dedican a la producción de maquetas demostrativas. Estas empresas son capaces de diseñar y construir maquetas para funciones demostrativas y educativas. En el caso de la Siemens un ejemplo de esto lo constituye la maqueta para el control mediante PROFIBUS de un motor asíncrono; usando un variador de frecuencia Micromaster 420 mediante un PLC S7-300 de Siemens con TIA Portal, como se aprecia en la figura 1.1.



Figura 1.1. Maqueta demostrativa con un variador de frecuencia Micromaster 420 mediante un PLC S7-300 de Siemens con TIA Portal.

El trabajo con maquetas demostrativas facilita la apropiación de conceptos que pueden ser abstractos. Estas actividades favorecen la explicitación de ideas y conocimientos que después

mediante el contraste, se modifican y reelaboran. Esto se convierte en una herramienta que promueve la formación de estudiantes con pensamiento crítico y se desarrollan habilidades para que los estudiantes propongan soluciones (Gómez et al., 2006).

### **1.3 Actualidad de la tecnología Schneider**

La firma Schneider Electric constituye una compañía proveedora de soluciones adaptadas a los clientes, esta apuesta por la formación, innovación y el desarrollo de productos y servicios que permitan la satisfacción de las más exigentes necesidades de los clientes de la firma. Se debe decir que la colaboración y el servicio de calidad le permiten a la compañía disponer de una gama amplia de equipos adaptados a los diferentes sectores de la educación, formación profesional de grado medio y superior, la universidad, formación ocupacional, formación del profesorado y formación interna industrial (Vera et al., 2005).

La firma Schneider Electric es la especialista mundial en la administración de energía, ofrece soluciones integradas para hacer la energía segura, confiable, eficiente y productiva para los mercados de Energía e Infraestructura, Industria, Centros de Administración de Datos y Redes, Edificios y Residencial. (Schneider Electric, 2014a).

Además esta firma a través de la capacitación tiene como objetivo vincularse con distintos niveles de educación y universidades con el fin de acortar la brecha tecnológica entre el sector productivo eléctrico y el sector educativo (Ramos Parra, 2014). Un ejemplo de lo que hace la Schneider Electric es la inauguración de laboratorios con Maquetas de Instrumentación y PLC M221. Se trabaja con el módulo de instrumentación con la finalidad que los alumnos puedan conocer el principio de funcionamiento de los principales sensores que se encuentran en la industria. Esta cuenta con sensores capacitivo, inductivo, fotoeléctrico, de límite de carrera, ultrasónico, además de contar con Baliza, Electroválvula y equipo para el control y la señalización. La maqueta cuenta con un sistema probador de sensores lo que permite que los alumnos aprendan a diferenciar según cantidad de hilos que poseen los sensores y si son del tipo PNP o NPN (Parraguez, 2017).

#### **1.3.1 Ejemplos de maquetas demostrativas**

Existe una amplia gama de maquetas demostrativas de la Schneider Electric, con diferentes aplicaciones. Dentro de las principales maquetas se destacan:

-Maqueta de demostración: Protecciones diferenciales:

Equipo de demostración sobre protección diferencial que permite, de forma práctica, demostrar los efectos de la corriente eléctrica sobre el cuerpo humano (Permite experimentar directamente corrientes de hasta 10mA). Presenta tres modos de demostración (Experimentación directa de corriente entre 1 y 10mA, indicación de los efectos de una fuga eléctrica sin protección diferencial y la simulación de funcionamiento de la protección diferencial mediante un selector que permite simular condiciones de humedad, su influencia en la fuga y la actuación de la protección).

-Maqueta de demostración: Sistemas de Señalización y Accesos:

Equipo de demostración sobre señalización luminosa y acústica XV y control de accesos XB, de la gama Harmony, de Schneider Electric (Méndez et al., n.d.).



Figura 1.2. Maqueta de demostración: Sistemas de Señalización y Accesos.

-Maqueta de demostración de Gestión de Energía:

El equipo incluye un módulo de monitorización y mando de cuadros eléctricos Smartlink IP, con capacidades de monitorización, mando y notificación de incidencias programables por el usuario; interfaz IFE para la comunicación con equipos Micrologic. Está provista de un servidor Web con capacidades de comunicación con equipos de la firma Schneider Electric

para el control y distribución de energía; contador de energía IEM3155, comunicable vía modbus con el Smartlink IP; interfaz de comunicación para sistemas ULP; medida de energía mediante contadores de pulsos y sistemas de mando remotos RCA, Reflex e IACT (Luna et al., 2016).



Figura 1.3. Maqueta de demostración de Gestión de Energía.

-Maqueta para formación en servocontroles.

En este ejemplo, las partes móviles están protegidas por una tapa transparente y el mando se encuentra en una placa soporte de aluminio. El bastidor de soporte permite ajustes en profundidad para albergar diferentes equipos (Autómatas, motores de AC de 50W, variadores). Las medidas son 350\*400\*300mm, aunque pueden adaptarse a requerimientos específicos (Collado, 2017).

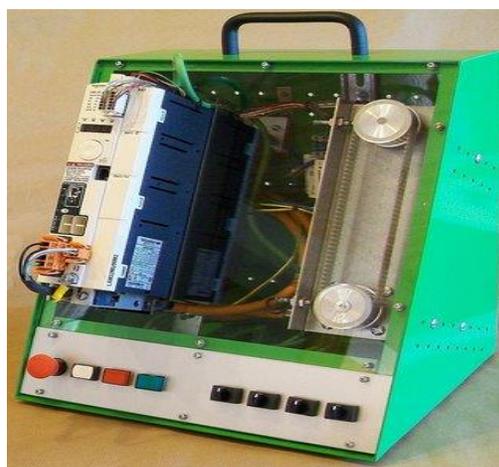


Figura 1.4. Maqueta para formación en servocontroles.

-Maqueta de demostración de monitorización y mando:

Equipo de demostración de monitorización y mando de cuadros eléctricos mediante el sistema Smartlink de la Schneider Electric. Permite mostrar las prestaciones del sistema Smartlink para poder supervisar y controlar cuadros de distribución eléctrica de forma remota. El equipo mostrado dispone de un panel de visualización HMI-STU con conexión Wireless, esto permite mando remoto mediante móvil o Tablet. Este es modelo ligero y de fácil transporte (Moreno, 2016)



Figura 1.5. Maqueta de demostración de monitorización y mando.

-Maqueta de demostración de protección de cuadros eléctricos:

Equipo de demostración sobre material para protección de circuitos eléctricos contra transitorios de alta tensión basados en la serie Acti9 de Schneider Electric (IPRD y Easy9). Mediante un generador de alta tensión permite demostrar la efectividad supresora de estos elementos de protección de cuadros eléctricos que dependen de ellos (Páez et al., 2010).



Figura 1.6. Maqueta de demostración de protección de cuadros eléctricos.

-Simuladores y adaptadores para señales de PLC:

Placas de simulación de señales de PLC por encargo. Esta consta de una placa de simulación de señales para autómatas M238. Se conecta directamente al autómata (parte inferior) y permite simular las señales digitales (“0” o “1”). El conector superior permite la conexión directa de señales de campo para transferirlas directamente al autómata (entonces, los selectores permiten forzar señales para provocar averías) (Recanzone et al., 2013).



Figura 1.7 Simuladores y adaptadores para señales de PLC.

-Maqueta demo Variador de Frecuencia:

Permite la demostración de las capacidades de un equipo de variación de frecuencia según requerimientos del cliente. Dispone de conexión para comunicaciones, simuladores para las

entradas digitales y analógicas, toma de 24V DC auxiliar, e indicadores de estado de las señales de salida del equipo (Fernández Vallejo et al., 2013).



Figura 1.8. Maqueta demo Variador de Frecuencia.

-Maqueta para formación en control de clima:

Maqueta de simulación de un sistema de control de clima para aplicaciones de control de edificios y eficiencia energética de Schneider Electric, mediante equipamiento de su gama de control de edificios TAC. Permite programar el control de un FanCoil o Climatizador y emular el comportamiento real de la climatización de una sala (Guzmán et al., 2010). (Fernández Vallejo et al., 2013)



Figura 1.9. Maqueta para formación en control del clima.

Como se ve compañía tiene un amplio grupo de maquetas, lo que muestra que la firma Schneider Electric es un especialista global en la gestión de la energía, así como un socio ecológico en todas las partes del ciclo de Eficiencia Energética.

#### **1.4 Consideraciones del capítulo**

La técnica de ingeniería inversa a emplear para realizar el estudio de la maqueta demostrativa es muy provechosa pues permite valorar las bondades del proceso de ingeniería en términos de orden, nivel de documentación y calidad del producto final. El procedimiento propuesto es útil y fácil de aplicar. También va a influir el conocimiento previo que se tiene sobre Automatas, Máquinas Eléctricas y Accionamiento Eléctrico.

Como se puede ver la ingeniería inversa es una disección del equipo. Es una metodología de rediseño. Esto significa que es un proceso de diseño que puede ser aplicado a un producto existente, a un prototipo o un concepto detallado. Este es un proceso que utiliza una variedad de técnicas en forma de modelos, esquemas, pautas y teorías normativas para diseccionar y entender completamente el equipo. Formulada concisamente, la ingeniería inversa inicia el proceso de rediseño del dispositivo, donde este es observado, desensamblado, analizado y documentado en términos de su funcionalidad, forma, principios físicos, manufactura y ensamblaje. La intención inicial de este proceso es entender y representar completamente el estado actual del producto. También con este método se va a mejorar el diseño de la maqueta, para producir una calidad de desempeño superior.

En cuanto a las tecnologías que se dedican a la producción de maquetas se puede ver que la firma Schneider Electric es la líder mundial, con una amplia gama de maquetas demostrativas, aunque se pudo ver que la Siemens también se dedica a la producción de maquetas demostrativas con PLC, motores de inducción y variadores de frecuencia.

## **CAPÍTULO 2. MATERIALES Y MÉTODOS**

Para la puesta en marcha de un sistema se debe realizar un estudio lo más detallado posible. Es necesario contar con una base teórica que sustente las especificaciones y peculiaridades del equipo.

En este capítulo se abordan aspectos relacionados con el procedimiento para realizar la ingeniería inversa y se caracterizan todos los dispositivos que la maqueta posee y el funcionamiento general de esta.

### **2.1 Procedimiento para la realización de ingeniería inversa**

El término ingeniería inversa incluye cualquier actividad que se realice para determinar cómo funciona un producto. Es un enfoque sistemático para analizar el diseño de dispositivos o sistemas existentes. Este método constituye una investigación de productos o elementos, que puede ser considerada como una metodología de rediseño de un producto, lo que representa un proceso de diseño que puede aplicar a un elemento existente o ya elaborado, a un prototipo o un concepto detallado. Es un proceso que utiliza una variedad de técnicas en forma de modelos, esquemas, pautas y teorías normativas para diseccionar y entender completamente un producto. Esta inicia el proceso de rediseño de un producto, donde es observado, desensamblado, analizado y documentado en términos de su funcionalidad y aplicabilidad (Monroy et al., 2013).

Algunos usos de la ingeniería inversa son (Acosta, 2013):

- Investigar, analizar y comprender la tecnología empleada.
- Desarrollar productos que sean compatibles con otros, los cuales no se tienen acceso a detalles técnicos.

- Comprobar la seguridad de un producto, en diseño, para conocer los factores de seguridad tenidos en cuenta en la construcción de este componente.

