

**PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS  
SCADA EN INDUTRÓNICA DEL CARIBE S.A.S, BASADO EN ESTÁNDARES,  
NORMAS TÉCNICAS ISO E ISA Y EN BUENAS PRÁCTICAS DE INGENIERÍA**

**INGRID JOHANA DONADO ROMERO**

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
FLORIDABLANCA SANTANDER**

**2017**

**PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS  
SCADA EN INDUTRÓNICA DEL CARIBE S.A.S, BASADO EN ESTÁNDARES,  
NORMAS TÉCNICAS ISO E ISA Y EN BUENAS PRÁCTICAS DE INGENIERÍA**

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de Magister  
en Ingeniería Electrónica

**INGRID JOHANA DONADO ROMERO**

DIRECTOR:

**JUAN CARLOS VILLAMIZAR**

INGENIERO ELÉCTRICO

**UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
MAESTRÍA EN INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
FLORIDABLANCA SANTANDER**

**2017**

**Nota de aceptación**

---

---

---

---

---

---

---

**Firma del Presidente del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

---

**Firma del Jurado**

Floridablanca, Santander \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

## CONTENIDO

	Pág.
LISTA DE TABLAS .....	6
LISTA DE FIGURAS .....	7
RESUMEN.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1 INTRODUCCIÓN.....	10
2 JUSTIFICACIÓN .....	12
3 OBJETIVOS .....	14
4 MARCO TEÓRICO.....	15
4.1 INDUTRÓNICA DEL CARIBE .....	15
4.2 SCADAS.....	16
4.2.1 Propósitos de un sistema SCADA.....	17
4.2.2 Prestaciones de un sistema SCADA.....	18
4.2.3 Hardware de un sistema SCADA .....	20
4.3 EL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE.....	21
4.3.1 Sistema de comunicaciones. ....	21
4.4 ESTÁNDARES EN UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN. ....	22
4.5 TIPOS DE PROCESOS INDUSTRIALES. ....	23
4.5.1 Producción por lotes.....	23
4.5.2 Procesos continuos.....	24
4.6 PROGRAMACIÓN ESTRUCTURADA DE CONTROL POR PLC .....	24
4.7 ENTORNO DE PROGRAMACIÓN DE SIEMENS.....	25
4.8 NORMALIZACIÓN EN LA AUTOMATIZACIÓN. ....	26
4.9 INVESTIGACIÓN DEL ENTORNO DE AUTOMATIZACIÓN.....	28
4.9.1 Instrumento . ....	28
4.9.2 Resultados. ....	29
4.10 ESTUDIO E INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA INTERNACIONAL ...	29

4.11	NORMATIVA SELECCIONADA.	30
4.12	ASPECTOS NORMATIVOS A CONSIDERAR E INTERPRETACIÓN.	31
5	METODOLOGÍA	50
5.1	CASO DE ESTUDIO: PROCESO DE FABRICACIÓN DE PAPEL	50
5.1.1	Proceso productivo de papel.	50
5.1.2	FB1 Arrancador directo.	55
5.1.3	Fase I: Preparación del entorno de programación	67
5.1.4	Fase II: Planeación	68
5.1.5	Fase III: Programar.	70
5.1.6	Fase IV: Verificación.	70
5.1.7	Fase V: Configuración de la seguridad.	72
6	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	74
6.1	OBJETOS PROGRAMADOS	74
6.1.1	FB1 Arrancador Directo.	74
6.1.2	FB2 Arrancador suave.	76
6.1.3	FB3 Variador de velocidad.	78
6.1.4	FB4 Válvula ON-OFF.	81
6.1.5	FB5 Válvula proporcional.	84
6.2	VALORES QUE APORTAN LOS OBJETOS CREADOS CON ISA-106	87
7	CONCLUSIONES	91
8	RECOMENDACIONES	93
	BIBLIOGRAFÍA	94

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Modos de operación .....	39
<b>Tabla 2.</b> Matriz de estados y transiciones .....	45
<b>Tabla 3.</b> Entradas / salidas mínimas requeridas y normativas para programación del arrancador directo .....	56
<b>Tabla 4.</b> Entradas / salidas mínimas requeridas y normativas para programación del arrancador Suave.....	77
<b>Tabla 5.</b> Entradas / salidas mínimas requeridas y normativas para programación del variador de velocidad .....	80
<b>Tabla 6.</b> Entradas / salidas mínimas requeridas y normativas para programación de una Válvula ON-OFF .....	83
<b>Tabla 7.</b> Entradas / salidas mínimas requeridas y normativas para programación del válvula proporcional .....	86

## LISTA DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1.</b> Estructura de un programa de usuario.....	26
<b>Figura 2.</b> Integración de diferentes aspectos normativos.....	32
<b>Figura 3.</b> ISA-106 Complemento de ISA-18.2 gestión de alarmas .....	35
<b>Figura 4.</b> ISA-95,88 y 106, gerarquía de equipos y modelos físicos .....	36
<b>Figura 5.</b> Automatización de procedimientos a través de estados de procesos..	38
<b>Figura 6.</b> Diagrama de transición de estados.....	43
<b>Figura 7.</b> P&ID Proceso de producción de papel, Unibol S.A .....	51
<b>Figura 8.</b> Esquema de potencia y mando para la puesta en marcha del motor ..	56
<b>Figura 9.</b> Lógica de programación para encendido y apagado en modo manual	60
<b>Figura 10.</b> Lógica de programación para encendido en modo automático.....	61
<b>Figura 11.</b> Lógica para la activación de una falla .....	62
<b>Figura 12.</b> Lógica de programación para el PROMP READY .....	63
<b>Figura 13.</b> Lógica de programación para el PROMP retardo al arranque .....	63
<b>Figura 14.</b> Lógica de programación para el promp retardo a la parada .....	64
<b>Figura 15.</b> Lógica de programación para el indicador de estado RUNNUNG .....	64
<b>Figura 16.</b> Lógica de programación para el PROMP STOPPED.....	65
<b>Figura 17.</b> Diagrama de flujo para la metodología de estandarización .....	66
<b>Figura 18.</b> Estructura de programación de un bloque de Instancia .....	67
<b>Figura 19.</b> Menú principal en WINCC FLEXIBLE – Prueba de objetos .....	71
<b>Figura 20.</b> HMI en WINCC FLEXIBLE – Prueba de objetos creados .....	73
<b>Figura 21.</b> FB1- Controles generales de arrancador directo y arrancador suave..	75
<b>Figura 22.</b> Presentación externa de los arrancadores suaves. ....	76
<b>Figura 23.</b> Presentación variador de velocidad, esquema de conexiones .....	79
<b>Figura 24.</b> Válvula ON/OFF con actuador final de control.....	82
<b>Figura 25.</b> Válvula de control proporcional por posicionamiento .....	85

## RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

**TITULO:** PROCEDIMIENTO PARA EL DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE SISTEMAS SCADA EN INDUTRÓNICA DEL CARIBE S.A.S, BASADO EN ESTÁNDARES, NORMAS TÉCNICAS ISO E ISA Y EN BUENAS PRÁCTICAS DE INGENIERÍA

**AUTOR(ES):** Ingrid Johana Donado Romero

**PROGRAMA:** Maestría en Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR(A):** Juan Carlos Villamizar Rincon MSc

### RESUMEN

El presente trabajo de grado hace parte de una serie de resultados de un trabajo investigativo desarrollado con el propósito de realizar un aporte a empresas dedicadas a la automatización de procesos industriales como la elaboración de productos alimenticios, fabricación de diferentes insumos, generación eléctrica, entre otros, en miras de alcanzar una mayor calidad y competitividad en sus desarrollos de Sistemas "SCADA" (Supervisory Control And Data Acquisition, Control Supervisor y adquisición de datos). Es importante resaltar, que de todas las bondades que ofrece un sistema SCADA, la presente investigación se centra en la etapa de control, ya que incide directamente en la programación del Controlador Lógico Programable. El trabajo permitió especificar una metodología conformada por 8 procedimientos de desarrollo estandarizado de funciones o también llamados 'objetos' de programación, basada en normas ISA y en buenas prácticas de ingeniería. Se inicia con el estudio de las normativas existentes, siguiendo con la selección de los aspectos a tener en cuenta de cada norma y finalmente, la programación de funciones u objetos comúnmente utilizados en diferentes sistemas de control. Para efectos de plasmar un modelo que sirva como guía a las compañías en sus futuros desarrollos, además de comprobar la funcionalidad del mismo, se seleccionó como modelo un proceso de producción de papel; en el cual se realizó identificación de los objetos mínimos requeridos y finalmente su programación sólida, dando como resultado unos bloques de funciones muy eficientes, con más de una docena de valores asociados, aplicables a cualquier tipo de proceso industrial en el que se cuente con procesos automatizados

### PALABRAS CLAVE:

estados, modos, regulación, objetos, programación, transición.

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

## GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

**TITLE:** Procedure for the design and implementation of SCADA systems at INDUTRONICA DEL CARIBE S.A.S based on standars, ISO and ISA normative, and good engineering practices

**AUTHOR(S):** Ingrid Johana Donado Romero

**FACULTY:** Maestría en Ingeniería Electrónica

**DIRECTOR:** Juan Carlos Villamizar Rincon MSc

### ABSTRACT

This master thesis is part of a set of outcomes of a research work developed with the purpose of making a contribution to companies involved in automation of industrial processes as the elaboration of food products, manufacture of different supplies, energy generation, among others, aiming to reach a better quality and competitiveness in the development of SCADA (Supervisory and Control Systems). It is important to emphasize that, among all of the benefits that a SCADA system offers, the present research focuses on the Control, because it directly affects the programming of the Programmable Logic Controller, PLC. This work permitted to specify a methodology formed by 8 procedures of function standardized development also called programming 'objects', based in ISA standards and good engineering practices. It begins with the study of already existent standards, and follows with the selection of the aspects to consider of each standard and finally, the programming of functions or objects commonly used in different control systems. In order to stablish a model that can serve as a guide for different companies in their future programs, and to verify their functionality, a paper production process was selected as a model, in which an identification of the minimum required objects and their solid programming was performed, resulting in very efficient function blocks, with more than a dozen of associated values, applicable to any sort of industrial process that includes automatisms.

### KEYWORDS:

states, modes, regulations, objects, programming, transition.

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

## 1 INTRODUCCIÓN

Las empresas de automatización en Colombia deben estar a la vanguardia de la estandarización, para poder competir en un mercado cada vez más globalizado. INDUTRÓNICA DEL CARIBE S.A.S. es una compañía de ingeniería que provee soluciones integradas en las áreas de informática, telecomunicaciones, sistemas inteligentes de transporte, automatización y energía, así como servicios de asesoría, consultoría y direccionamiento tecnológico.