Este método parte de un objeto de trabajo, de un sistema o de componentes. Su función es conocerlo más de lo que al principio se conocía. En este sentido la ingeniería inversa es analítica. De esta forma debe responder a los siguientes cuestionamientos:

- ¿Qué es el objeto, sistema o equipo con el que se trabaja?
- ¿Cuál o cuáles son las formas del equipo?
- ¿De qué está hecho el equipo?
- ¿Cómo funciona el equipo?

Lo importante del equipo son sus características, en otras palabras, sus propiedades. El concepto es una abstracción del objeto y, por ello manipulable, operable y, en consecuencia transformable. El motivo de la investigación de esta es un problema; es la satisfacción de una necesidad y la función es determinar si existe solución o no de dicho problema (Cuesta et al., 2005).

### **2.1.1 Metodología para realizar ingeniería inversa al hardware**

Por otro lado, la Ingeniería Inversa tiene una metodología la cual está asociada con su definición. Antes de que el proceso comience, la intención debe determinarse. Saber exactamente cuál será el uso final del proyecto es parte vital de este proceso. Para el logro de resultados óptimos de la manera más eficiente, esto debe determinarse. De lo contrario el proceso puede consumir mucho tiempo y ser bastante ineficiente. A continuación se muestran los pasos para realizar la ingeniería inversa al hardware de un equipo:

Pasos para la realización de la ingeniería inversa al hardware de un sistema (Monroy et al., 2013):

- 1-Observar y evaluar los mecanismos que hacen que el dispositivo funcione.
- 2-Diseccionar y estudiar el funcionamiento interno del dispositivo mecánico.
- 3-Desarrollar diagramas de bloque de la pieza y los esquemas eléctricos y de comunicaciones.
- 4-Comparar el equipo real con las observaciones obtenidas y sugerir mejoras.

### 2.1.2 Ingeniería Inversa del software

En cuanto al software se debe decir que el PLC M251 carecía del programa, Debido a que no hay un documento que especifique cómo es exactamente el proceso de realización de ingeniería inversa, cada ingeniero que desee realizar este proceso propone su propia metodología. El instituto de ingeniería de software propone un marco de trabajo para llevarlo a cabo.

Etapas de la metodología propuesta para la realización de ingeniería inversa (López and Ramiro, 2011):

- Estudio del sistema existente.

En esta etapa se logra un entendimiento general de la funcionalidad del sistema, antes de que este sea sometido al proceso de ingeniería inversa. Lo que se pretende en esta etapa, es lograr un entendimiento general de la funcionalidad del sistema, antes de que éste sea sometido al proceso de ingeniería inversa. Se deben explicar las tareas del sistema, su funcionamiento, desarrollo e implementación.

- Recuperación arquitectónica.

El uso de la ingeniería inversa para reconstruir los aspectos arquitectónicos del software puede referenciarse como redocumentación estructural o recuperación arquitectónica. Como resultado, se deriva la visión global del sistema de interés y se pueden recapturar algunos aspectos de su diseño arquitectónico. Aquí todos los detalles de diseño e implementación ya están definidos, de esta manera el límite entre el análisis y el diseño es bastante difuso.

- Documentación de tareas y funciones del sistema

En este documento se especificara la forma de interactuar entre los usuarios del sistema y el sistema bajo estudio:

-Ingeniería inversa para comprender el procesamiento

La primera actividad real comienza con un intento de comprender y extraer después abstracciones de procedimientos representadas por el código fuente. Para la comprensión de las abstracciones de procedimientos, se analiza el código en distintos niveles de abstracción:

sistema, programa, componente, configuración y sentencia. La funcionalidad general de todo el sistema de aplicaciones deberá ser algo perfectamente comprendido antes de que tenga lugar un trabajo de ingeniería inversa más detallado.

Cada uno de los programas de que consta el sistema de aplicaciones representa una abstracción funcional con un elevado nivel de detalle. También se crea un diagrama de bloques como representación de la iteración entre estas abstracciones funcionales. Cada uno de los componentes efectúa una sub-función, y representa una abstracción definida de procedimientos. En cada componente se crea una narrativa de procesamiento. En algunas situaciones ya existen especificaciones de sistema, programa y componente. Cuando ocurre tal cosa, se revisan las especificaciones para preciar si se ajustan al código existente.

## 2.2 Maqueta demostrativa. Partes y componentes fundamentales

La maqueta demostrativa de eficiencia energética está conformada por un autómata M251, un variador de frecuencia Altivar 61, un analizador de red, una pantalla tipo Magelis, un motor de inducción electromagnética y las protecciones y botoneras correspondientes. Como se ve en la figura 2.1 todos los componentes están correctamente distribuidos en la maleta contenedora y correctamente identificados.



Figura 2.1. Maqueta demostrativa de eficiencia energética de la firma Schneider Electric.

Para mostrar los principales componentes de la maqueta demostrativa se presenta la siguiente tabla con las respectivas referencias de cada uno:

Tabla 2-1: Principales componentes de la maqueta demostrativa con sus referencias

<b>Componentes</b>	<b>Referencias</b>
Autómata TM251MESE	TWDLMDA20DRT y TWDN0Z232D
Analizador de red (Motor Management System)	LTMR08MBD
Variador de frecuencia Altivar 61	ATV61H075M3
Motor de inducción electromagnética	-
Pantalla Magelis	XBTRT511
Contactores	LP4K0610BW3 y LP5K0610BW3
Breaker	GV2L08

### 2.2.1 Autómata TM251MESE y sistema de gestión del motor

Un autómata programable o PLC (*Programmable Logic Controller*) es una máquina electrónica programable diseñada para el almacenamiento interno de instrucciones orientadas al usuario. Es para implantar soluciones específicas tales como funciones lógicas, secuencias, temporizaciones, recuentos y funciones aritméticas, con el fin de controlar mediante entradas y salidas, digitales y analógicas, diversos tipos de máquinas y procesos.

El autómata presente en la maqueta es el TM251MESE que se encarga de la realización de procesos secuenciales. Monitoriza entradas y salidas y toma decisiones lógicas para automatizar el proceso. Su lenguaje de programación es en bloque; por lo que se programa sin mucha dificultad. Es modular lo que permite añadir módulos (E/S digitales, Analógicas, comunicación, pesaje o temperatura) en caso de necesidad (Schwager et al., 2011).

Dentro de sus principales características están (Schneider et al., 2012):

- Voltaje de alimentación asignada 24V DC.
- Número de entrada/salida del módulo de expansión: 7 con local *I/O architecture* y 14 con remoto *I/O architecture*.
- Corriente de entrada menor o igual a 50A.
- Capacidad de memoria 8MB para programa y 64MB del sistema.
- Suministro 5V en 200mA, fuente de alimentación de enlace serie con “serie” *marking*.
- Las señalizaciones en modo local son:
  - 1 LED verde para tarjeta SD de acceso (SD).
  - 1 LED rojo para BAT.
  - 1 LED verde para SL.
  - 1 LED rojo para I/O error (I/O).
  - 1 LED rojo para bus fault on TM4 (TM4).
  - 1 LED verde para actividad Ethernet (ETH1).
  - 1 LED verde para actividad Ethernet (ETH2).
  - 1 LED rojo para error de módulo (ERR).
  - 1 LED verde para PWR.
  - 1 LED verde para *RUN*.

En el anexo I se muestran otras características del M251.



Figura 2.2. Autómata TM251MESE y el sistema de gestión del motor LTMR08MBD.

El controlador del motor pertenece a la familia de las TeSys, que es un sistema de gestión del motor. Este sistema es avanzado y ecológico. Proporciona supervisión, control y protección completos del motor eléctrico.

Sus principales características son:

- Voltaje de alimentación asignada 24V DC.
- Corriente de medición 0.4 a 8A.
- Consumo de corriente de 56 a 127mA.

### 2.2.2 Pantalla tipo Magelis

La pantalla tipo Magelis con modelo de pantalla XBTRT511 se encarga de la visualización de los datos del motor. Se conecta al TeSys T para mostrar la corriente que consume el motor. El software empleado para el trabajo con este es el Vijeo Designer Lite. Este componente está certificado y cumple con las normas de *Underwriters Laboratory*. Los indicadores de alarma de nivel crítico y las funciones del sistema requieren hardware de protección redundante e independiente o enclavamientos mecánicos. La imagen inicial de la Magelis nos da la posibilidad de comenzar a usar las funciones del programa y aporta información del proceso.

Sus especificaciones fundamentales son (Fuentes Revilla, 2015):

- Voltaje de suministro nominal 24V DC.
- La alimentación es mediante una fuente externa.
- Resolución del display 190\*80 pixeles.
- Color del display: verde, naranja, rojo.
- Material del display y del teclado de poliéster y el frontal PPT.
- Capacidad de memoria 512kB.
- Señalizaciones en modo local un *buzzer*, 13 LEDs.

En el anexo III se señalan otras características de la pantalla Magelis con este modelo

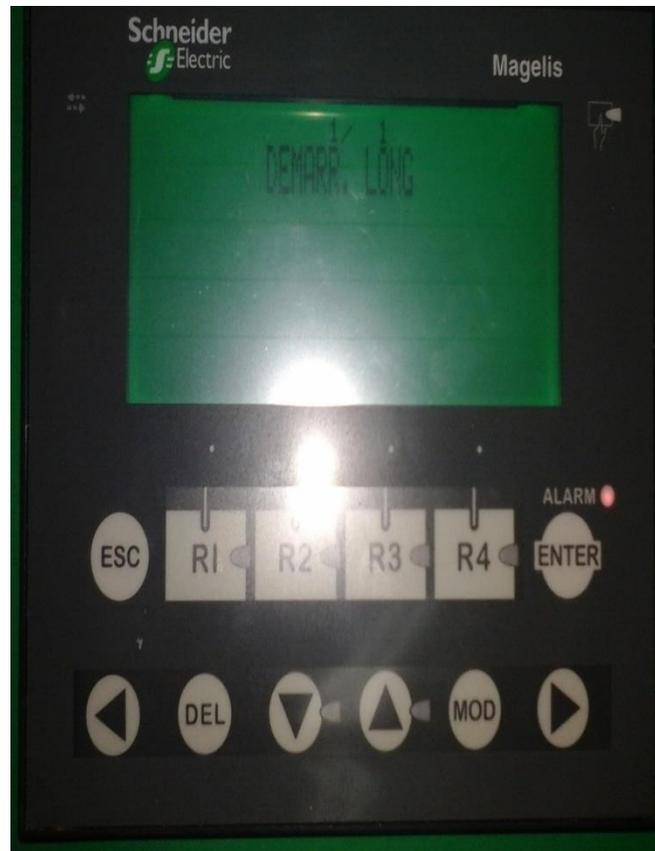


Figura 2.3. Pantalla tipo magelis.

### 2.2.3 Variador de frecuencia

El variador de frecuencia es un dispositivo electrónico que permite controlar y regular la velocidad de motores eléctricos de inducción. Esta regulación se realiza por medio del control de la frecuencia de alimentación que se le suministra al motor. Estos permiten el correcto funcionamiento de los motores eléctricos, ya que regulan la velocidad a la cual funcionan. El funcionamiento de las maquinarias eléctricas puede operar a velocidades constantes o variables. Depende del tipo de alimentación, de las características del motor y de las exigencias del proceso (García-Marí et al., 2013).

El Altivar 61 presente en la maqueta el que controla la velocidad rotacional del motor de inducción electromagnética.

Sus principales especificaciones son (Schneider Electric, 2015a):

- Alimentación externa 24V CC (19 a 30 V).
- Protocolo de puerto de comunicación Modbus, CANopen.

- Señalizaciones en modo de trabajo local: un led rojo para presencia de tensión unidad.
- Número de entradas analógicas dos.
- Método de acceso: Esclavo para CANopen.

En el anexo IV se ven más características del variador de frecuencia.



Figura 2.4. Variador de frecuencia ATV61H075M3.

#### 2.2.4 Motor de inducción electromagnética

Los motores son máquinas destinadas a transformar la energía eléctrica en energía mecánica por medio de la acción de los campos magnéticos generados en sus bobinas. Son máquinas eléctricas rotatorias compuestas por un estator y un rotor. El motor de inducción electromagnética es un tipo de motor de corriente alterna. Está formado por un rotor y un estator. Su principio de funcionamiento está basado en la inducción electromagnética y fue diseñado por el ingeniero Nikola Tesla (Castelli y Andrade, 2008).

El motor presente en la maqueta pertenece a la compañía italiana Electro Adda. Este está hecho a la medida para esta aplicación industrial. Presenta una carcasa de aluminio. Este tipo de motor de corriente alterna se caracteriza porque la corriente eléctrica del rotor necesaria

para producir torsión es inducida por inducción electromagnética del campo magnético de la bobina del estator.



Figura 2.5. Motor de inducción electromagnética de la Electro Adda.

### 2.2.5 Contactores y breaker

Los contactores son aparatos eléctricos de mando a distancia, que puede cerrar o abrir circuitos. Es la pieza clave del automatismo de los motores eléctricos. Están formados por una bobina y unos contactos, que pueden estar abiertos o cerrados, y que hacen de interruptores de apertura y cierre de la corriente del circuito (Schneider Electric, 2015a).

En la figura 2.6 se puede apreciar que en la maqueta hay dos LP4K y un LP5K. El LP4K0610BW3 es un contactor de tres polos TeSys K con bobina de corriente alterna. Composición de contacto de polo de potencia 3NO. Composición de contacto auxiliar 1NO. Diodo supresor de limitación de pico bidireccional integrado.

Las características comunes de ambos contactores se muestran a continuación (Schneider Electric, 2015a):

- Pertenecen a la serie TeSys.
- Voltaje de funcionamiento 24V DC.
- Corriente de carga inductiva 6 A.
- Configuración de contacto 3NO/1NO.

- Número de polos: tres.
- Tensión nominal de bobina VDC 24V DC.

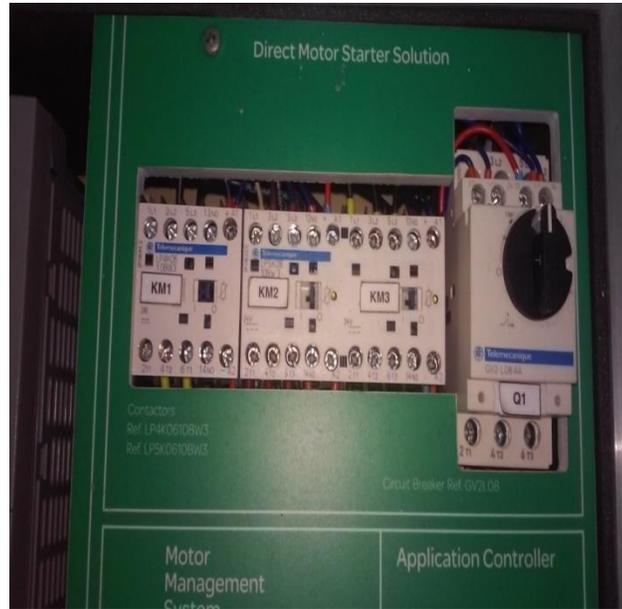


Figura 2.6. Contactores y breaker de la maqueta demostrativa.

Por su parte el breaker proporciona una protección mejorada contra la formación de arcos o faltas a tierra, con los cuales se puede prevenir incendios o descargas. Este monitorea continuamente la corriente eléctrica en el circuito y apaga el mismo cuando se produce cualquier formación de arcos no deseados (Schneider Electric, 2015a).

Las principales especificaciones del breaker GV2-L08 se muestran a continuación:

- Pertenece a la familia TeSys.
- Rango de corriente 2.5 a 4A, 4 a 6 A.
- Número de polos: tres.
- Capacidad de ruptura 4kA.
- Tensión nominal 690V.
- Dimensiones 89 x 44,5 x 97 mm.

### 2.2.6 Disyuntores

Es un dispositivo encargado de interrumpir o abrir un circuito eléctrico cuando la intensidad de la corriente eléctrica que circula por él circula excede de un determinado valor, o con el que se ha producido un cortocircuito, con el objetivo de evitar daños a los equipos eléctricos. Se fabrican de diferentes tamaños y características (Alay Sánchez y Sánchez Jara, 2015).

Los parámetros más importantes que lo definen son:

- Calibre o corriente nominal.
- Tensión.
- Poder de corte.
- Poder de cierre.
- Número de polos.



Figura 2.7 Disyuntor de la maqueta demostrativa.

### 2.2.7 Relé

El relé o relevador es un dispositivo electromecánico, que funciona como un interruptor controlado por un circuito eléctrico en el que, por medio de un electroimán se acciona un juego de uno o varios contactos que permiten la apertura o cierre de otros circuitos eléctricos independientes. El funcionamiento se basa en la excitación de una bobina que magnetiza a un núcleo de hierro y este a su vez atrae a una armadura móvil a la cual van unidos los contactos (Calero, 2008).

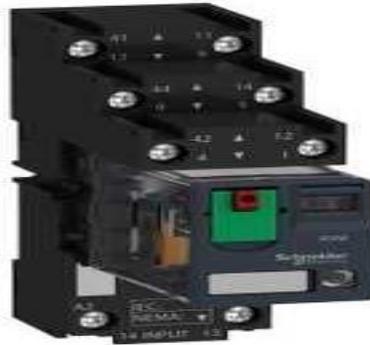


Figura 2.8 Relé de la maqueta demostrativa.

### 2.2.8 Pulsadores

Los pulsadores son elementos que forman parte de la botonera. Son elementos de accionamiento que se encargan de la apertura o cierre de un circuito, permitiendo el paso o no de la corriente a través de ellos (González Rus, 2002).

Son activados al ser pulsados por un dedo. Constan de una lámina conductora que establece un contacto con los dos terminales al oprimir el botón y un muelle que hace recobrar la lámina su posición primitiva al cesar la presión sobre el botón pulsador.

Existen tres tipos de pulsadores:

- Pulsadores de paro.
- Pulsadores de marcha.
- Pulsadores de doble cámara.

En el caso de la maqueta vamos a tener un botón que permite accionar directamente el motor y otro que lo permite parar. Se cuenta además con un botón que es una parada de emergencia para cualquier tipo de arranque del motor.



Figura 2.9 Pulsadores de la maqueta.



Figura 2.10 Botón de parada de emergencia.

### 2.2.9 Selectores

Los selectores proporcionan interactividad a la maleta contenedora, lo que permite a cada usuario cambiar la forma de ver los datos. Un selector puede cambiar (Serrano et al., 2006):

- Paneles de una pila de paneles.
- Los datos que se muestran en una cuadrícula.
- El contenido de los campos de textos dinámicos en una pila de paneles.
- Los datos que se muestran en un documento.

En el caso de la maqueta demostrativa hay dos selectores como se aprecia en la figura. Uno para seleccionar el tipo de modo en que queremos trabajar (Manual o Automático) y otro para seleccionar el modo de trabajo en que se quiere iniciar el motor.



Figura 2.11 Selectores de la maqueta demostrativa.

### 2.2.10 Potenciómetro

Los potenciómetros limitan el paso de la intensidad de la corriente eléctrica, provocando una caída de tensión en ellos, igual que una resistencia, pero en este caso el valor de la corriente y la tensión en el potenciómetro la podemos variar solo con cambiar el valor de su resistencia. En una resistencia fija esos valores son siempre los mismos (Alay Sánchez and Sánchez Jara, 2015).



Figura 2.12. Potenciómetro de la maqueta demostrativa.

## 2.3 Software empleado

La plataforma MachineStruxure es una solución completa para el proceso de automatización de maquinaria, que proporcionan controladores escalables y flexibles, arquitecturas listas para usar, soluciones de ingeniería eficientes, así como servicios de personalización y asistencia técnica. Gracias a la nueva gama *NEXT Generation* de controladores lógicos Modicon TM, MachineStruxure proporciona un control de máquina escalable y flexible. Conectividad Ethernet, un puerto USB para la programación y servidor web incorporado (Schneider Electric, 2015b).

SoMachine incluye, como estándar, los 6 lenguajes IEC (*International Electrotechnical Commission*) que indican la normativa IEC 61131-3. Dependiendo de las necesidades de programación, la aplicación puede estar programada las diferentes POU con cualquiera de estos 6 lenguajes (Schneider Electric, 2014b).

- Diagrama de funciones.
- Grafcet.
- Texto estructurado.

- Listado de instrucciones.
- Diagrama de contactos.
- Gráfico de funciones continuas.

Por su parte el Logic Builder proporciona el entorno de configuración y programación para los proyectos. Muestra los diferentes elementos de un proyecto en vistas separadas que se pueden organizar en la interfaz de usuario de SoMachine y en el escritorio, en función de las necesidades individuales. Esta estructura de vistas permite añadir elementos de hardware y software al proyecto mediante el método de arrastrar y soltar.

Los principales cuadros de diálogo de configuración que permiten crear contenido para el proyecto se proporcionan en el centro de la pantalla de Logic Builder. Además de una sencilla configuración y programación, Logic Builder también proporciona potentes funciones de diagnóstico y mantenimiento.

#### **2.4 Funcionamiento de la maqueta demostrativa**

El motor de la maqueta demostrativa puede arrancar de forma directa, por el variador de frecuencia o usando una conexión Ethernet con el M251 se programa un servidor Web y se ejecutan comandos de arranque/parada y variación de setpoint de frecuencia por comunicación Modbus y el variador de velocidad. El arranque directo permite operar de forma directa el motor, es decir al pulsar el botón de encendido en la botonera se enciende el motor; para pararlo se para con el botón de apagar. En el caso del arranque por un Servidor Web se profundiza en el capítulo posterior.

A continuación se muestra un diagrama general de la maqueta demostrativa que facilita un mejor entendimiento del funcionamiento de esta, con todas sus partes señaladas.