El compromiso y la búsqueda de transitar continuamente por la ruta que conduce hasta la excelencia, de innovar, de buscar continuas mejoras en el proceso de producción, ha hecho que la compañía halla identificado factores como la falta de uniformidad en sus desarrollos. El hecho que cada desarrollo tenga el estilo propio del programador, que no exista una metodología única de programación, influye directamente en que no se pueda seguir escalando hacia la competitividad, ya que no es tarea fácil dar continuidad a un proyecto iniciado por otro ingeniero, o bien, encontrar en qué punto va el desarrollo, no existen librerías completas de elementos que puedan ser usados cada vez que se necesite desarrollar un sistema SCADA; y siempre es necesario comenzar de ceros.

El trabajo consistió en especificar un procedimiento de desarrollo de proyectos SCADA basado en estándares, normas técnicas y en buenas prácticas de ingeniería; iniciando desde el estudio de las normativas existentes, la selección de los aspectos a tener en cuenta y finalmente el despliegue del mismo; para efectos de plasmar un procedimiento que sirva como guía a la compañía en siguientes desarrollos, además de comprobar la funcionalidad del mismo, se seleccionó un proceso modelo en el que se hace uso de la misma, iniciando con la identificación y la descripción de los objetos mínimos requeridos en la plataformas de desarrollo

SCADA, continuando con el desarrollo de las funciones u objetos y la estandarización de las variables a usar para ser llamadas en los nuevos programas. Podría decirse que un sistema SCADA tiene lugar en la aplicación e integración de la electrónica industrial con un sistema de control, comunicaciones industriales e informática aplicada [5]. Todo parte de la necesidad de automatizar el cálculo matemático, cuyo desarrollo fue dependiendo de la evolución de la electrónica, y los ordenadores; los cuales finalmente se adaptan para realizar tareas de adquisición de datos y control de procesos. Para esta adaptación también fue necesario; por un lado, el desarrollo de paquetes de software aplicados que permitieran la implementación de un sistema SCADA y de otro lado la evolución de sistemas de visualización, control a distancia y transmisión de datos [6].

Se afirma que las refinerías de petróleo y gas en general, se basan en un sistema de control distribuido (DCS) para proporcionar todos los procesos y funciones de control de los equipos. En este artículo investigativo [7], un sistema SCADA / PLC se utiliza para controlar toda una refinería de petróleo en lugar del control convencional a través de DCS.

En lo que respecta el presente trabajo, fue posible especificar una metodología que incluye 8 procedimientos de desarrollo estandarizado de funciones o también llamados 'objetos' de programación, basada en normas ISA y en buenas prácticas de ingeniería, en el cual se realizó la identificación de los objetos mínimos requeridos para un proceso modelo; controles para distintos tipos de motores y de válvulas y finalmente su programación sólida.

Como resultado directo se obtienen unos objetos muy eficientes, con más de una docena de valores asociados, aplicables en diferentes procesos industriales susceptibles a ser monitoreados y/o controlados.

## 2 JUSTIFICACIÓN

Las grandes empresas en la actualidad se hacen más competitivas y adoptan más estrategias a fin de garantizar el éxito. Estas organizaciones están adoptando herramientas de optimización, basadas en normativas y en elementos que conjugados comprometen tanto a empleados como supervisores, a vincularse con la organización, a través de un sentimiento de compromiso para alcanzar los objetivos de la misma.

La necesidad de especificar un procedimiento para diseñar de manera uniforme sistemas SCADA incidirá en la optimización de los desarrollos, ya que mediante su análisis se podrán establecer los lineamientos a seguir en cuanto a evitar aumento de tiempos de ejecución, reprocesos, estancamiento de los conocimientos y experiencias, abandono de memorias de los proyectos realizados o ausencia de las mismas, pérdida de competitividad, dificultad para la asignación de los recursos de personal, problemas en la ejecución de los proyectos, interrupciones, entre otras. Por lo tanto, genera beneficios expresados en la optimización de los procesos de desarrollo, a fin de mejorar la calidad, el control de la gestión, la satisfacción y la respuesta a los clientes en forma oportuna y eficiente para el beneficio de toda la empresa y mantener un nivel de satisfacción y un equilibrio.

Esta investigación también se justifica desde tres puntos de vista. Desde el punto de vista práctico, ya que la misma propone al problema planteado una estrategia de acción que al aplicarla, contribuirá a resolverlo. Desde el punto de vista teórico, esta investigación generará reflexión y discusión tanto sobre el conocimiento existente del área investigada, como dentro del ámbito de las normativas que regulan los sistemas de control y supervisión, ya que, de alguna manera u otra, se confrontan teorías, lo cual necesariamente conlleva hacer epistemología del conocimiento existente.

Desde el punto de vista metodológico, esta investigación proporcionará un aporte sustancial y conforme a las normas, sobre la creación de sistemas SCADA, una parte importante del portafolio de servicios que ofrece la compañía INDUTRÓNICA DEL CARIBE S.A.S., en el área de control, que impulsará la misma a posicionarse en el mercado con servicios de alta calidad, abriendo nuevos caminos para empresas que deseen adoptar propósitos afines.

### **3 OBJETIVOS**

#### **OBJETIVO GENERAL**

Especificar un procedimiento para el diseño y la implementación de sistemas SCADA en INDUTRÓNICA DEL CARIBE S.A.S, basado en estándares internacionales, normas técnicas ISO e ISA y en buenas prácticas de ingeniería.

#### **OBJETIVOS ESPECIFICOS**

Consultar las tendencias y el universo normativo existente en el medio para la creación y regulación de sistemas SCADA.

Identificar y seleccionar los segmentos de las normas que harán parte del procedimiento de diseño e implementación de sistemas SCADA que se usarán para las diferentes empresas.

Identificar y caracterizar tecnológicamente un sector en cuanto a su proceso productivo, que sirva como modelo para la especificación del procedimiento de soluciones SCADA, definiendo los componentes y los objetos mínimos requeridos para su desarrollo.

Crear los objetos seleccionados, mediante el procedimiento de estandarización creado.

Definir un procedimiento basado en estándares, normas, tendencias y buenas prácticas que permita uniformizar los desarrollos de sistemas de supervisión.

Documentar el procedimiento de realización, que soporte el trabajo realizado.

## **4 MARCO TEÓRICO**

En el presente capítulo, se desarrolla en forma resumida la teoría que fundamenta el presente trabajo, tomando como base el planteamiento del problema. Se inicia exponiendo aspectos importantes sobre la compañía para la cual se realizó el trabajo, seguidamente se detallan aspectos sobre los sistemas de supervisión, SCADA, además de exponer diferentes aspectos sobre el Controlador Lógico Programable y su programación, complementando finalmente con agregados sobre las normas que regulan los sistemas de control y supervisión.

### **4.1 INDUTRÓNICA DEL CARIBE**

INDUTRONICA DEL CARIBE S.A.S es una compañía de ingeniería que provee soluciones integradas en el área de diseño y ejecución de proyectos y servicios en las áreas de informática, telecomunicaciones, sistemas inteligentes de transporte, automatización industrial y energía, asesorías, consultorías y direccionamiento tecnológico; como también, suministro de productos eléctricos, electrónicos y de software,

La Dirección de INDUTRÓNICA DEL CARIBE S.A.S. define sus políticas en términos de calidad, seguridad y salud en el trabajo, medio ambiente y responsabilidad social, y refleja su responsabilidad en estos aspectos, asignando los recursos necesarios para el diseño, implementación, verificación y retroalimentación permanente del Sistema Integrado de Gestión, trabajando conjuntamente con sus clientes, proveedores, colaboradores, accionistas y demás partes interesadas, sustentado en los siguientes compromisos de acción:

El cliente es su razón de ser y todas las fuerzas y actividades están dirigidas a su satisfacción, por lo tanto, demuestra un alto grado de responsabilidad y compromiso con el cumplimiento de los requisitos asociados a los proyectos de ingeniería.

INDUTRÓNICA DEL CARIBE S.A.S. ha desarrollado su experiencia apoyada en un amplio y valioso soporte de fabricantes líderes en las áreas manejadas y promocionadas, como también por retos impuestos por sus clientes quienes siempre han depositado su confianza en las soluciones que se han ofrecido y que han superado las expectativas.

Son muchos los beneficios alcanzados con la gestión desarrollada, entre los que se cuenta como muy significativo la confianza en nuestra ingeniería que en la actualidad es comparable con compañías extranjeras, abriendo paso a nuevas oportunidades de mercados a nivel nacional e internacional.

Provista de una Gerencia General, cuya función principal está enmarcada en la planificación, coordinación, dirección y ejecución de las labores encomendadas por ley, el objetivo del área administrativa de INDUTRÓNICA DEL CARIBE S.A.S. es principalmente manejar, de la mejor forma posible, los recursos de la empresa. Esta Gerencia da soporte permanente a las demás áreas de la compañía y está comprometida con el liderazgo en temas estratégicos necesarios para conseguir los principales objetivos de la organización.

## **4.2 SCADAS**

SCADA se puede definir como una aplicación o un software especialmente diseñado para funcionar sobre ordenadores, con el fin de tener el acceso a datos remotos de procesos industriales, mediante protocolos y medios de comunicación definidos de acuerdo a cada aplicación; para su monitoreo y control.

Un sistema SCADA, permite comunicarse con diversos dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables, etc.) y controlar el proceso en forma automática desde la pantalla de un ordenador, la cual puede ser configurada y modificada con facilidad por el operador del sistema central.

No hay que confundir a SCADA con un sistema de control. SCADA es la interfaz entre los sistemas de control y los órganos de gestión de dicho control. Estos se utilizan, por ejemplo, en el control de oleoductos, sistemas de transmisión de energía eléctrica, yacimientos de gas y petróleo, redes de distribución de gas natural, generación energética (convencional y nuclear) y en general, en cualquier proceso industrial susceptible a monitorear y/o controlar. Debido al gran auge de sistemas SCADA, se han venido desarrollando numerosos productos, en hardware y software, diseñados y adaptados para este tipo de sistemas; inclusive en las comunicaciones industriales han surgido buses de comunicación adaptados a sistemas SCADA.

**4.2.1 Propósitos de un sistema SCADA.** Una instalación SCADA debe garantizar:

- **Manejo desde un PC.** Este manejo debe incluir no solo la visualización del estado de los elementos monitoreados, sino su control y manipulación.
- **Hardware accesible.** Hardware fácil de instalar y usar; fácilmente configurable, cuyo montaje y mantenimiento pueda ser realizado de manera sencilla.
- **Software flexible.** Cuya interfaz gráfica sea amigable con el usuario. Debe permitir la integración con las herramientas ofimáticas y de producción, e integración de funciones de mando y supervisión.
- **Arquitectura abierta.** Debido a que un sistema SCADA está comprendido por varias tecnologías; se debe garantizar su inter-funcionalidad. Las aplicaciones deben ser soportadas por los sistemas operativos más comunes, y se deben permitir combinaciones con aplicaciones estándar y de usuario que permitan a los integradores crear soluciones de mando y supervisión optimizadas.
- **Arquitectura escalable.** Si los niveles de producción crecen y a su vez los sistemas monitoreados se hacen más grandes o robustos, lo ideal es que no sea

necesario desmontar el sistema SCADA presente, sino que este sea escalable y pueda crecer y adaptarse a las nuevas necesidades.