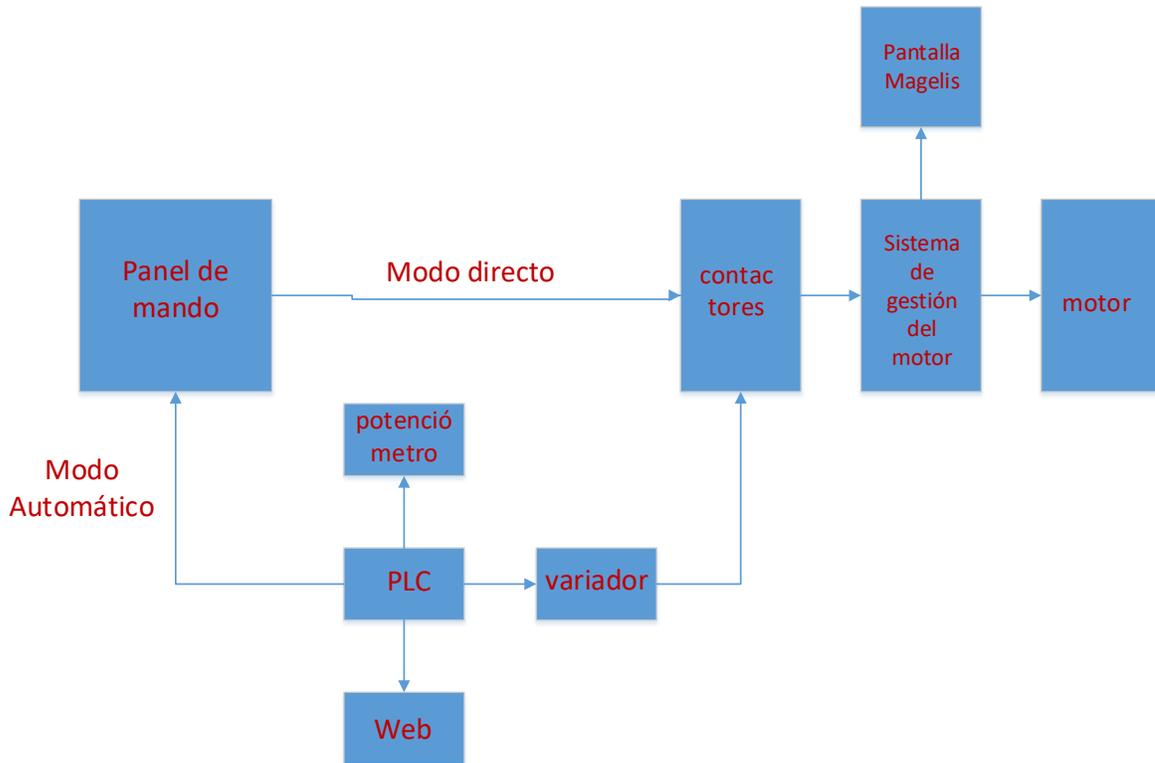


Figura 2.13. Diagrama general de la maqueta demostrativa.

## 2.5 Consideraciones del capítulo

Para la realización de la ingeniería inversa es necesario saber exactamente lo que se quiere, adquirir los datos del equipo, para luego procesar estos datos. Con estos elementos se puede ver: ¿Cómo funciona el equipo?, que es la pregunta que la impulsa.

Esta maqueta se usa para demostrar las diferencias de consumo entre arranque Directo y Arranque con Variador, también usando una conexión Ethernet con el M251 se programa un servidor Web y se ejecutan comandos de arranque/parada y variación de setpoint de frecuencia por comunicación Modbus y el variador de velocidad.

## **CAPÍTULO 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

En este capítulo se exponen los resultados de la investigación. Se reflejan los esquemas eléctricos y de comunicaciones principales de la maqueta. Se realiza un análisis del software que debe traer el PLC para su funcionamiento. Se presenta la valoración económica de la propuesta y el impacto medioambiental de la misma.

### **3.1 Relación de componentes de la maqueta**

La maqueta demostrativa de eficiencia energética puede ser accionada de forma directa. Esta forma de arranque permite el accionamiento directo del motor a través del panel de mando. Este modo siempre va a consumir el mismo valor de corriente, que es 1.11 A. El modo automático funciona a través del autómeta, ya sea por el potenciómetro o a través de la interfaz web. En ambos casos se le da al variador de frecuencia el valor de la frecuencia que se desee. En este caso el consumo de corriente varía en dependencia del valor de la frecuencia. Cuando alcanza el valor de los 60Hz, que es la máxima frecuencia a la que trabaja el motor, el valor de la corriente es 0.87 A.

Los cables del motor pasan por el sistema de gestión del motor y por los contactores que son los que se encargan de la apertura y cierre de circuitos. En el anexo V se muestra el diagrama general de conexiones de la maqueta.

### **3.2 Conexiones eléctricas y de comunicaciones del M251 y del Altivar**

Se puede afirmar que para el mantenimiento, conducción y operación depende en gran medida de la electricidad. La naturaleza de los fallos y averías de la maqueta es en gran medida eléctrica. Con lo cual disponer de una buena documentación de esquemas y planos

eléctricos es de vital importancia a la hora de localizar y solucionar estas averías de la mejor manera. Ver anexos VI y VII.

### 3.3 Análisis del programa

El programa se realiza en el software SoMachine de la Schneider Electric. El programa está dividido en partes:

- Declaración de variables globales y locales y estructura general de los PLC.
- La programación en el POU.
- Simulación del programa a través de una interfaz Web.

#### 3.3.1 Tabla de variables.

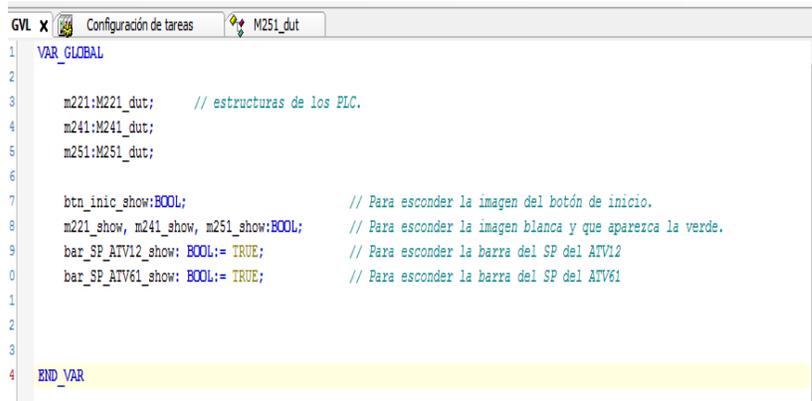
En la tabla de señales de E/S obtenida del autómatas M251 de la maqueta demostrativa, se muestran el número de señales de las entradas y salidas, la dirección de estas, la descripción, régimen de operación, la proveniencia y el destino.

Tabla 3.1. Variables de entrada/salida.

Variables de entrada	Variables de salida
-Panel	-Motor
<ul style="list-style-type: none"> <li>• driver_aut_manual</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• encender_motor</li> </ul>
-Sensores	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• micropuerta</li> <li>• guardamotor</li> </ul>	
-Web	-Web
<ul style="list-style-type: none"> <li>• tipo_PLC</li> <li>• referencia</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• bombillo_run</li> <li>• estado_micropuerta</li> <li>• estado_driver</li> </ul>

### 3.3.2 Declaración de variables globales y locales.

Primeramente se declaran las variables globales, es importante decir que aparte del M251 que es el autómatas con el que cuenta la maqueta el programa está hecho para adaptarlo también a los PLC M221 y M241 como se puede apreciar en la figura 3.1. Las estructuras de los PLC están declarados en el GVL.



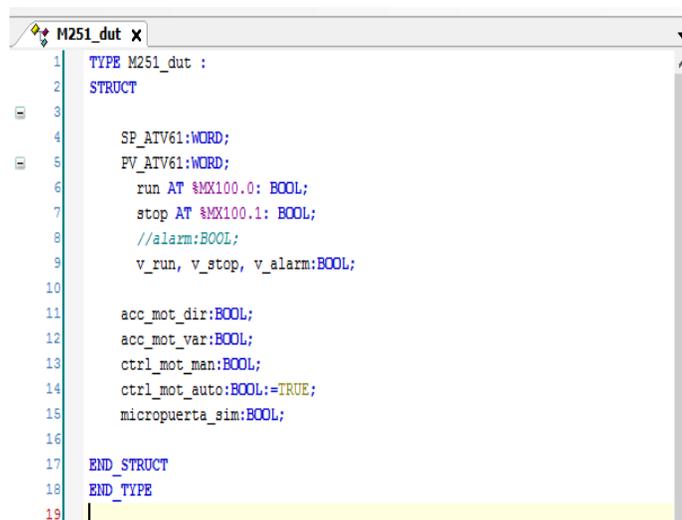
```

1  VAR_GLOBAL
2
3  m221:M221_dut;    // estructuras de los PLC.
4  m241:M241_dut;
5  m251:M251_dut;
6
7  btn_inic_show:BOOL;           // Para esconder la imagen del botón de inicio.
8  m221_show, m241_show, m251_show:BOOL; // Para esconder la imagen blanca y que aparezca la verde.
9  bar_SP_ATV12_show: BOOL:= TRUE; // Para esconder la barra del SP del ATV12
0  bar_SP_ATV61_show: BOOL:= TRUE; // Para esconder la barra del SP del ATV61
1
2
3
4  END_VAR

```

Figura 3.1. Declaración de variables globales y locales y estructuras de los autómatas.

En esta parte del programa se declaran las variables dedicadas al accionamiento del motor, al modo de trabajo que se quiere y al estado de la micropuerta. Todas estas variables son booleanas como se indica en la figura 3.2.



```

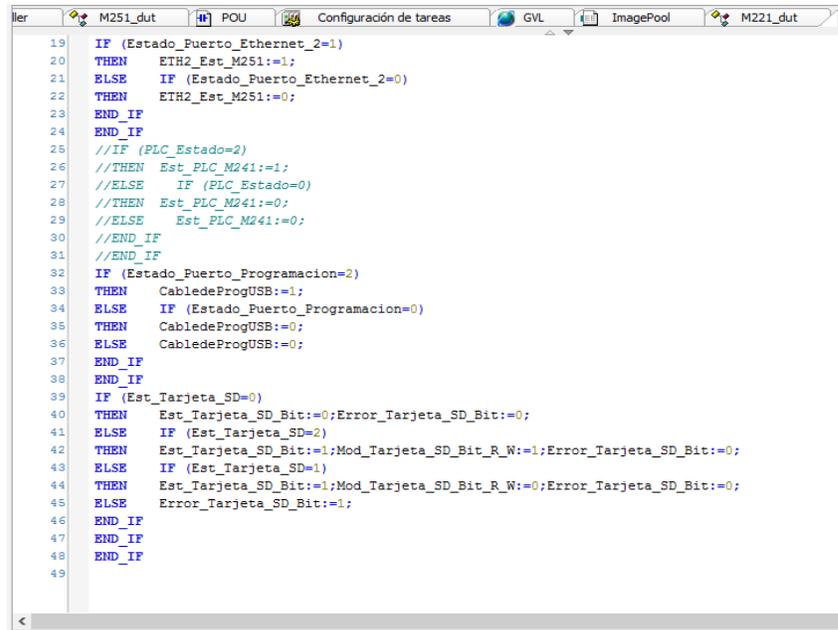
1  TYPE M251_dut :
2  STRUCT
3
4  SP_ATV61:WORD;
5  FV_ATV61:WORD;
6  run AT %MX100.0: BOOL;
7  stop AT %MX100.1: BOOL;
8  //alarm:BOOL;
9  v_run, v_stop, v_alarm:BOOL;
10
11  acc_mot_dir:BOOL;
12  acc_mot_var:BOOL;
13  ctrl_mot_man:BOOL;
14  ctrl_mot_auto:BOOL:=TRUE;
15  micropuerta_sim:BOOL;
16
17  END_STRUCT
18  END_TYPE
19

```

Figura 3.2. Declaración de las variables de los sensores y del modo de trabajo.

### 3.3.3 Programación en el POU

Esta parte del programa es donde se realiza la programación. Primero se trabaja con las variables propias del autómatas; que es una programación sencilla con una lógica de condiciones. Esto sirve para guiar la lógica de la programación. Esto muestra las formas en que puede comunicarse el autómatas con un dispositivo electrónico y la parte del almacenamiento del programa en una tarjeta Micro SD. En la figura 3.3 se aprecia la lógica de las variables propias del PLC:



```
19 IF (Estado_Puerto_Ethernet_2=1)
20 THEN ETH2_Est_M251:=1;
21 ELSE IF (Estado_Puerto_Ethernet_2=0)
22 THEN ETH2_Est_M251:=0;
23 END_IF
24 END_IF
25 //IF (PLC_Estado=2)
26 //THEN Est_PLC_M241:=1;
27 //ELSE IF (PLC_Estado=0)
28 //THEN Est_PLC_M241:=0;
29 //ELSE Est_PLC_M241:=0;
30 //END_IF
31 //END_IF
32 IF (Estado_Puerto_Programacion=2)
33 THEN CabledeProgUSB:=1;
34 ELSE IF (Estado_Puerto_Programacion=0)
35 THEN CabledeProgUSB:=0;
36 ELSE CabledeProgUSB:=0;
37 END_IF
38 END_IF
39 IF (Est_Tarjeta_SD=0)
40 THEN Est_Tarjeta_SD_Bit:=0;Error_Tarjeta_SD_Bit:=0;
41 ELSE IF (Est_Tarjeta_SD=2)
42 THEN Est_Tarjeta_SD_Bit:=1;Mod_Tarjeta_SD_Bit_R_W:=1;Error_Tarjeta_SD_Bit:=0;
43 ELSE IF (Est_Tarjeta_SD=1)
44 THEN Est_Tarjeta_SD_Bit:=1;Mod_Tarjeta_SD_Bit_R_W:=0;Error_Tarjeta_SD_Bit:=0;
45 ELSE Error_Tarjeta_SD_Bit:=1;
46 END_IF
47 END_IF
48 END_IF
49
```

Figura 3.3. Lógica de las variables propias del PLC.

Luego se continúa con los estados en que tienen que estar las variables de los sensores y el modo de trabajo adecuado para un correcto funcionamiento de la maqueta. Esto se ve reflejado en el anexo VIII.

### 3.3.4 Simulación a través de una interfaz Web

La parte de la simulación es en la que se trabaja con un dispositivo electrónico (laptop, Tablet, celular). Como se ha explicado el programa está hecho para trabajar con otros autómatas. Por tanto lo primero que se debe realizar es la selección del autómatas con el que se cuenta, que en este caso es el M251. En la figura 3.4 se observa la forma de conexión general y los distintos tipos de autómatas:

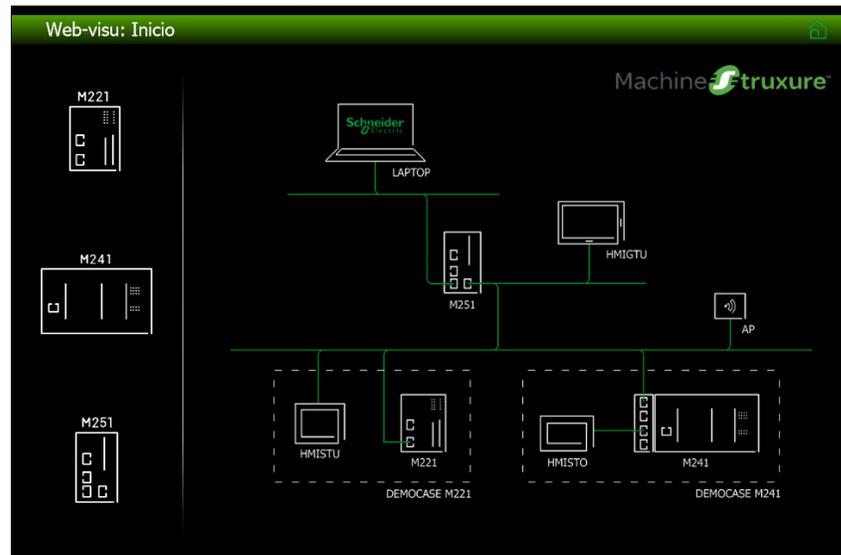


Figura 3.4. Conexión general del sistema y diferentes autómatas.

Luego de la selección del autómata para el arranque del motor se deben cumplir las condiciones adecuadas de los sensores (micropuerta cerrada y el control en modo automático). De esta forma se le da el valor de frecuencia que se desee y se puede arrancar el motor y se observa el consumo de corriente a través de la pantalla Magelis. En la figura 3.5 se observa que como los sensores y el modo están de la forma adecuada y como se le da el valor de frecuencia de 60 Hz, que es el máximo valor al que puede trabajar el motor.

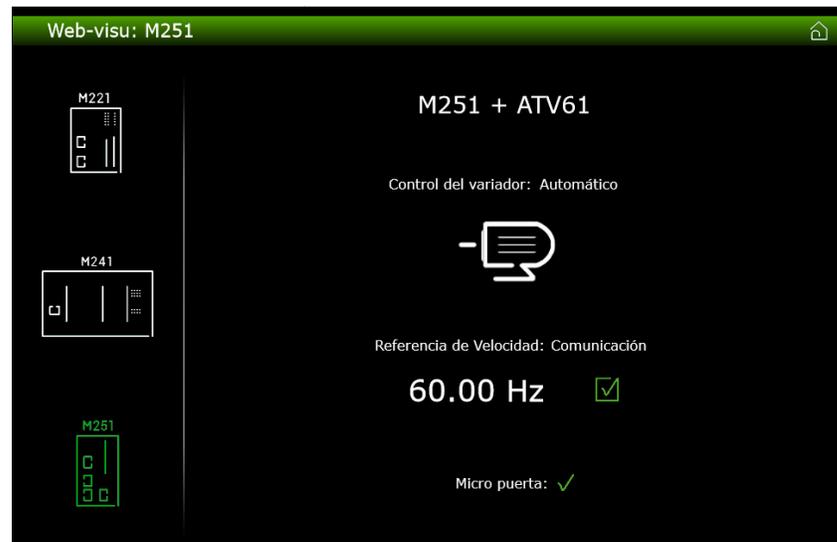


Figura 3.5. Condiciones de los sensores y del modo para el arranque del motor.

### **3.4 Valoración económica e impacto medioambiental**

En este epígrafe se presenta la estimación del costo para la realización de este trabajo diploma. Contiene los costos de adquisición del equipo, componentes de instalación y materiales utilizados. La valoración económica reviste una gran importancia pues de esta forma se tiene el control del dinero empleado.

El precio de la maqueta demostrativa es de 1800 euros, aunque hay que decir que llegó a esta universidad mediante una donación de la firma Schneider Electric. La propuesta de trabajo consiste en documentar toda la información de la maqueta, para de esta forma con el conocimiento de todas las conexiones eléctricas y detalles del programa tener los elementos necesarios para la puesta en marcha de la maqueta y mantenimiento de la maqueta.

La realización de un proceso de estudio de un equipo del cual no se tiene ninguna documentación suele ser muy costoso, debido al largo tiempo que se emplea. Para esto se necesita personal especializado. Es difícil estimar el costo de esta operación pues existe muy poca referencia acerca de este tipo de estudios en maquetas demostrativas.

Estas maquetas se usan para realizar estudios sobre eficiencia energética, es decir para crear una cultura sobre la importancia de esta. Como se ve, en el modo automático consume menos corriente, por tanto en este modo se favorece al uso racional de la energía. Como en nuestro país la matriz de generación de energía eléctrica es en su mayoría a través de los combustibles fósiles, con este modo se favorece a una menor quema de dióxido de carbono, gas muy contaminante y causante de numerosos problemas medioambientales.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

- Siguiendo las tendencias internacionales en el diseño de maquetas demostrativas de eficiencia energética; la maqueta usada está conformada por un autómata TM251MESE, un variador de frecuencia Altivar 61, motor de electro Adda, una pantalla Magelis y las protecciones y botoneras correspondientes.
- Del análisis del programa hecho en el SoMachine se aprecia que el mismo que se divide en tres partes fundamentales. Los comentarios elaborados en el software facilitan la comprensión del mismo.
- La documentación técnica elaborada, enriquecida con los diagramas eléctricos y de conexiones facilita la puesta en marcha, operación, mantenimiento y reparación frente a averías de la maqueta demostrativa.

### Recomendaciones

- Realizar un estudio con el objetivo de implementar un lazo de control de velocidad en la maqueta.
- Confeccionar otro software para el PLC que permita hacer laboratorios a distancia.
- Socializar los resultados de investigación a otras carreras de perfil similar (Ingeniería Eléctrica, Ingeniería Mecánica).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acevedo, J.J., Puma, E.E., 2007. Ingeniería inversa aplicado a sistemas desarrollados con programación orientada a objetos para obtener la documentación.
- Acosta, D.A.R., 2013. Uso de la ingeniería inversa como metodología de enseñanza en la formación para la innovación, in: WEEF 2013 Cartagena.
- Alay Sánchez, J.C., Sánchez Jara, C.J., 2015. Módulo didáctico de transferencia de energía eléctrica.
- Calero, I., 2008. Protección de generadores eléctricos mediante relés microprocesados multifuncionales. Esc. Politec. Nac.
- Camp, R.C., Camp Robert, C., 1995. Business process benchmarking: finding and implementing best practices. ASQC Quality Press Milwaukee, WI.
- Castelli, M., Andrade, M., 2008. Metodología de monitoreo, detección y diagnóstico de fallos en motores asíncronos de inducción. Mem. URUMAN Urug. 1–20.
- Collado, D.L., 2017. Control y Supervisión de procesos mediante red industrial Profibus y Sistemas Scada.
- Comas Codina, A., 2015. Maqueta demostrativa de les TIC. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Cruz Ocampo, R.J., 2012. Integración de técnicas de ingeniería inversa en el desarrollo de interfaces de usuario dirigido por modelos.
- Cuesta, E., Fernández, P., Rico, J.C., Álvarez, B., Blanco, D., 2005. Aplicaciones Metrológicas y de Ingeniería Inversa de los láseres por triangulación. Deform Met 284, 59–73.
- Domínguez, M., Fuertes, J.J., Reguera, P., González, J.J., Ramón, J.M., 2010a. Maqueta industrial para docencia e investigación. Rev. Iberoam. Automática E Informática Ind. 1, 58–63.
- Domínguez, M., Reguera, P., Fuertes, J.J., 2010b. Laboratorio Remoto para la Enseñanza de la Automática en la Universidad de León (España). Rev. Iberoam. Automática E Informática Ind. 2, 36–45.
- Espeleta Rios, D.A., 2013. Automatización del módulo de aire acondicionado del laboratorio de automatización y control.