- **Comunicaciones confiables.** El sistema SCADA debe garantizar el transporte de datos entre sus respectivos bloques o sistemas controlados. Esta comunicación debe ser flexible, adaptable a la topología del sistema y soportada por una tecnología de transporte de datos estandarizada. Para este propósito ya están disponibles numerosos protocolos de comunicaciones industriales.

**4.2.2 Prestaciones de un sistema SCADA.** Otra manera de describir un sistema SCADA es desde el punto de vista de sus prestaciones. Se puede decir que su función principal es establecer una interfaz entre el hombre y la máquina, con una serie de servicios, funciones y utilidades encaminadas a la supervisión, control y manejo de datos. Para esto se han desarrollado paquetes de software que permiten que un sistema SCADA tenga prestaciones como:

- **La adquisición de datos y monitoreo:** Los datos y señales (temperatura, presión, tiempos de operación, estado, entre otras señales eléctricas de variables) se leen en tiempo real por parte de los operadores de planta. Se leen los datos de los autómatas (temperaturas, velocidades, detectores...). Una máquina o instalación pueden ser vigilados desde muchos kilómetros de distancia. La adquisición de datos remota que ofrece un sistema SCADA lo hace un sistema muy atractivo y con innumerables aplicaciones; mientras los datos se puedan convertir en señales eléctricas o electromagnéticas que se transporten por medios guiados o no guiados, no hay límites en el tipo de señales a monitorear; alarmas, variables eléctricas o variables físicas.
- **La supervisión:** Cuando el monitoreo incluye la planeación y registro de tareas, con el fin de gobernar las decisiones que se toman sobre la planta; se habla de supervisión. Se puede definir la palabra *supervisar* como ejercer la inspección superior en determinados casos, ver con atención o cuidado y someter una cosa

a un nuevo examen para corregirla o repararla permitiendo una acción sobre la cosa supervisada [8]. Los sistemas SCADA permiten configurar la realización de tareas de forma periódica o programada, automáticamente. También se pueden configurar acciones de respuesta ante ciertos problemas. Un sistema SCADA puede ayudar considerablemente a las acciones de supervisión humana.

- **El control:** Las acciones de adquisición de datos y supervisión, arrojan valores y permiten conocer el estado actual de las variables asociadas a los sistemas, plantas o máquinas monitoreadas. Cuando estas lecturas obligan a tomar acciones – ya sea de manera manual o automática - para ajustar el funcionamiento de los sistemas para que su comportamiento se ajuste a un ideal, se comienza a hablar de control. A los sistemas SCADA, por estar montados en plataformas gobernadas por sistemas informáticos, se les pueden implementar programas orientados al control de procesos de forma automática. El control manual genera lo que se conoce como *sistemas de mando*, donde los operadores controlan de manera remota los equipos. Muchas acciones de mando, sin embargo, pueden ser programadas, distribuidas y ejecutadas en varios sistemas a la vez. Algunas acciones de control son avanzadas, donde los sistemas SCADA usan paquetes matemáticos que implementan algoritmos de control especializados.
- **El registro:** Toda la información de un sistema SCADA es susceptible a ser guardada en memoria para luego ser usada para mantenimiento, informes, seguimiento, etc., por ejemplo, la generación de históricos de señal de planta, que pueden ser trasladados para su proceso sobre una hoja de cálculo; creación de informes, avisos y documentación en general.
- **La seguridad:** Solo el personal autorizado puede acceder a los sistemas controlados. Algunos sistemas SCADA incluyen protocolos de seguridad avanzados.

**4.2.3 Hardware de un sistema SCADA.** Un sistema SCADA, está dividido en cinco grandes bloques:

- **Captadores de datos:** Recopilan los datos de los elementos de control del sistema (por ejemplo, autómatas, reguladores, registradores) y los procesan para su utilización. Son los servidores del sistema.
- **Utilizadores de datos:** Los que utilizan la información recogida por los anteriores, como pueden ser las herramientas de análisis de datos o los operadores del sistema. Son los clientes.
- **Compartir información:** Mediante los clientes, los datos residentes en los servidores pueden evaluarse, permitiendo realizar las acciones oportunas para mantener las condiciones nominales del sistema. Mediante los denominados buses de campo, los controladores de proceso (generalmente autómatas programables o sistemas de regulación) envían la información a los servidores de datos (*Data Servers*), los cuales, a su vez, intercambian la información con niveles superiores del sistema automatizado a través de redes de comunicaciones de área local.
- **Interfaz Hombre Máquina (HMI, MMI):** Comprende los sinópticos de control y los sistemas de presentación gráfica. La función de un panel sinóptico es la de representar, de forma simplificada, el sistema bajo control (un sistema de aprovisionamiento de agua, una red de distribución eléctrica, una factoría).
- **Unidad Central (MTU, Master Terminal Unit):** Centraliza el mando del sistema. Se hace uso extensivo de protocolos abiertos, lo cual permite la interoperabilidad de multiplataformas y multisistemas. Un sistema de este tipo debe de estar basado en estándares asequibles a bajo precio para cualquier parte interesada. De que de esta manera, sea posible intercambiar información en tiempo real

entre centros de control y subestaciones situadas en cualquier lugar. En el centro de control se realiza, principalmente, la tarea de recopilación y archivado de datos. Toda esta información que se genera en el proceso productivo se pone a disposición de los diversos usuarios que puedan requerirla.

### **4.3 EL CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMABLE, PLC.**

Los controladores lógicos programables o PLC (*Programmable Logic Controller*), empezaron como sistemas de dedicación exclusiva al control de instalaciones, máquinas o procesos. Con el tiempo han ido evolucionando e incorporando cada vez más prestaciones en forma de módulos de ampliación, entre ellos los procesadores de comunicaciones, que han hecho desvanecerse la línea divisoria entre RTU y PLC, quedando incluidas todas las prestaciones en el PLC

**4.3.1 Sistema de comunicaciones.** El intercambio de información entre servidores y clientes se basa en la relación de productor-consumidor. Los servidores de datos interrogan de manera cíclica a los elementos de campo (*polling*), recopilando los datos generados por registradores, autómatas, reguladores de proceso, etc. Buses especiales de comunicación proporcionan al operador la posibilidad de comunicarse con cualquier punto, local o remoto, de la planta en tiempo real.

Gracias a los controladores suministrados por los diferentes fabricantes y a su compatibilidad con la mayoría de estándares de comunicación existentes (léase buses de campo), es posible establecer cualquier tipo de comunicación entre un servidor de datos y cualquier elemento de campo. Un servidor de datos puede gestionar varios protocolos de forma simultánea, estando limitado por su capacidad física de soportar las interfaces de hardware (las popularmente conocidas tarjetas de comunicación).

#### **4.4 ESTÁNDARES EN UN SISTEMA DE AUTOMATIZACIÓN.**

Se recomienda que la mayoría de sistemas de visualización industrial – básicos en sistemas SCADA - cumplan con una serie de estándares de visualización, en cuanto al entorno de trabajo, la ergonomía, y algunos aspectos contemplados en decretos, leyes o normas de algunos países.

En un sistema SCADA es muy importante la adecuación del entorno de trabajo, teniendo en cuenta que la responsabilidad del manejo de los procesos de una planta está al alcance de un computador y un *click* de un mouse, y los operarios deben estar en condiciones de trabajo adecuadas para evitar cansancio, estrés o descuido.

A entorno de trabajo se hace referencia tanto al entorno físico, como al diseño de visualización software. La claridad de presentación de la información es primordial, considerando que en algunas ocasiones hay más de un monitor mostrando cada uno un proceso diferente de planta, posiblemente cada proceso con un entorno software diferente. La información debe ser visible, clara, de cerca y de lejos, de tal manera que el operario pueda reaccionar rápidamente en caso de alarma, o pueda estar verificando los datos constantemente.

Todo trastorno físico por causa laboral está relacionado con algún factor de riesgo que no se previene adecuadamente mediante el cumplimiento de normas de seguridad. Los factores de riesgo se pueden asociar al tipo de trabajo, al entorno físico del puesto de trabajo, o al trabajador mismo.

Para evitar que estos factores se conviertan posteriormente en trastornos al trabajador se deben tomar algunas medidas preventivas. Los trastornos del trabajador a su vez se pueden clasificar en tres tipos: Trastornos visuales, musculoesqueléticos y mentales.

## 4.5 TIPOS DE PROCESOS INDUSTRIALES.

Un proceso puede definirse como una operación o desarrollo natural progresivo, marcado por una serie de cambios graduales que se suceden uno al otro en una forma relativamente fija y que conducen a un resultado determinado.

Principalmente se clasifican en dos grandes grupos:

- **Procesos continuos.** Se caracterizan por su flujo continuo de materia prima, energía y producto final. La salida de producto es ininterrumpida.
- **Procesos de manufactura discreta.** Se caracterizan por su flujo discreto de materia prima, energía y producto final. Las unidades producidas son identificables.

**4.5.1 Producción por lotes.** Proceso que conduce a la producción de cantidades finitas de material sometiendo cantidades de materiales de entrada a un conjunto ordenado de operaciones de proceso sobre un período de tiempo finito usando uno o más equipos.

Su naturaleza es discontinua: hay paradas de producción entre las tandas, por ejemplo, fabricación de cerveza. Se procesa una cantidad determinada de materia prima por tanda: por limitaciones de capacidad o exigencias de producción. El proceso maneja típicamente recetas (*recipes*).

Según ISA S88, El conjunto necesario de información que identifica de manera única los requisitos de producción de un producto específico. En otras palabras, un *récipe* o receta nos dice cómo combinar ingredientes (materias primas) utilizando equipos para hacer un producto.

**4.5.2 Procesos continuos.** Los procesos continuos son aquellos en los que la materia prima, los productos intermedios y finales son fluidos y son procesados de manera continua por un largo período de tiempo, en ocasiones por años, sin paro alguno. En lugar de la tecnología de productos, la tecnología de procesos regularmente es la llave para el éxito de la economía. Ejemplo de este tipo de operaciones se encuentran en industrias como la química, la petrolera y la energética.

Dos características propias de los sistemas continuos; El proceso se realiza durante un tiempo relativamente largo, requiere un período de arranque y cuando se detiene su parada no es instantánea, sino que requiere un tiempo de parada total, Las variables empleadas en el proceso y sistema de control son de tipo analógico; dentro de unos límites determinados las variables pueden tomar infinitos valores.

#### **4.6 PROGRAMACIÓN ESTRUCTURADA DE CONTROL POR PLC**

Un PLC es un equipo electrónico, programable en lenguaje no informático, diseñado para controlar en tiempo real y en ambientes industriales, procesos secuenciales. Trabaja con base en la información recibida por los captadores y el programa lógico interno, actuando sobre los accionadores de la instalación.