- Fernández Vallejo, F.P., Cumbicus, H., Rogelio, L., Gaona, L., Luis, J., 2013. Construcción de un banco para prácticas de automatización y control industria, con autómatas programables.
- Fuentes Revilla, E., 2015. Diseño aplicaciones HMI con pantallas Magelis. Universitat Politècnica de Catalunya.
- García-Marí, E., Gasque, M., Gutiérrez-Colomer, R.P., Ibáñez, F., González-Altozano, P., 2013. A new inlet device that enhances thermal stratification during charging in a hot water storage tank. *Appl. Therm. Eng.* 61, 663–669.
- Gómez, A., Pujol, R., Sanmartí, N., 2006. Pensar, actuar y hablar sobre los seres vivos alrededor de una maqueta. *Alambique* 47, 48–55.
- González Rus, G., 2002. Pulsadores, conmutadores e interruptores: sistemas de acceso para el discapacitado motórico. *Las Nuevas Tecnol. En Respuesta Educ. Divers.*
- Granado, E., Marín, W., Pérez, O., 2010. Desarrollo de un laboratorio de sistemas y comunicaciones industriales para la mejora del proceso enseñanza/aprendizaje. *Rev. Fac. Ing. Univ. Cent. Venezuela* 25, 33–42.
- Guzmán, J.L., Rodríguez, F., Berenguel, M., Dormido, S., 2010. Laboratorio virtual para la enseñanza de control climático de invernaderos. *Rev. Iberoam. Automática E Informática Ind.* 2, 82–92.
- Jiménez, E., Reyes, L., García, A., 2006. Algunas consideraciones sobre la Ingeniería Inversa. *Inf. Interno Investig. Cent. Tecnol. Av. ITESCA Red Alfa Sonora México.*
- Jiménez, E., Reyes, L., García, A., Montoya, N., Martínez, V., Soto, E., LUNA, G., ONTIVEROS, S., 2007. Algunas consideraciones epistemológicas sobre la ingeniería inversa, in: *Memorias Del XIII Congreso Internacional Anual de La SOMIM y Congreso Internacional de Metal Mecánica.*
- Juárez, R., Licea, G., Cristóbal, A., 2007. Ingeniería Inversa y Reingeniería Aplicadas a Proyectos de Software Desarrollados por Alumnos de Nivel Licenciatura. *Sist. Cibernética E Informática* 4, 48–53.
- Keller, R.K., Schauer, R., Robitaille, S., Pagé, P., 1999. Pattern-based reverse-engineering of design components, in: *Proceedings of the 21st International Conference on Software Engineering.* ACM, pp. 226–235.
- López, R.O., Ramiro, L.V., 2011. Ingeniería del software. Centro de Estudios Financieros.
- Luna, R.M., Arfe, R., Navas, A.J., 2016. Proyecto energético: de la teoría con webquest, a la práctica con una maqueta. *Rev. Bol. Redipe* 5, 96–104.
- Mason, G.S., Shuman, T.R., Cook, K.E., 2013. Comparing the effectiveness of an inverted classroom to a traditional classroom in an upper-division engineering course. *IEEE Trans. Educ.* 56, 430–435.
- Méndez, A.P., de la Torre, E.J.M., Ruiz, F.J.G., Munguira, P.B., n.d. Desarrollo de una aplicación SCADA en Net orientada al control y supervisión de las maquetas MT-542 y MD-544 con easyport de festo y PC.

- Monroy, M.E., Arciniegas, J.L., Rodríguez, J.C., 2016. Modelo Ontológico para Contextos de uso de Herramientas de Ingeniería Inversa. *Inf. Tecnológica* 27, 165–174.
- Monroy, M.E., Arciniegas, J.L., Rodríguez, J.C., 2013. Propuesta Metodológica para Caracterizar y Seleccionar Métodos de Ingeniería Inversa. *Inf. Tecnológica* 24, 23–30.
- Monroy, M.E., Arciniegas, J.L., Rodríguez, J.C., 2012. Caracterización de herramientas de ingeniería inversa. *Inf. Tecnológica* 23, 31–42.
- Moreno, A.P., 2016. Desarrollo de la automatización de un sistema de clasificado y procesado de piezas con monitorización y control mediante pantalla táctil.
- Müller, H.A., Jahnke, J.H., Smith, D.B., Storey, M.-A., Tilley, S.R., Wong, K., 2000. Reverse engineering: A roadmap, in: *Proceedings of the Conference on the Future of Software Engineering*. ACM, pp. 47–60.
- Orellana, D., n.d. Construcción de un banco para prácticas de automatización y control industria, con autómatas programables.
- Páez, B., Stalin, R., Sánchez Hidalgo, C.I., 2010. Guía teórico-práctico de laboratorio con maquetas didácticas de motores eléctricos trifásicos para la unidad académica de ciencias de la ingeniería y aplicadas de la universidad técnica de Cotopaxi.
- Parraguez, J., 2017. Inauguración de laboratorio con maquetas de instrumentación y PLC M221.
- Randos Parra, J.M., 2014. Maqueta didáctica de clasificación de piezas. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Recanzone, R.R., Sosa, J.I., Bender, C., Blet, N.S., Simón, J.L., 2013. Experiencias en la enseñanza de la Informática Industrial en una carrera de Ingeniería Electrónica, in: *VIII Congreso de Tecnología En Educación y Educación En Tecnología*.
- Reyes, L., de las Mercedes, A., 2014. Ingeniería inversa de la tarjeta 318 del sistema de selección de objetos aéreos en movimientos. Universidad Central" Marta Abreu" de Las Villas.
- Schneider, D., Schwager, A., Bäschlin, W., Pagani, P., 2012. European MIMO PLC field measurements: Channel analysis, in: *Power Line Communications and Its Applications (ISPLC)*, 2012 16th IEEE International Symposium On. IEEE, pp. 304–309.
- Schneider Electric, 2015a. Catálogo de la Schneider Electric.
- Schneider Electric, 2015b. SoMachine Central Manual del usuario 2014.
- Schneider Electric, 2014a. Concurso de Maquetas didácticas.
- Schneider Electric, 2014b. SoMachine, Guía de programación.
- Schwager, A., Schneider, D., Bäschlin, W., Dilly, A., Speidel, J., 2011. MIMO PLC: theory, measurements and system setup, in: *Power Line Communications and Its Applications (ISPLC)*, 2011 IEEE International Symposium On. IEEE, pp. 48–53.

- Serrano, M., García, G., López, A., 2006. Textos descriptivos de contingencia como estímulos selectores en igualación de la muestra con humanos. *Acta Comportamental* 14, 131–143.
- Vera, E., Rafael, F., Tapia Calderón, S.S., 2005. Diseño y construcción de módulos didácticos para la demostración de equipos de control industrial y automatización para la compañía SCHNEIDER ELECTRIC ECUADOR SA. ESPE/SANGOLQUÍ/2005.

## ANEXO

### Anexo I Principales características del TM251MESE

gama de producto	Modicon M251
tipo de producto	Autómata programable
tensión de alimentación designada	24V DC
número de E/S del módulo de expansión	7 con local <i>I/O architecture</i> 14 con remoto <i>I/O architecture</i>
límites de tensión de alimentación	20,4...28,8 V
corriente de entrada	$\leq 50$ A
Consumo de energía en W	32.6...40.4 W módulo de expansión con número máximo de E/S
Capacidad de memoria	8 MB para programa 64 MB memoria del sistema
orejetas terminales de anillo	128 MB memoria flash integrada para <i>backup of user programs</i>
mantenido Ti24	$\leq 32$ GB Tarjeta SD opcional

Tipo de batería	BR2032 litio no-recargable, vida batería: 4 años
tiempo de backup	2 años en 25 °C
tiempo de ejecución para 1 Kinstrucción	0.3 ms evento y tarea periódica 0.7 ms otra instrucción
execution time per instruction	0.022 $\mu$ s
estructura de aplicación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 8 tareas de evento</li> <li>• 4 tareas maestras cíclicas</li> <li>• 3 tareas maestras cíclicas + 1 tarea libre</li> <li>• 8 tareas de eventos externos</li> </ul>
Tipo de conexión integrada	<p>Porta USB con USB 2.0 mini B conector</p> <p>Enlace serie sin aislar "serie" con RJ45 conector; physical interface: RS232/RS485</p> <p>Dual-port "Ethernet 1" con RJ45 conector</p> <p>Puerto Ethernet "Ethernet 2" con RJ45 conector</p>
Suministro	5 V en 200 mA fuente de alimentación de enlace serie con "serie" <i>marking</i>
velocidad de transmisión	<p>1.2-115.2 kbit/s (115.2 kbit/s por defecto) para long bus de 15 m – protocolo de comunicación: RS485</p> <p>1.2-115.2 kbit/s (115.2 kbit/s por defecto) para long bus de 3 m – protocolo: RS232.</p> <p>480 Mbit/s para <i>long bus</i> de 3 m –protocolo de comunicación: USB</p>

Comunicación de puerto de protocolo	Porta USB - USB protocolo ; <i>transmission frame</i> : SoMachine-Red Enlace serie sin aislar - Modbus protocolo ; <i>transmission frame</i> : RTU/ASCII o Red SoMachine con método maestro/esclavo
Puerto Ethernet	"Ethernet 1" marking 10BASE-T/100BASE-TX - 2 port cable cobre "Ethernet 2" marking 10BASE-T/100BASE-TX - 1 port cable cobre
Servicio de comunicación	FDR, Descargando, IEC VAR acceso, Cliente Modbus TCP, Servidor Modbus TCP, Dispositivo esclavo Modbus TCP, Monitorización, NGVL, Programación, Actualización de firmware, SMS notifications, Cliente DHCP (Eth1), DHCP server ((*)) (Eth2) Ethernet/IP originator ((*)) (Eth2) Ethernet/IP target ((*)) (Eth1, Eth2), Ethernet/IP scanner ((*)) (Eth2), Scanner de E/S Ethernet/IP e Mensageiro (Eth2),, SNMP cliente/servidor, Cliente/servidor FTP, Cliente SQL, Send and receive email from the controller based on TCP/UDP library, Web server (WebVisu & XWeb system), OPC UA server, DNS client
Número maximo de conexiones	8 Modbus servidor 8 Modbus cliente 16 Ethernet/IP target 4 FTP server

	10 servidor web 8 SoMachine protocol
Número de esclavo	16 Ethernet/IP 64 Modbus TCP
Tiempo de ciclo	64 ms con 64 esclavos en Modbus TCP 10 ms con 16 esclavos en Ethernet/IP
Señalizaciones en local	1 LED verde para tarjeta SD de acceso (SD) 1 LED rojo para BAT 1 LED verde para SL 1 LED rojo para I/O error (I/O) 1 LED rojo para bus fault on TM4 (TM4) 1 LED verde para actividad Ethernet (ETH1) 1 LED verde para actividad Ethernet (ETH2) 1 LED rojo para error de módulo (ERR) 1 LED verde para PWR 1 LED verde para RUN
Consecutivo, seguido, continuo, adosado	Bornero de tornillo extraíble para fuente de alimentación con paso 5,08 mm
Soporte de montaje	Tipo de tapón TH35-15 carril de acuerdo con IEC 60715 Tipo de tapón TH35-7.5 carril de acuerdo con IEC 60715 Placa o panel con juego de fijación
Altura, profundidad, anchura	90 mm* 95 mm* 54 mm

---

Peso del producto

0.22kg

**Anexo II Principales especificaciones del LTMR08MBD**

Nombre del producto	TeSys T
Nombre corto del dispositivo	LTMR
Corriente de medición	0.4...8 <sup>a</sup>
Tensión de alimentación designada	24V DC
Consumo de corriente	56...127mA
Límites de tensión de alimentación	20.4...26.24V
Protocolo del puerto de comunicación	Modbus
Tipo de bus	Modbus RS 485 de dos hilos interfaz, direccionamiento 1...247, velocidad transmisión 1.2...19.2 kbit/s, RJ45 con capacidad de sujeción: 2 pares trenzados blind. Modbus RS 485 de dos hilos interfaz, direccionamiento 1...247, velocidad transmisión 1.2...19.2 kbit/s, bloco terminal con capacidad de sujeción: 2 pares trenzados blind.
Número de entradas lógicas	6
Corriente de entrada	7 mA
Frecuencia de funcionamiento máxima	2Hz