En caso de programas voluminosos, es recomendable, y a veces imprescindible, dividirlos en distintas secciones de programa. Las secciones de programas deben ser partes de programa cerradas en sí mismas que tenga una relación tecnológica o funcional. Estas partes de programa reciben el nombre de objetos bloques de función. Un bloque es una parte del programa de usuario delimitada por su función estructurada o finalidad de uso.

#### **4.7 ENTORNO DE PROGRAMACIÓN DE SIEMENS**

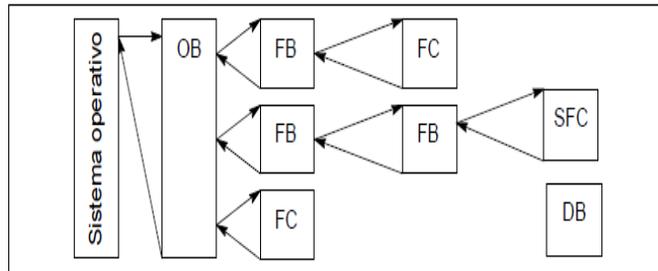
La presente investigación se desarrolla bajo la arquitectura de SIEMENS y es importante como este fabricante organiza y estructura su programación.

El software de programación STEP 7 de SIEMENS, ofrece la posibilidad de estructurar el programa de usuario, es decir, dividirlo en secciones individuales autónomas. Esto permite obtener grandes beneficios como:

- Programar de forma clara los programas voluminosos, estandarizar secciones individuales de programa.
- Simplificar la organización del programa, las terceras personas que acceden a los programas estructurados al realizar tareas de servicio técnico, mantenimiento o modificaciones posteriores pueden entenderlos con más facilidad y procesarlos de un modo sencillo.
- La prueba del programa se puede realizar por secciones, las partes del programa se pueden estandarizar y reutilizar, incluso se pueden trabajar varios programadores en un proyecto al mismo tiempo.

En la Figura 1, la función (FC) y el bloque de función (FB), están subordinados al bloque de organización (OB), para que puedan ser procesadas por la CPU sobre un sistema operativo o software principal que gestione los recursos de hardware y permita la interacción con las herramientas de software creadas, éstas tienen que ser llamada también desde el bloque de orden superior; a estos FB es lo que denominamos un “objeto” y constituyen el corazón y la base con la que se construyen todos los automatismos de plantas de procesos con varios sitios de operación a nivel mundial. Otros elementos utilizados en un programa de usuario son: Los Bloques de datos (DB), Las Funciones de sistema (SFC) y Los Bloques de funciones de sistema (SFB)

**Figura 1.** Estructura de un programa de usuario



Fuente: [6] *Curso-simatic-step-7-nivel-basico. Indutronics S.A.S*

Adicionalmente, un FB dispone de un bloque de datos asignado como memoria (bloque de datos de instancia). Los parámetros que se transfieren al FB, así como las variables estáticas, se memorizan en el DB de instancia. Las variables temporales se memorizan en la pila de datos locales. Los datos memorizados en el DB de instancia no se pierden al concluir el tratamiento del FB, mientras que los datos memorizados en la pila de datos locales sí.

#### **4.8 NORMALIZACIÓN EN LA AUTOMATIZACIÓN.**

La normalización es el proceso, método o sistema definido exhaustivamente para aplicar, instalar o describir un proceso o sistema específico. Para llegar al proceso de la normalización o a su producto, debe haber un consenso entre las empresas, instituciones o personas involucradas con el fenómeno a describir. El producto de este proceso es la norma. La normalización es parte integral de la instrumentación industrial. Es necesario conocer y manejar aspectos relativos a las normas para escoger un dispositivo o método de medición y para desarrollar o ejecutar correctamente un procedimiento. En el presente trabajo, se hizo necesaria una revisión de la normativa existente para estructurar correctamente los desarrollos de los objetos de programación y que estos a su vez queden estandarizados.

Revisando el universo normativo existente, relacionado con la creación y regulación de sistemas SCADA, en resumen, se tienen asociaciones de carácter internacional como:

- AENOR: Asociación Española de Normalización y Certificación.
- API: Instituto Estadounidense del Petróleo.
- ASME: Sociedad Norteamericana de Ingenieros de Manufactura.
- ASTM: Sociedad Norteamericana de Pruebas de Materiales.
- CEN: Comité Europeo de Normalización.
- IEC: Comisión Electrotécnica Internacional
- IEEE: Instituto de Ingenieros Electricistas y Electrónicos.
- FF: Fundación para Buses de Campo.
- ISA: Sociedad Americana de Instrumentación.
- CEN: Organismo Europeo de Normalización.
- ISO: Organización Internacional de Estandarización

Por otra parte, como asociaciones propias de algunos países se pueden citar:

- ANSI: Instituto Estadounidense de Normas.
- CONATEL: Comisión Nacional de Telecomunicaciones.
- COVENIN: Comisión Venezolana de Normalización.
- DIN: Normas Industriales Alemanas.
- FCC: Comisión Federal de Comunicaciones.
- NOM: Norma Oficial Mexicana
- UNE: Una Norma Española.

A parte de las normas también se definen los sellos de calidad, los cuales son un tipo de certificación que garantiza que el producto o sistema fue verificado y validado por la institución otorgante, garantizándose la información que el producto indica.

Algunos de estos sellos son:

- CE: Para la Comunidad Económica Europea,
- SA: Para los Productos Canadienses,

- NORVEN. Para Productos Venezolanos,
- UL. Para Productos Estadounidenses.

#### **4.9 INVESTIGACIÓN DEL ENTORNO DE AUTOMATIZACIÓN EN COLOMBIA**

Con el fin de conocer las diferentes metodologías que las empresas colombianas dedicadas a la automatización utilizan para establecer arquitecturas, criterios y normativas en la automatización de procesos, se diseñó una encuesta como instrumento de recolección de información, con preguntas sobre el tema. Sin embargo, se observó que las empresas a las cuáles se intentó abordar tienen ocultos sus modos de trabajo; así como también, reservas de tipo técnico, como suele suceder con la descripción detallada de un proceso de fabricación, de tipo comercial, y fórmulas de producción.

Para que la información pudiese mantener su valor y no perdiera su carácter confidencial, se realizó una encuesta con toda la libertad de ser respondida o no.

En la mayoría de los casos se detectaron respuestas de sentido común y que no especifican arquitectura, procedimiento o normativa alguna de uso, excepto para los casos en que se presentase un usuario que la exigiera. Debido a lo anteriormente mencionado, no se entra en detalle de las diferentes respuestas en el presente documento y sólo se da una visión global en cada aspecto indagado; adicionalmente, el número de empresas desarrolladoras de la región son pocas, siendo INDUTRÓNICA DEL CARIBE la más fuerte en el sector, liderando con la mayoría de experiencias y clientes del mercado de la Costa Caribe y otras regiones. De los 3 casos de estudio, los titulares de la información accedieron a transmitir algunos conceptos, pero no aprueban que la información se divulgue.

**4.9.1 Instrumento** . El instrumento utilizado fue una encuesta virtual por sugerencia específica de los analizados.

**4.9.2 Resultados.** En términos generales la información tiende a los siguientes conceptos:

- Las empresas del sector no cumplen con metodologías de desarrollo estandarizado para sistemas SCADA. Únicamente para el caso de interfaz hombre máquina utilizan algunos aspectos de ergonomía visual basados en la norma ISA 101 o a petición del cliente. Por lo general, los desarrollos son basados en buenas prácticas de ingeniería y en la experiencia de los desarrolladores, pero no se maneja un lineamiento específico.
- No se aplican normas para el desarrollo de programas para el PLC hasta el momento. Para el desarrollo de mímicos recomiendan la norma ISO 9241 y la ISA 101 que tratan aspectos de visualización.
- No se cuenta con librerías de objetos para ser reutilizados, sólo se guardan y documentan algunos desarrollos, pues hacen parte de la labor del ingeniero desarrollador asignado. Se manejan conceptos básicos de programación estructural y modular, consideraciones básicas de seguridad funcional (SIL2) y desarrollos de sistemas instrumentados de seguridad con PLC.
- Las empresas desearían estudiar a fondo las normativas y tener una metodología que les permita optimizar sus desarrollos y ser cada vez más competitivos.

#### **4.10 ESTUDIO E INTERPRETACIÓN DE LA NORMATIVA INTERNACIONAL**

En el presente apartado, se presenta el resultado de la búsqueda del universo normativo existente para la creación y regulación de sistemas SCADA, se listan cuáles normas existen, de qué trata cada una y luego se hace énfasis en la norma escogida para tener en cuenta en el desarrollo de la investigación.

Una vez se explica cuál fue la norma que se seleccionó y el porqué de dicha selección, se procede con la identificación y selección de los segmentos de las normas que se destinó a hacer parte del procedimiento de diseño e implementación de sistemas SCADA a utilizar. Se hizo necesario analizar e interpretar cada aspecto a tener en cuenta de la misma, puesto que no es suficiente con una simple traducción, esto representa una tarea bastante dispendiosa.

#### **4.11 NORMATIVA SELECCIONADA**

Una vez se investigó sobre el conjunto de normas existentes, que a su vez tocan muchos temas, para la parte de la programación en el PLC, se escogieron básicamente dos Normas: la norma ISA-88 (Control de Procesos por Lotes) y la norma ISA-106 (Control de procesos continuos) que heredan a su vez algunos aspectos de la ISA-95 (Seguridad en Sistemas de Control y Automatización Industrial).

Respecto de la norma ISA-88, en esta se trata de los procesos de control por lotes, o sea los procesos de control que tienen un inicio, un desarrollo y un fin; cuando ese fin se encuentra, el proceso termina y se puede reiniciar ese ciclo con un nuevo conjunto de materias primas para obtener el producto final que se obtiene de ese lote de proceso. Todos los procesos en la industria no funcionan así, hay otros procesos que son los famosos procesos continuos y aunque son dos filosofías diferentes, los objetos tienen que responder a ambas filosofías porque no puede haber un objeto que responda a una filosofía pero que no responda a la otra. Por ejemplo, un motor deberá arrancar y parar de la misma manera, tanto para el proceso continuo como para el proceso discontinuo, si se le da la orden de parar él debe parar, si se le da la orden de arrancar él debe arrancar, entonces un objeto debe cumplir con las dos normas. Es de aclarar que se tiene en cuenta la norma por lotes, puesto que la producción del papel, que fue el proceso escogido como modelo, clasifica también dentro de este grupo de procesos discontinuos.

Seguidamente, se seleccionaron los segmentos de las normas que harán parte del procedimiento de diseño e implementación de sistemas SCADA que se usarán para las diferentes empresas. En el presente caso, la norma finalmente seleccionada fue la norma ISA-88 de donde se rescataron los estados, comandos y las transiciones; como también, la norma ISA-106 de la cual se consideran aspectos importantes como los anuncios de los diferentes estados de operación de los equipos o entidades que hacen parte de los procesos industriales. En los siguientes literales se explica en que consiste cada norma y los aspectos a considerar para el desarrollo del presente trabajo.

#### **4.12 ASPECTOS NORMATIVOS A CONSIDERAR E INTERPRETACIÓN.**

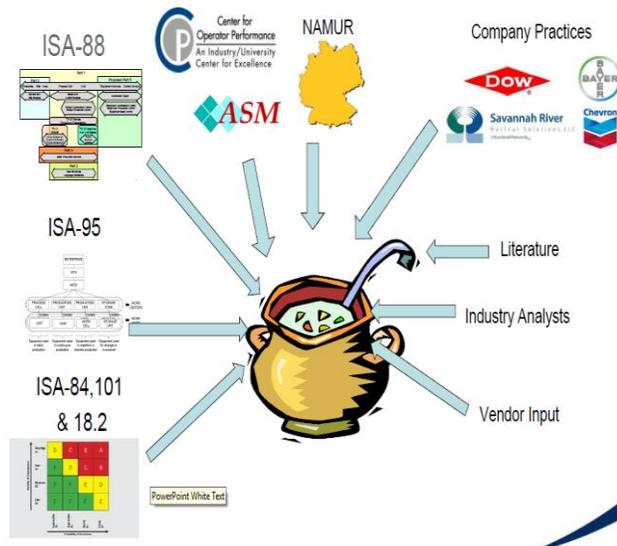
En la búsqueda de desarrollar una metodología que permitiera estandarizar la forma con la cual se programa un sistema de automatización que está compuesto por control en el PLC de un sistema SCADA; se encontró que la respuesta a esta necesidad está en el desarrollo de objetos estandarizados que puedan ser usados y reutilizados y que además, no deban ser modificados; objetos idóneos que respondan a una serie de premisas estructurales y normativas, y que a su vez pudieran ser usados sin temor de que cambien los preceptos que normativamente deben cumplirse. Los objetos deben ser muy eficaces, deberán usarse siempre que se necesite un objeto de la misma naturaleza, ya que lo que el usuario programador hace en la compañía, es interrelacionar objetos entre sí para lograr un objetivo final, eso se menciona en detalle un poco más adelante; la pregunta es entonces, ¿De dónde se originan éstos objetos? Estos objetos salen de la identificación de los segmentos de las normas que son aplicables a los mismos. A continuación, se explica en qué aspectos debe cumplir con las normas escogidas:

En términos de la ISA-88- capítulo 5, se definen conceptos del control por lotes, de esta parte se trabaja: estructura, equipos, entidades, recetas, planes de producción, información de la producción y arbitramento. Los seis primeros capítulos no tocan

directamente al objeto, mientras que el séptimo capítulo de conceptos de control por lotes si tratan de la programación del objeto como tal.

Debido a que la norma ISA-88 está dirigida a los procesos de fabricación por lotes, pero a su vez muchos de sus preceptos son viables para las entidades y equipos de procesos continuos, se hace necesario extraer las partes más importantes de la misma y que a su vez apliquen para los objetos dirigidos a procesos continuos que se desarrollan en la presente investigación; es una parte muy importante, pues es de donde surge, el hecho de tener que trabajar con varias normas, tal como podemos notar en la figura 2, donde aparece la integración de diferentes aspectos con diversas normas, para dar solución a un producto final, que para nuestro caso corresponde al desarrollo de objetos estandarizados para integración en sistemas de supervisión.

**Figura 2 . Integración de diferentes aspectos normativos**



Fuente: [9] *Overview of standards committee work*

Se han definido dos grandes formas de proceso que son los procesos por Lotes y los procesos Continuos.

Tomando como ejemplo un proceso de producción de gelatina podríamos decir que en este proceso se agregan los ingredientes en un orden específico a un recipiente, en este recipiente se realiza la mezcla, posteriormente se espera un tiempo determinado y se obtiene como producto final la gelatina. Una vez obtenida la gelatina, el procesos de producción se encuentra detenido; mientras los componentes se llenaban al reactor, tampoco se estaba produciendo, ya que se estaba realizando el llenando, podría decirse entonces, que la gelatina se forma ya cuando los componentes se están mezclando y se comienza la reacción química. A este tipo de procesos se les aplica una producción por lotes.

No significa que los procesos por lote sean solamente procesos que tienen que ver con reacciones químicas; por ejemplo: el proceso de secado es un proceso por lote, el producto sale de la planta de producción en estado húmedo y se pasa a un proceso de secado, luego se debe esperar que este producto salga del proceso de secado. Esto también sería lo que se conoce como un lote, lo que sucede es que dentro de los procesos por lote solamente interesaría si el producto o el proceso se sale de especificaciones. Por ejemplo, si se trata de la fabricación de un producto que debe tener una cantidad de humedad relativa contenida en un material del 30% y el producto se sale de especificación al 32%, el operario observará en el sistema SCADA una alerta que le va a indicar que está sucediendo algo indeseado y deberá tomar acciones de control; estas acciones de control serían correctivas o incluso en ocasiones serían acciones forenses ya que no darían solución alguna y obligarían dependiendo del caso, a devolver el producto al inicio del proceso.

Ahora como ejemplo adicional, el piloto automático de un avión, es un ejemplo muy importante, que no permite ver con claridad la situación: debido a que el avión tiene un piloto automático, se le da una trayectoria en la cual se puede mover y el operario está sentado frente al sistema de control y solamente se da cuenta de lo que está pasando con el avión cuando el avión se sale de esa franja o toca una franja de alerta para que él tome una acción de control y lo alinee en la franja de control esperada,

es decir en la franja verde; si fue a la franja amarilla, el piloto hace algo y lo ingresa a la franja verde antes de que se vaya a la franja roja y haga cosas irremediables. Si se observa, el operario no está operando el equipo todo el tiempo, el operario solamente está operando el equipo cuando sale de la franja verde, es así cómo está determinado el ISA-88, esta maneja el reporte de las situaciones cuando son situaciones anormales, no maneja otros tipos de situaciones.

En los procesos de banda continua las cosas son diferentes; es decir, en los procesos de banda continua el equipo por ningún motivo puede irse a puntos excepcionales porque si se va a puntos excepcionales todo el proceso se arruina. El proceso va en banda continua milisegundo a milisegundo y todas las cosas tienen que ser cómo se supone que debieran ser; no se puede esperar que salga el papel producido para saber si el espesor es correcto, este tipo de situaciones generarían grandes cantidades de pérdidas.

En el caso de Unibol S.A, empresa tomada como referencia, el espesor tiene que ser correcto con cada centímetro que sale de la máquina de papel, entonces en estos procesos de banda continua las cosas son diferentes razones por la cual en la ISA-106 que es la que maneja los procesos continuos se consideran otros aspectos.

En los procesos continuos la ISA-106 agrega unos conceptos nuevos que se conocen como PROMT "Anuncio", tal como se observa en la Figura 3. El anuncio le dice al operador cosas que están pasando, cosas que tiene que saber, cosas que no necesariamente son malas o cosas que están dentro de la franja verde pero que, él las necesita saber para poder no hacer nada o hacer algo porque tiene que anticiparse a los eventos potencialmente malos que pueden ocurrir y que no deben ocurrir porque si ocurren el proceso se pierde por completo y no lo podemos repetir precisamente porque es un proceso continuo. Aquí se observa la diferencia entre estas dos normas.

**Figura 3.** ISA-106 Complemento de ISA-18.2 gestión de alarmas

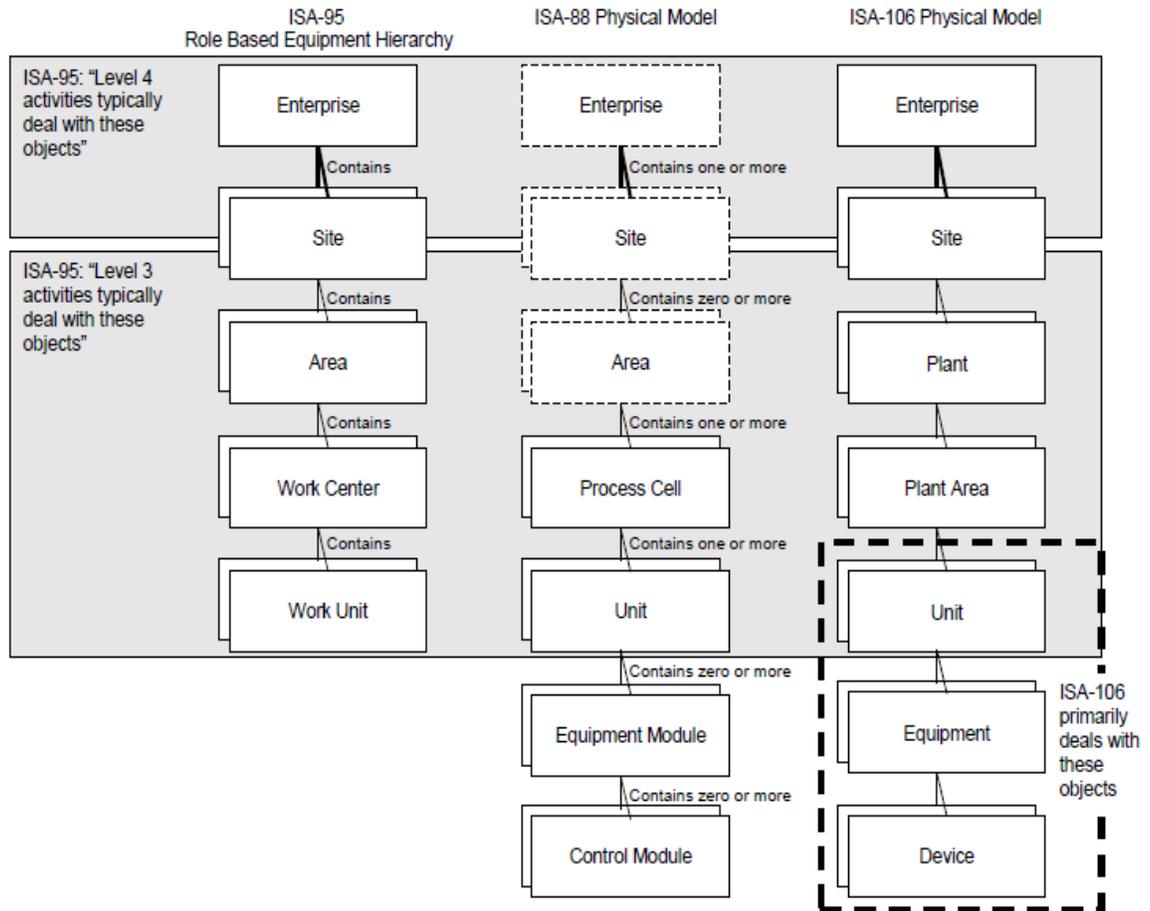
<b>Operator Notification Types</b>	<b>Operator is expected to take an action</b>	<b>Operator might need to be aware but is not required to take action</b>
<b>Arises from an <u>abnormal</u> process or equipment situation (ISA-18.2)</b>	<b>Alarm</b>	<b>Alert</b>
<b>Arises from a <u>normal</u> situation (ISA-106)</b>	<b>Prompt</b>	<b>Status Notification</b>

Fuente: [9] 2013 ISA WWAC Symposium Aug 6-8,2013 Orlando, Florida, USA

En el presente trabajo se está contemplando que los objetos estandarizados van a cumplir con la filosofía de estado de las transiciones de los comandos para trasladarse entre estados y entre los modos de operación que están en ISA-88 pero también se hace necesario hacer cumplir lo que está en ISA-106 de anunciar que es lo que el objeto está haciendo y lo que la entidad como elemento productor de algo de movimiento de flujo está haciendo. Así el acontecimiento no sea algo malo se reportará una alerta, se tendrá un RESET de fallas, pero también se sabrá si el objeto está cambiando o está en transición de un estado a otro.