2 abrazaderas	5 A en 250 V CA para salida lógica 5 A en 30 V DC para salida lógica
Potencia admisible	480 VA (AC-15), I <sub>e</sub> = 2 A, 500000 cycles (salida) 30 W (DC-13), I <sub>e</sub> = 1.25 A, 500000 cycles (salida)
Tipo de contactos y composición	1 NO + 1 NC fault signal 3 NO
Tipo de medición	Corriente de falla de puesta a tierra Corriente de fase I1, I2, I3 RMS Temperatura Corriente promedio Desequilibrio de corriente
Conexiones-terminales	Conector, 1 Flexible cable con extremo de cable 0.25...2.5 mm <sup>2</sup> /AWG 24...AWG 14 para circuito de control Conector, 1 Flexible cable sin extremo de cable 0.2...2.5 mm <sup>2</sup> /AWG 24...AWG 14for circuito de control Conector, 1 Flexible cable sin extremo de cable 0.25...2.5 mm <sup>2</sup> /AWG 24...AWG 14 para circuito de control Conector, 1 sólido cable sin extremo de cable 0.2...2.5 mm <sup>2</sup> /AWG 24...AWG 14for circuito de control Conector, 2 Flexible cable con extremo de cable 0.2...1 mm <sup>2</sup> /AWG 24...AWG 14 para circuito de control

---

Conector, 2 Flexible cable sin extremo de cable 0.2...1.5 mm<sup>2</sup> /AWG 24...AWG 14 para circuito de control

Conector, 2 Flexible cable sin extremo de cable 0.5...1.5 mm<sup>2</sup> /AWG 24...AWG 14for circuito de control

Conector, 2 sólido cable sin extremo de cable 0.2...1 mm<sup>2</sup> /AWG 24...AWG 14 para circuito de control

---

Anchura, altura y profundidad

91mm\*61mm\*122.5mm

---

Peso del producto

0.53kg

**Anexo III Principales especificaciones de la pantalla tipo Magelis**

Tipo de producto	Magelis XBTRT
Resolución de display	190*80 pixels
Tipo de software	Software de configuración
Software designado	Vijeo Disigner Lite
Sistema operativo	Windows
Tipo de display	LCD retroiluminado con matriz extrabrillante
Panel táctil	Matrix
Toque de la zona sensible	11*5 cells
Límites de voltaje de alimentación	18...30V
Ondulación residual	<=1200 MV
Potencia consumida	<= 5 W
Número de teclas	12
Número de teclas fijas	2
Número de teclas personalizables	10
Señalizaciones en local	1 buzzer 13 LEDs
Número de páginas	200 páginas de aplicación 256 páginas de alarma
Tipo de memoria	Flash

Capacidad de memoria	512kB
Tipo de conexión integrada	Enlace serie: hembra RJ45, asíncrona Modo de transmisión (RS232C/RS485) topología multipunto Fuente de alimentación: bloque de terminales de tornillo extraíble Puerto de impresora: mini DIN hembra de 8 vías
Reloj en tiempo real	Acceso al reloj en tiempo real del PLC
Compatibilidad de rango	Modicon M340 Modicon Momentum Modicon Premium Modicon Quantum Modicon TSX Micro Twido
Montaje del producto	Montaje empotrado
Modo de fijación	Por 4 clips de resorte en panel de 1,5 a 6 mm de espesor
Material del display	Poliéster
Material frontal	PPT
Material del teclado	Poliéster
Altura, profundidad, anchura	118mm*137*79mm
Dimensiones del recorte	119.6 (+/- 0.5) x 105.2 (+/- 0.4) mm
Peso del producto	0.55kg
Tipo de producto o componente	Panel pequeño con pantalla táctil y teclado

---

Color del display	Verde, naranja, rojo
Capacidad de visualización de mensajes	10 líneas de 33 caracteres como máximo 2 líneas de 5 caracteres como mínimo Objetos gráficos (gráfico de barras, botón, luz ...)
Voltaje de suministro nominal	24 V DC
Alimentación	Fuente externa
Protocolos descargables	Modbus  Third party protocols  Uni-TE
Estándares	EC 60068-2-27 IEC 60068-2-6 IEC 61131-2 UL 508 CSA C22.2 No 14
Certificación de productos	ATEX zone 2/22 CSA Class 1 Division 2 UL Class 1 Division 2 UL 1604
Temperatura ambiente de operación	0...55 °C
Temperatura ambiente para el almacenamiento	-20...60 °C
Humedad relativa	0...85% sin condensación

---

**Anexo IV Principales especificaciones del Altivar 61**

Gama de productos	Altivar 61
Tipo de productos o componentes	Variador de velocidad
Aplicación específica de producto	Bombeo o ventilación
Nombre de componente	ATV61
Potencia de motor en kW	0.37 kW monofásica en 200...240 V 0.75 kW trifásica en 200...240 V
Tensión de alimentación asignada	200...240 V (- 15...10 %)
Número de fases	Monofásico o trifásico
Corriente de línea	5.3 A para 240V trifásica a 0.75 kW 5.8 A para 240V monofásica 0.37 kW 6.1 A para 200V trifásica a 0.75 kW 6.9 A para 200V monofásica 0.37 kW
Filtro CEM	Filtro CEM clase C2 integrado
Estilo de conjunto	Con disipación de calor
Potencia aparente	1.4 kVA para 240V monofásica 0.37 kW 2.2 kVA para 240 V trifásica 0.75 kW
Corriente de cortocircuito de la red	5 kA para monofásico y trifásico
Máxima corriente transitoria	3.6 A para 60s monofásica 5.7 A para 60s trifásica
Frecuencia de conmutación nominal	12kHz
Frecuencia de conmutación	1...16kHz regulable

	12...16kHz con factor de desclasificación de la capacidad
Perfil de control de motor asíncrono	Ley tensión/frecuencia, 2 puntos Ley tensión/frecuencia, 5 puntos Control vectorial de flujo sin sensor, estándar Ley tensión/frecuencia - ahorro de energía, U/f cuadrática
Perfil de control del motor síncrono	Control vectorial sin sensor, estándar
Protocolo del puerto de comunicación	Modbus, CANopen
Tipo de polarización	Sin impedancia para Modbus
Límites de tensión de alimentación	170...264V
Frecuencia de alimentación	50...60 Hz (- 5...5 %)
frecuencia de red	47,5...63 Hz
corriente de salida en continuo	3 A en 12 kHz, 230 V monofásica 4.8 A en 12 kHz, 230 V trifásica
frecuencia de salida	0.1...599 Hz
rango de velocidades	1...100 en modo de bucle abierto, sin respuesta rápida
precisión de velocidades	+/-10% de deslizamiento nominal para 0,2 $T_n$ a $T_n$ variación de par sin respuesta de velocidad
precisión de par	+/- 15 % en modo de bucle abierto, sin respuesta rápida

sobrepasar transitorio	130 % Par nominal del motor, +/- 10 % para 60 s
par de frenado	30 % sin resistencia de frenado Menor o igual a 125 % con resistencia de frenado
bucle de regulación	Regulador de frecuencia PI
señalizaciones en local	1 LED rojo presencia de tensión unidad
tensión de salida	menor o igual que la potencia de tensión de alimentación
Aislamiento	Aislamiento galvánico entre terminales de alimentación y control
tipo de cable	Con un kit IP21 o IP31 : 3-ramal cable IEC en 40 °C, cobre 70 °C PVC Sin juego de montaje : 1-ramal cable IEC en 45 °C, cobre 70 °C PVC Sin juego de montaje : 1-ramal cable IEC en 45 °C, cobre 90 °C XLPE/EPR Con juego UL Tipo 1 : 3-ramal cable UG 508 en 40 °C, cobre 75 °C PVC
Suministro	Alimentación interna para potenciómetro de referencia (1-10 kOhmios) 10,5 V CC +/- 5 %, <= 10mA para protección de sobrecarga y cortocircuito Alimentación interna 24 V CC (21...27 V), <= 200mA para protección de sobrecarga y cortocircuito Alimentación externa 24V CC (19...30 V)

número de entradas analógicas	2
tipo de entrada analógica	<p>AI1-/AI1+ tensión diferencial bipolar +/- 10 V CC, tensión de entrada 24 V máx., impedancia 11 bits + signo</p> <p>AI2 corriente configurable por software 0...20 mA, frecuencia de cambio 242 Ohm, impedancia 11 bits</p> <p>AI2 tensión configurable por software 0...10 V CC, tensión de entrada 24 V máx., frecuencia de cambio 30000 Ohm, impedancia 11 bits</p>
duración de muestreo	<p>Entrada discreta LI6 2 ms, +/- 0,5 ms</p> <p>Entrada analógica AI1-/AI1+ 2 ms, +/- 0,5 ms</p> <p>Entrada analógica AI2 2 ms, +/- 0,5 ms</p> <p>Salida analógica AO1 2 ms, +/- 0,5 ms</p> <p>Entrada discreta LI1...LI5 2 ms, +/- 0,5 ms</p>
error lineal	<p>AI1-/AI1+ +/-0,15% del valor máximo</p> <p>AI2 +/-0,15% del valor máximo</p> <p>AO1 +/-0,2 %</p>
número de salida analógica	1
tipo de salida analógica	<p>AO1 corriente configurable por software, rango salida análoga 0...20mA, frecuencia de cambio 500Ohm, impedancia 10 bits</p> <p>AO1 salida lógica configurable por sw 10V, &lt;= 20mA</p> <p>AO1 tensión configurable por software, rango salida análoga 0...10V CC, frecuencia de cambio 470Ohm, impedancia 10 bits</p>
número de salida digital	2

salida discreta	(R1A, R1B, R1C) lógica relé configurable NA/NC, durabilidad eléctrica 100000 ciclos (R2A, R2B) lógica relé configurable NA, durabilidad eléctrica 100000 ciclos
tiempo de respuesta	$\leq 100\text{ms}$ en STO (torque de seguridad fuera) R1A, R1B, R1C $\leq 7\text{ms}$ , tolerancia $\pm 0,5\text{ms}$ R2A, R2B $\leq 7\text{ms}$ , tolerancia $\pm 0,5\text{ms}$
corriente mínima de conmutación	Lógica relé configurable 3mA en 24V CC
número de entrada digital	7
Entrada discreta	(LI1...LI5) programable, 24V CC, límites de tensión $\leq 30\text{ V}$ , (LI6) switch configurable, 24V CC, límites de tensión $\leq 30\text{ V}$ , (LI6) sonda PTC configur. por conmut., 0...6, impedancia 1500 Ohm (PWR) entrada seguridad, 24 V CC, límites de tensión $\leq 30\text{ V}$ , frecuencia de cambio 1500 Ohm
Entrada lógica	LI1...LI5 lógica positiva (fuente), $< 5\text{ V}$ (estado 0), $> 11\text{ V}$ (estado 0) LI1...LI5 lógica negativa (fregadero), $> 16\text{ V}$ (estado 0), $< 10\text{ V}$ (estado 0) LI6 (si configurado como entrada lógica) lógica negativa (fregadero), $> 16\text{ V}$ (estado 0), $< 10\text{ V}$ (estado 0) LI6 (si configurado como entrada lógica) lógica positiva (fuente), $< 5\text{ V}$ (estado 0), $> 11\text{ V}$ (estado 0)