Es necesario entonces que los objetos reporten cuando está haciendo las transiciones que apliquen.

**Figura 4.** ISA-95,88 y 106, gerarquía de equipos y modelos físicos



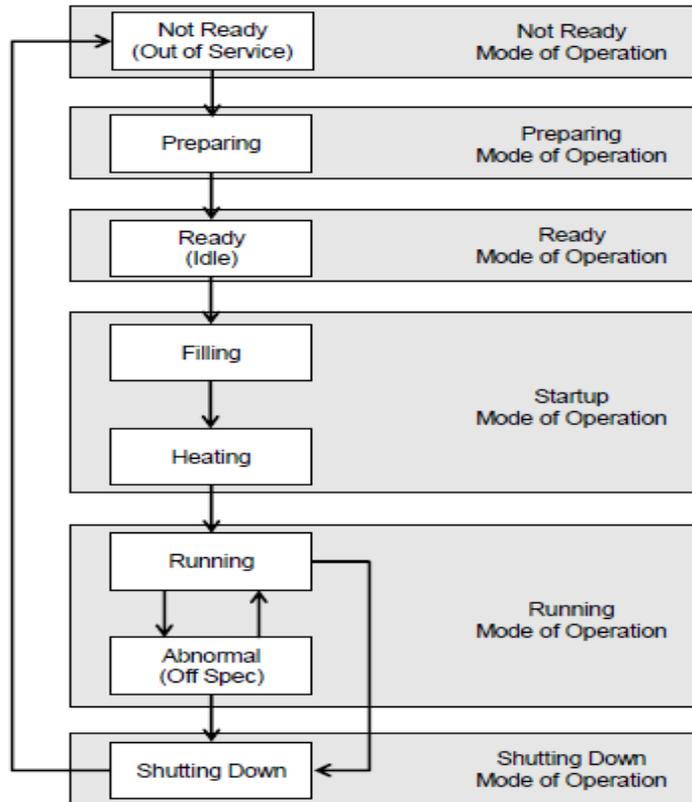
Fuente: [10] *ISA-106 and Automated Procedures*.

En la Figura 4, se observa que ISA-106 incorpora aspectos no sólo para la producción de objetos, ni para la definición de cómo se programa; sino para la definición de toda la automatización en general, conceptos de compañía globalizada, sitios de producción, plantas de producción, sector dentro de la planta de producción, unidad productiva, equipos de producción y dispositivo, que es el que finalmente produce que el motor se mueva o que la válvula se habrá.

En el presente desarrollo se están trabajando los objetos dentro de la filosofía ISA-106 y se está trabajando con el dispositivo, más no a nivel ENTERPRISE, SITE, PLANT, PLANT AREA, UNIT, ni a nivel EQUIPMENT sino a nivel DEVICE.

A nivel dispositivo es donde se tienen los controles de implementación que representan los modelos físicos de operación del equipo como tal, esto se está trayendo dentro del concepto de ISA-106, ya que como se ha mencionado, ISA-88 es un concepto que anula toda las cosas que tiene que ver con ENTERPRISE, SITE, PLANT AREA, etc., es decir ya no habrá compañía global, ni sitio de producción, no existe área, se estaría trabajando en ISA-88 desde la celda de proceso, la celda de proceso es aquella que hace la reacción, o el secado en cada proceso y el enfoque va dirigido a un nivel del proceso de cómo se hacen las cosas. Entonces de ISA-88 rescatamos los estados, comandos y la transiciones y los traemos para ISA-106 en los distintos dispositivo pero, teniendo en cuenta que el dispositivo “vive” dentro de un equipo, un equipo que está dentro de una unidad de trabajo, dentro de un área de una planta, pertenece a la planta que está en un sitio de producción y por ende, pertenece a una compañía que tiene sitios de producción en otras partes del mundo entonces le estaríamos reportando a la compañía de cualquier parte del mundo en qué estado está un equipo de una forma única y univoca para que cuando alguien vea el estado del equipo o del dispositivo esa persona pueda afirmar hechos como que el motor está girando a 150 Hz , la válvula está abierta en un 32%, la válvula está en proceso de cierre, esta información le genera al personal la tranquilidad de saber lo que está ocurriendo desde el nivel más bajo de la pirámide de automatización.

**Figura 5.** Automatización de procedimientos a través de estados de procesos



Fuente: [10] *ISA-106 and Automated Procedures*

No se escogieron elementos de la jerarquía basados en roles definidos en ISA-95 porque básicamente ISA-106 reemplazó dichos elementos. Al abrir mucho más el Break Down se hizo más detallado lo que ocurría debajo del SITE Ver figura 4. Lo que había en el SITE después en ISA-95 era Área, luego centro de trabajo y unidad de trabajo, entonces prácticamente era un sistema donde las compañías ya no eran globalizadas prácticamente, porque en un SITE de trabajo podemos tener varias plantas.

- **Modos de Operación.** En el capítulo 5.7 de la norma ISA-88 se abordan los MODOS Y ESTADOS, aquí se explica sobre un objeto que puede ser un controlador

de un dispositivo, qué modos tiene, qué significan sus modos de operación y cuáles son los estados que él puede tomar durante la operación.

En modos y estados se trabaja con elementos procedimentales, de las entidades asociadas a los equipos, es decir que se va a hacer a nivel de elemento, se está llegando al nivel más elemental de cómo se arranca un motor, o de cómo se abre una válvula; aquí lo principal es que los elementos tengan modos o pueden tener modos de operación, éstos modos en particular, son tres: AUTOMÁTICO, SEMIAUTOMÁTICO Y MANUAL.

En la Tabla 1 se explican las posibles implementaciones y ejemplos de los modos que se dan, con los comportamientos que aplica para cada una.

**Tabla 1.** Modos de operación

Mode	Behavior	Command
<b>Automatic</b> (Procedural)	The transitions within a procedure are carried out without interruption as appropriate conditions are met.	Operators may pause the progression, but may not force transitions.
<b>Automatic</b> (Basic Control)	Equipment entities are manipulated by their control algorithm.	The equipment cannot be manipulated directly by the operator.
<b>Semi-automatic</b> (Procedural Only)	Transitions within a procedure are carried out on manual commands as appropriate conditions are fulfilled.	Operators may pause the progression or re-direct the execution to an appropriate point. Transitions may not be forced.
<b>Manual</b> (Procedural)	The procedural elements within a procedure are executed in the order specified by an operator.	Operators may pause the progression or force transitions.
<b>Manual</b> (Basic Control)	Equipment entities are not manipulated by their control algorithm.	Equipment entities may be manipulated directly by the operator.

Fuente: [1] ANSI/ISA-88. Modelos de producción, pág. 57

En la columna de modos se tiene un primer modo que es el modo AUTOMÁTICO, modo de preferencia en los procesos industriales, este modo tiene dos comportamientos: un comportamiento PROCEDIMENTAL y un comportamiento a nivel de su ESTRUCTURA BÁSICA de control.

A nivel PROCEDIMENTAL se refiere a que cuando el sistema se encuentra en automático, las transiciones dentro de los procedimientos que ocurren en el proceso se llevan a cabo sin interrupción, siempre y cuando las condiciones apropiadas hayan sido cumplidas; esto quiere decir, que si se está trabajando con un motor en modo automático, ese motor tiene un ventilador, ese ventilador debe encender ante una temperatura elevada, seguramente, habrá un sensor de temperatura, un control de temperatura, un punto de consigna que indique a qué hora y en qué momento o bajo qué condiciones se da lo que se conoce como una alza de temperatura y cuando esas condiciones de calor se cumplan y además cuando las condiciones previas y de seguridad se cumplan, entonces el motor del ventilador arrancará y arrancará automáticamente y disminuirá la temperatura; si la temperatura disminuye y ya no es necesario el ventilador, entonces el motor del ventilador se apagará. De esta manera, el procedimiento automático se lleva a cabo, porque se cumplieron las condiciones y el motor hizo su operación de forma automática.

A nivel de control básico del sistema, se dice que el comportamiento automático de la entidad o del equipo se da porque este está manipulado por el algoritmo de control, es decir, que no hay intervención de un operador o agente externo que tome la decisión, entonces ahí se da el automático.

En el comando para AUTOMÁTICO, a nivel procedimental, el operador de un proceso de control en un proceso de producción, puede darle pausa al progreso de algo que está en automático, puede pausarlo, puede 'ponerlo en suspenso' PAUSE, pero no puede forzar las transiciones, no puede hacer que avance de un estado a otro, que pase de un proceso automático a otro, simplemente no debe y el algoritmo de control se lo debe impedir porque precisamente el sistema está en AUTOMÁTICO y la manera correcta de que haya una transición de un punto al otro, es que las apropiadas condiciones se hayan cumplido, entonces el operador no puede forzar el proceso.

A nivel de control básico, el equipo no puede ser manipulado directamente por el operador, entonces, ¿en qué consiste realmente la pausa? aplica en algunos casos más en el caso de LOTES que en casos CONTINUOS. Por ejemplo, si en un proceso lote se está llenando con la materia prima los tanques del reactor y se detecta algo anómalo, cuando el operador se percató de la situación, lo querrá verificar, pone en pausa el proceso por donde iba, se dirige al tanque, observa el tanque, observa las mirillas, revisa las válvulas, saca muestras, verifica, toma una decisión; el proceso puede seguir entonces, quita la PAUSA. El proceso seguirá por donde estaba, no se harán cambios de transición, pues no es posible hacer cambios de transición, y ¿si lo que el operador observa no le gusta que debe hacer? pues se le da ABORTAR al proceso y el proceso aborta, significa que el proceso vuelve a su estado inicial, debe comenzar nuevamente.

Hay un segundo modo que es muy poco común o poco usado, que es el modo SEMIAUTOMÁTICO, es un modo que no tiene implicaciones a nivel de control básico, solamente tiene implicaciones a nivel de transición, entonces en este caso, las condiciones que hacen que haya una transición de un estado a otro se deben cumplir y el comando después que estas se cumplen de un estado a otro es MANUAL; es decir, el operario verifica que las condiciones se han cumplido y con una orden hacen que se pase a otro estado pero el sistema no es capaz de verificar si las condiciones se han cumplido, es responsabilidad del operario hacerlo, entonces a nivel de comando, el operador puede pausar el progreso, puede redireccionar la ejecución, pero las transiciones no se pueden forzar, las condiciones se deben cumplir y el operario debe garantizar esto. Esto es un aspecto poco común y no se usa en industria de papel que fue el sector escogido para desarrollar la presente investigación, porque la industria de papel es un proceso en banda continua y esto no se utiliza, de hecho, en los objetos desarrollados, no se incorpora este modo SEMIAUTOMÁTICO de ninguna manera.

El siguiente modo es el modo MANUAL, este modo tiene implicaciones procedimentales e implicaciones de control básico, en el modo manual, si se observa desde el punto de vista del comportamiento, todos los procedimientos se desarrollarán a través de órdenes especificadas por el operador, es el operador quien decide qué se hace paso a paso; si se quiere encender, si se quiere apagar y si hay transición, como la transición está asociada al proceso como tal, no al objeto y no se realizó la programación dirigida a la transición sino al objeto, lo único que podrá hacer el operador sobre el objeto será abrir/cerrar, prender/apagar, aumentar o disminuir velocidad, no habrá transiciones como tal, porque el motor no hace transiciones, hace transiciones solo entre los estados propios del mismo pero aún no se ha llegado a la definición de ESTADOS.

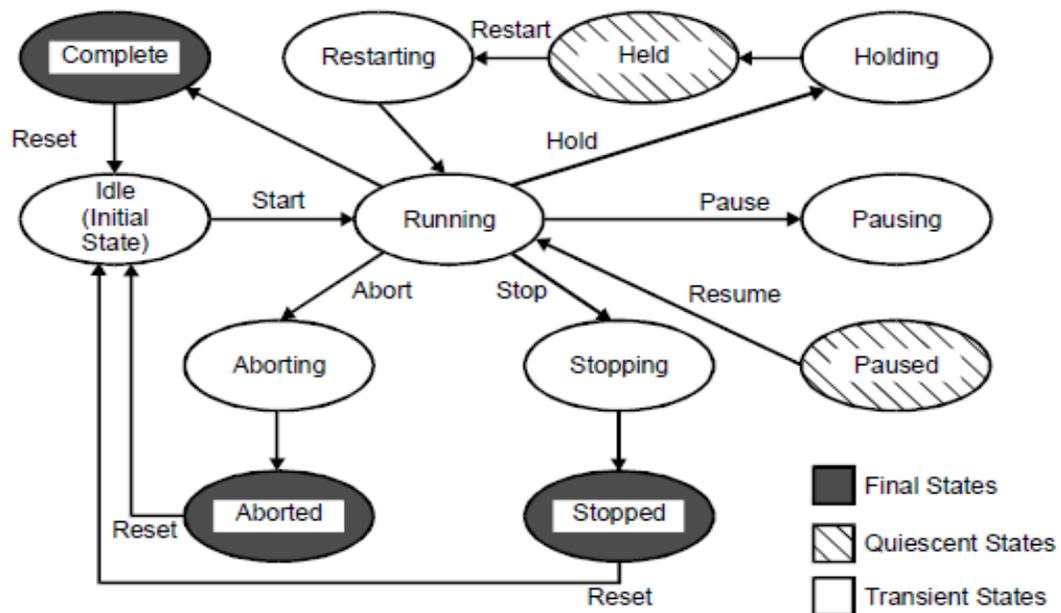
En este último caso, el operador es quien cumple todas las órdenes y se cumplen las órdenes que el operador da a nivel procedimental; a nivel de control, cuando se está en modo manual, las entidades o equipos, no están manipuladas por el algoritmo de control, es decir, si se necesitan condiciones para encender y el equipo se encuentra en MANUAL, si se puede encender sin esas condiciones, en este caso a nivel procedimental entonces el operador puede pausar el progreso o pausar la transición y a nivel de control básico significa que las entidades de los equipos pueden ser manipuladas directamente por el operador.

- **Estados de Operación.** Las entidades de los equipos y los elementos procedimentales o los objetos pueden tener ESTADOS. Existen varios estados y cada objeto tendrá los que están acordes con su función. Un estado es una “situación” del objeto o elemento que especifica completamente la condición actual del equipo. Es decir que cuando se observa el estado, del objeto, equipo o entidad, se debe conocer lo que en ese momento está ocurriendo al mismo, sea bueno o malo o si está funcionando o no. El estado es algo muy específico y no es necesario analizar dos informaciones para tener una idea del estado en el cual se encuentra un equipo, con un solo dato debe ser suficiente para saber en qué estado se

encuentra el equipo. Por ejemplo, si una válvula debe indicar su porcentaje de apertura, si es una válvula discreta deberá decir si se encuentra abierta o se encuentra cerrada, si se trata de un motor deberá decir si se encuentra encendido, apagado o a qué velocidad está girando. En este estándar de la ISA-88 se utilizaron unos estados posibles y unos comandos que hacen que se transiciones de un estado posible a otro.

La norma define entonces un mapa de transiciones, porque no de todos los estados es posible pasar a otros estados, ciertos estados conducen a otros a través de comandos y cuando el comando se completa, entonces se activa la transición de un estado al otro.

**Figura 6.** Diagrama de transición de estados



Fuente: [1] ANSI/ISA-S88.01-1995, *Lote Control*

Lo importante de los estados determinados en este estándar es que no se requieren estados adicionales a los aquí declarados, se puede cambiar el nombre de un estado

por otro, se puede ajustar la forma como se presenta, como se le llama o se le indica y un objeto puede tener menos estados de los indicados, pero no puede tener más estados de los que ya están establecidos. Por ende, todos los estados existentes aplican para el objeto o algunos no aplican, pero no podemos crear estados nuevos ni diferentes. El sistema está pensado para indicar los sucesos de la manera que el estándar lo necesita.

Los equipos, las entidades, los elementos por su parte, pueden cambiar de estado cuando hay un comando y cambian hacia los estados que se definen en el mapa de estados (Ver figura 6), pero esto sólo sucederá si se definen las condiciones lógicas a través de la lógica de control o a través de señales externas que permitan que este estado cambie; por tanto si el sistema se encuentra en AUTOMÁTICO y las condiciones apropiadas ocurren él cambiará de estado y si el sistema se encuentra en MANUAL y las condiciones ocurren también cambiará de estado, ya que en manual no hay algoritmos de lógica del proceso pero si hay algoritmos de seguridad.

Se deben cumplir condiciones de seguridad, se deben satisfacer condiciones de seguridad, como las paradas de emergencias, como el estado READY de los dispositivos, o un disparo térmico que no se haya dado, porque se puede dar el caso de estar en manual pero si se dispara térmicamente un motor es porque está sobrecalentado y debe pararse, si alguien presiona la parada de emergencia el proceso debe parar también por esta razón existe una lógica para activar la transición de un estado a otro, tanto en modo manual como en modo automático, sólo que ya no es lógica para hacer el proceso de control, sino para temas de seguridad y de integridad operacional.

La otra opción para que el estado cambie, es que haya una señal externa, sea generada por otro sistema o sea generada por un operador, un cambio de estado en un equipo o una entidad va a conducir a algunos cambios, por ejemplo, si se ordena pausar un estado, se envía una señal de HOLD, esa orden va a ocasionar que

algunas cosas tengan que detenerse por causa de que algún elemento del sistema se puso en espera, esto es algo muy frecuente en los procesos por lote y que resalta la norma ISA-88. Lo importante es que la norma no tiene nada que ver con reglas de propagación o INTERLOOK, o con el trabajo conjunto de un sistema con otro sistema y las transiciones de estado se dan si se presentan las condiciones en conjunto para que se dé una transición de estados, no es posible propagar reglas de un objetos a otros objetos, ese tipo de situaciones no se especifican en este estándar.

Los estados son posibles en el objeto, como se mencionó anteriormente, no todos los estados aplican para un objeto, A continuación, se definen los estados en inglés y en español. Ver Tabla 2.

**Tabla 2.** Matriz de Estados y Transiciones

Command		Start	Stop	Hold	Restart	Abort	Reset	Pause	Resume
Initial State	No Command End State	State Transition Matrix							
Idle		Running							
Running	Complete		Stopping	Holding		Aborting		Pausing	
Complete							Idle		
Pausing	Paused		Stopping	Holding		Aborting			
Paused			Stopping	Holding		Aborting			Running
Holding	Held		Stopping			Aborting			
Held			Stopping		Restarting	Aborting			
Restarting	Running		Stopping	Holding		Aborting			
Stopping	Stopped					Aborting			
Stopped						Aborting	Idle		
Aborting	Aborted								
Aborted							Idle		

Fuente: [1] ANSI ISA-88. Modelos de producción por lotes, pág. 58

Los estados más comunes son:

**IDLE:** Este estado significa detenido o en espera para realizar algo. En ocasiones se le puede llamar READY, porque el equipo se encuentra en un estado estable que le permite pasar hacia otros estados, generalmente hasta el estado de operación.

**RUNNING:** Este es el estado al que se evoluciona desde el estado de alerta o de espera de comando y llega a correr o a ejecutarse, este estado puede terminar en un estado de COMPLETE, porque de pronto se ha ejecutado algo y ya se ha finalizado lo que se ordenó hacer.

**COMPLETE:** Completo. Indica que el procediendo ya se ha realizado o terminado. Este estado no aplica para los objetos de banda continua, porque suponiendo que el sistema estaba detenido y se le dio orden de ejecutarse, el motor está andando, no vale la pena decir que ya se completó la tarea porque él no va a dejar de correr hasta que el operador no le diga que pare. Así mismo pierde sentido este estado en una válvula.

Los siguiente cuatro estados son los que permiten poner el proceso en pausa o espera. Son muy aplicables a procesos por lotes:

**PAUSING:** Significa que el proceso se está poniendo en pausa o espera.

**PAUSED:** Significa que el proceso ha terminado de ponerse en pausa y se ha detenido. Este estado es muy aplicable para el proceso por lote porque permite mirar qué ha ocurrido con el proceso en determinado punto y reenfocarlo, incluso se puede abortar si el resultado no es satisfactorio. En procesos de banda continua este estado no es muy aplicable.

**HOLDING:** Operación de espera. Permite poner el proceso en pausa o en espera y terminan cuando el proceso está pausado o el proceso está detenido, este estado es muy aplicable a procesos por lote porque yo puedo detener un proceso.

**HELD:** Orden para mantener pausado

Continúan los estados de reinicio de operaciones, paradas y abandono de proceso:

**RESTARTING:** Reiniciando. Si se tiene el estado en pausa y se quiere continuar, se debe reiniciar, pero sigue siendo un estado consecuencia de una parada.