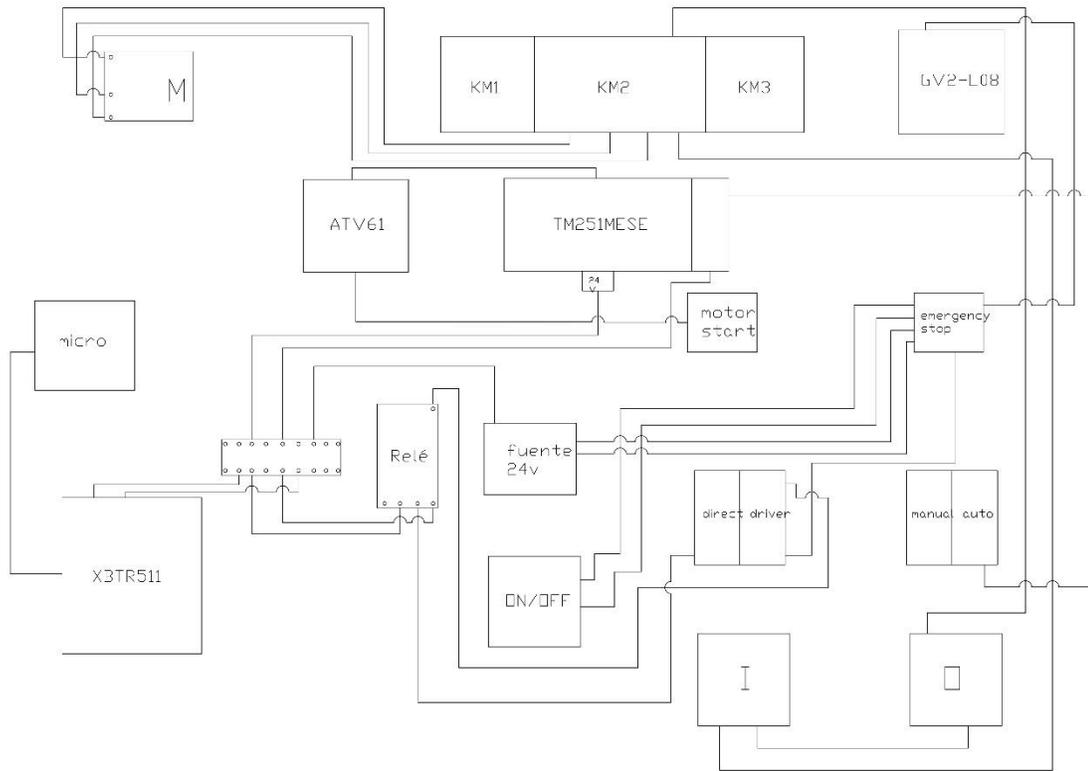
frenado hasta parada	Mediante inyección de CC
Tipo de protección	<p>Variador de velocidad contra superación velocidad límite</p> <p>Variador de velocidad contra pérdida fase de entrada</p> <p>Variador de velocidad interrupción en circuito control</p> <p>Variador de velocidad interrupción fase entrada</p> <p>Variador de velocidad sobretensión en la línea de alimentación</p> <p>Variador de velocidad Subtensión de la línea de alimentación</p> <p>Variador de velocidad sobre intensidad entre fases de salida y tierra</p> <p>Variador de velocidad protección contra sobrecalentamiento</p> <p>Variador de velocidad sobre tensiones en bus CC</p> <p>Variador de velocidad Power Removal</p> <p>Variador de velocidad cortocircuito entre fases del motor</p> <p>Variador de velocidad protección térmica</p> <p>Motor interrupción fase motor</p> <p>Motor Power Removal</p> <p>Motor protección térmica</p>
resistencia de aislamiento	> 1 mOhm en 500 V CC para 1 minuto a tierra
Resolución de frecuencia	<p>Entrada analógica 0.024/50Hz</p> <p>Unidad visualización 0.1Hz</p>

---

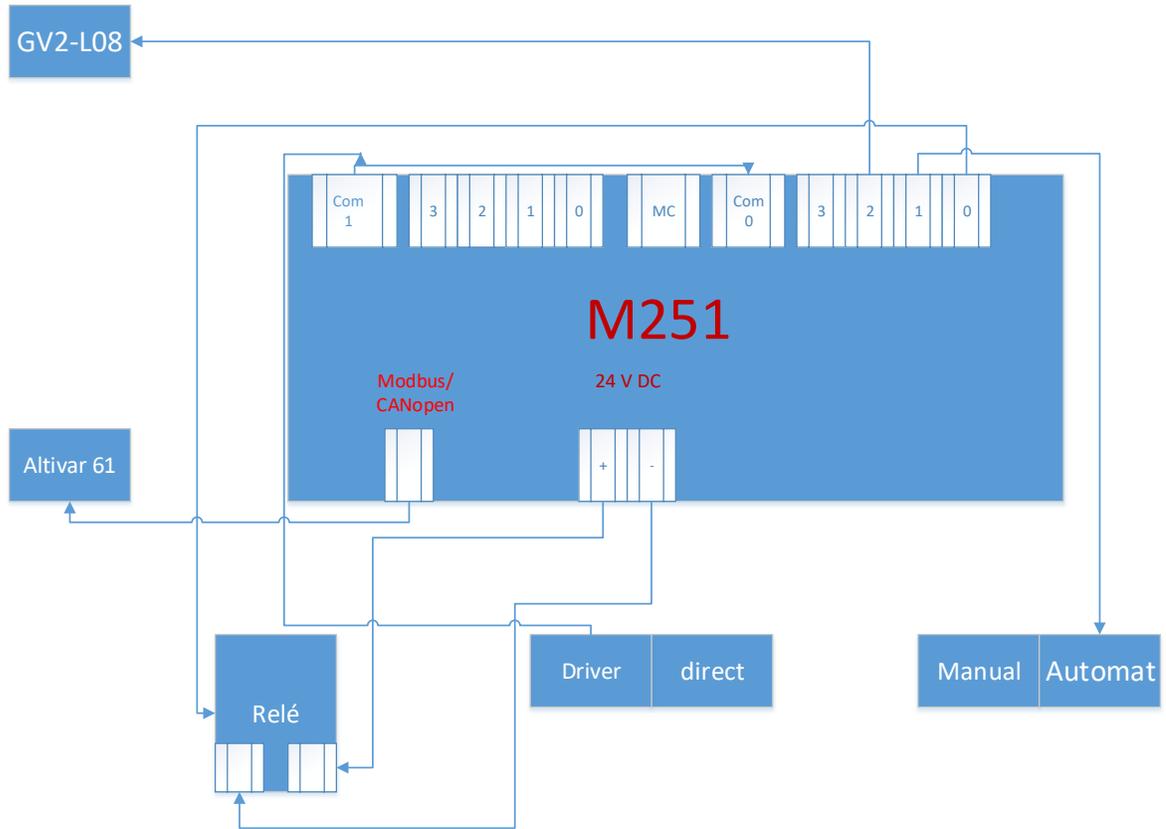
tipo de conector	1 RJ45 para Modbus en cara frontal 1 RJ45 para Modbus en terminal SUB-D 9 macho en RJ45 para CANopen
interfaz física	RS 485 de dos hilos para código de fecha de fabricación Modbus
marco de transmisión	RTU para Modbus
velocidad de transmisión	20kbps, 50kbps, 125kbps, 250kbps, 500kbps, 1Mbps para CANopen. 4800bps, 9600bps, 19200bps, 38.4kbps para Modbus en terminal 9600bps, 19200bps para Modbus en cara frontal
formato de datos	8 bits, 1 stop, paridad impar para Modbus en cara frontal 8 bits, par impar o paridad no configurable para Modbus en terminal
número de direcciones	1...247 para código de fecha de fabricación Modbus 1...127 para CANopen
método de acceso	Esclavo para CANopen
Marcado	CE
posición de funcionamiento	Vertical +/- 10 grados
peso del producto	3kg
anchura, altura y profundidad	130mm*230mm*175mm
nivel de ruido	43 dB de acuerdo con 86/188/EEC

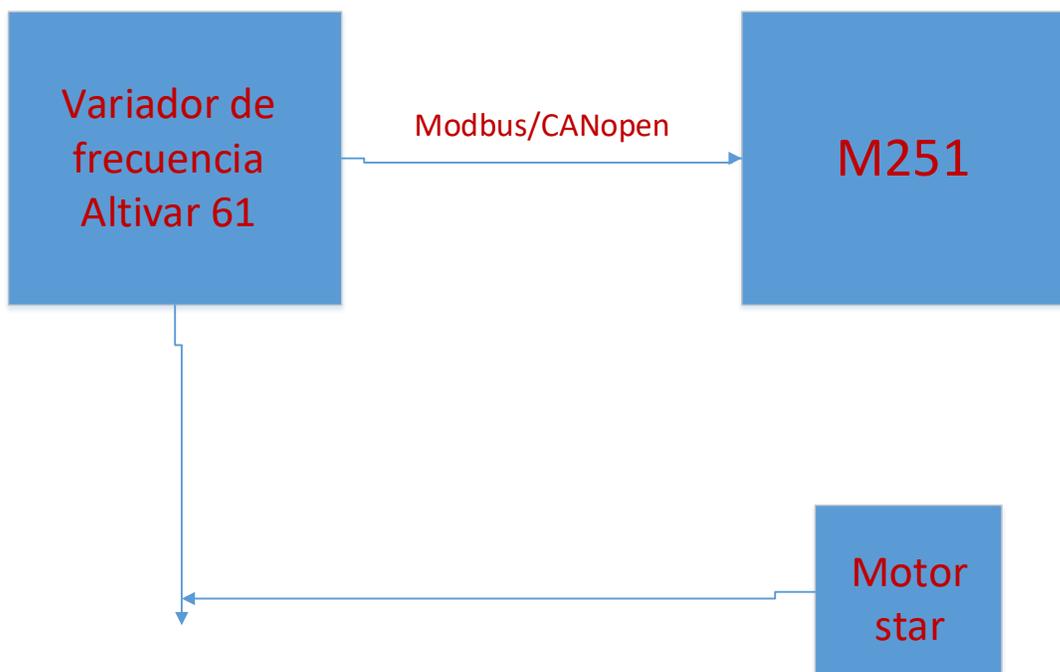
---

fuerza dieléctrica	2830 V CC entre tierra y terminales de potencia 4230 V CC entre control y terminales de potencia
certificaciones del producto	CSA, C-Tick, DNV, GOST, NOM 117, UL
resistencia a las vibraciones	1,5 mm pico a pico (f = 3...13 Hz) de acuerdo con EN/IEC 60068-2-6 1 gn (f = 13...200 Hz) de acuerdo con EN/IEC 60068-2-6
resistencia a los choques	15 gn para 11 ms acorde a EN/IEC 60068-2-27
Humedad relative	5...95 % sin condensación de acuerdo con IEC 60068-2-3 5...95 % sin goteo de agua de acuerdo con IEC 60068-2-3
Temperatura ambiente funcionamiento	de -10...50°C sin reducir la capacidad normal 50...60°C con factor de desclasificación de la capacidad
Temperatura ambiente almacenamiento	de -25...70 °C
Altitud máxima de funcionamiento	<= 1000 m sin desclasificación 1000...3000 m con desclasificación de corriente del 1% por 100 m

**Anexo V Conexiones generales de la maqueta**

### Anexo VI Conexiones eléctricas y de comunicaciones del PLC M251



**Anexo VII Conexiones de eléctricas y de comunicación del Altivar 61**

## Anexo VIII Programación estructurada en el POU