**STOPPING:** Este estado tiene mucho sentido en procesos continuos porque se puede detener un proceso; detener la operación de un motor, o de una válvula. En el caso de una válvula, NO se le podría decir a la válvula RUNNING ni STOPPING, a una válvula se le da orden de OPEN o de CLOSED, por ende, estos estados aplican principalmente para motores.

**STOPPED:** Detenido. Después de haber dado un comando de arranque y un comando de parada esta señal indica que el elemento está parado. Para válvulas no aplica puesto que la válvula estará cerrada o bien, abierta.

Finalmente, los estados para detener abruptamente el proceso por lote, que no continúe y que regrese a su estado inicial:

**ABORTING:** parando el proceso. No es muy usual en procesos continuos puesto que si al sistema se le da la orden de parar el parará. Ya es responsabilidad del programador del conjunto de la programación, no del objeto, que si el objeto tiene un comando que lo invitó a iniciarse y se presenta una parada de emergencia o se presenta una parada de seguridad que detiene el proceso, esa señal que invitó al

objeto a ejecutarse, debe desaparecer o eliminarse porque no es lógico que si hay una alerta de seguridad, se siga insistiendo en que el proceso deba ejecutarse.

**ABORTED:** Sistema Abortado. Requiere iniciar nuevamente.

Las Transiciones serían muy sencillas, pasar de estar quieto a moverse, o pasar de estar moviéndose a estar parado, son STARTING, STOPING, en el caso de los motores el motor simplemente comienza a girar excepto que se tenga un retardo de tiempo para el giro, para lo cual se debe declarar que hay un retardo para el inicio del giro, o excepto que se le diga que hay un retardo para que pare, entonces se declarará que está en espera del retardo para parar, excepto que se le diga que debe arrancar de forma progresiva suave en una rampa para lo cual él dirá que está buscando la velocidad a través de la rampa, no ha llegado a ella, no está en estado operacional completo y lo mismo pasará cuando se le diga que se detenga para lo cual él debe decir que se encuentra bajando en la rampa antes del parado completo, todas estas situaciones son importantes y deben estar incorporadas al objeto.

En el caso de las válvulas, para pasar de un estado abierto, cerrado o viceversa o mientras pasa de un porcentaje de apertura a otro porcentaje de apertura o de cierre, ella debe indicar que se encuentra viajando hacia su nueva posición con RUNNING.

Si se observa el mapa de estados, figura 6 se puede observar que hay unos estados iniciales y otros estados que son los estados hasta los cuales se puede realizar correctamente la transición, si estoy en el estado inicial y el sistema está detenido en espera de que algo ocurra, el único comando posible para salir de ese estado es el comando START, este comando llevaría el proceso a RUNNING, lo que ahora si permitirá moverse hasta otros estados. Como por ejemplo a que se completó el proceso y después se detiene porque se le dio la orden de detenerse, esto lo hace volver al estado inicial. Una parada de emergencia hace que se aborte el proceso y se vuelve al estado inicial y así sucesivamente en cada caso del diagrama.

- **Estados Procedimentales.** A continuación, se describen los estados procedimentales

**IDLE:** En este estado procedimental el elemento está esperando por un comando de START, que puede causar una transición hacia el estado RUNNING, siendo este último el estado normal de operación del equipo,

**COMPLETED:** Este estado se da cuando se ha completado el estado normal de operación y entonces vuelve al estado inicial en el estado IDLE.

PAUSING, PAUSED, HOLD Y HOLDING HELD, RESTARTING, son estados que no se tienen en cuenta para los objetos trabajados en la presente investigación, puesto que estamos enfocados en un proceso continuo.

**STOPING:** En los elementos procedimentales, esto ocurre cuando se ha dado un comando de parada, entonces el bloque ejecutará las rutinas de comando que están programadas para llegar a una parada segura. Es posible que se tenga una rampa o que se tenga un tiempo de espera o cualquier eventualidad que tenga que ocurrir estará asociado a ello.

**STOPED:** Es un estado consecuencia que indica que está parado.

**ABORTING Y ABORTED:** Abortando y abortado, abandonan el proceso. No son útiles para procesos continuos.

## 5 METODOLOGÍA

### 5.1 CASO DE ESTUDIO: PROCESO DE FABRICACIÓN DE PAPEL

En este capítulo, se presenta la información analizada en consenso con el personal del área técnica de INDUTRÓNICA SAS, relacionada con las principales experiencias de la misma y organizada por sectores industriales. En seguida se explica en qué consiste el sector seleccionado, como también, que elementos de potencia y control se tiene en el proceso para tenerlo como base para crear objetos de programación.

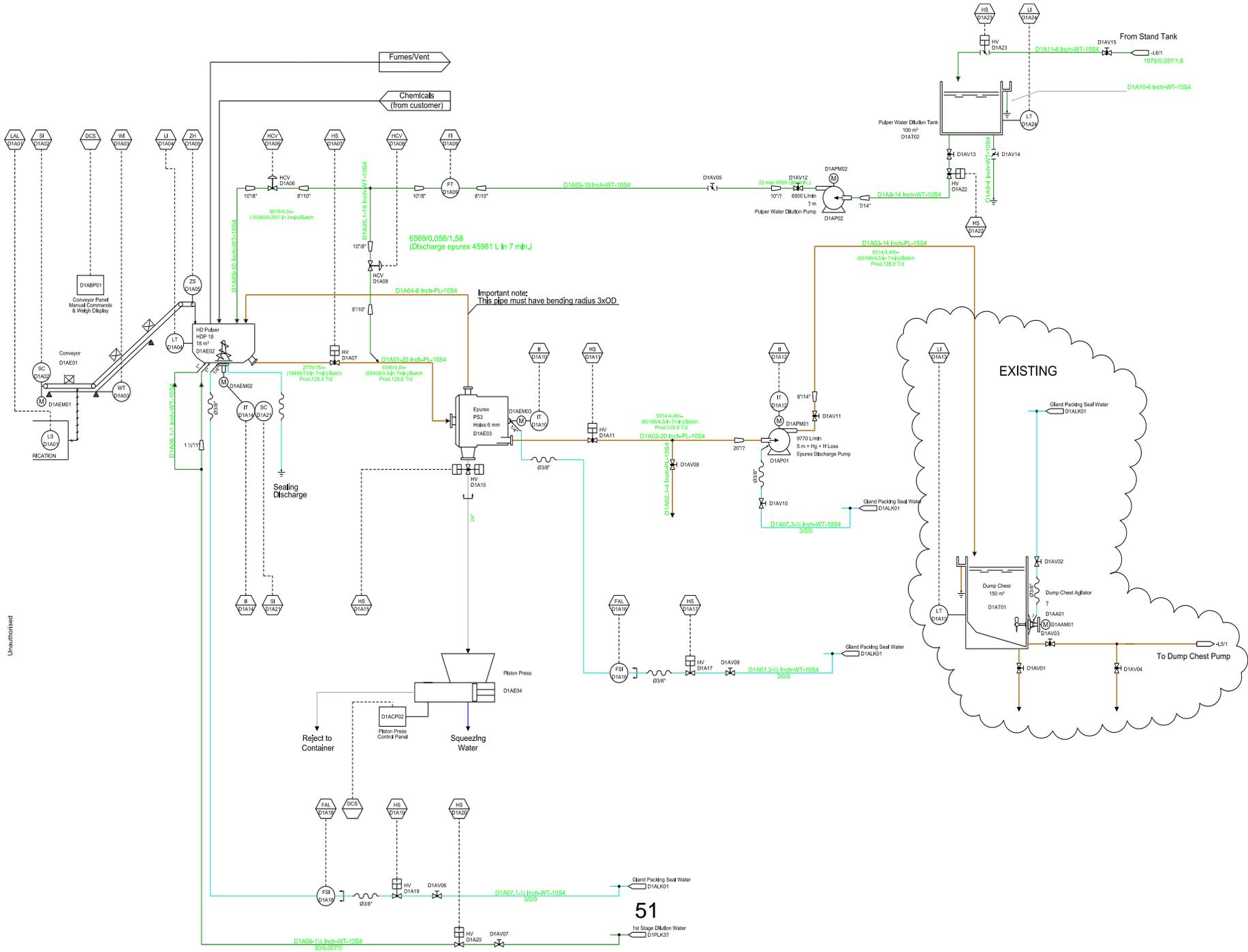
Para poder realizar objetos de programación que se puedan utilizar en este proceso y otros similares se ha seleccionado el proceso de fabricación del papel a partir de material reciclable. Este proceso consta de una banda transportadora, un pulper, epurex, tanque de almacenamiento y por ultimo unos rodillos donde se forma papel.

**5.1.1 Proceso productivo de papel.** Unibol S.A. se dedica a la fabricación y comercialización de Papel kraft, Bolsas de papel, Papel higiénico, Servilletas, Toallas de cocina, Sobres mostaza.

Está localizado en Barranquilla, puerto marítimo y fluvial, ubicado estratégicamente en el Caribe Colombiano e importante plataforma para el intercambio comercial. Sus papeles están fabricados con materia prima reciclada, seleccionada minuciosamente y procesada; utilizando equipos de alta tecnología para entregar productos de excelente calidad.

En la Figura 7 se presenta el diagrama P&ID (Piping and Instrumentation Diagram, Diagrama de tuberías e instrumentación) del proceso de fabricación del papel a partir de materias primas reciclables.

Figura 7. P&ID Proceso de producción de papel, Unibol S.A



En el P&ID de proceso ( Figura 7) se observa de forma detalla el diagrama de PULPER, que constituye la primera fase para la obtención del papel y cuya finalidad es la adquisición de una pasta para la posterior fabricación de diferentes tipos de papel.

Banda transportadora. En esta primera etapa se toma el material reciclado y se traslada a través de una cinta transportadora (Conveyor D1AE01) hacia una maquina llamada pulper (HD PULPER D1AE02), esta banda está constituida por un motor D1AEM01 con su respectivo controlador de velocidad SC – D1A02, un transmisor de peso WT- D1A03, un interruptor de posición ZS – D1A05 y un sistema de lubricación de cadena (chain lubrication D1AE01A) que está conectado a un interruptor de nivel LS – D1A01, cuya finalidad es garantizar el correcto arrastre del material hasta el pulper. Este proceso está controlado por un sistema de control distribuido (DCS) D1ABP01 que posee unos comandos manuales del panel transportador y un visualizador de peso.

El Pulper. El pulper es una máquina de concepción sencilla compuesta por una batea dentro de la cual gira un rotor, similar a como funciona una licuadora casera. El pulper posee un motor D1AEM02 con un transmisor de corriente IT – D1A14 y un variador de velocidad SC – D1A21. La función del pulper es mezclar todo el material recuperado con algunos productos químicos y agua, para diluir y separar todas las fibras, el cual posee un transmisor de nivel LT – D1A04. De esta primera etapa se obtiene “agua pasta”, se desprenden vapores y se liberan porciones de agua que podrán ser reutilizadas en el proceso a través de interruptores de flujo FSL – D1A18, válvulas accionadas manualmente D1AV06, D1AV07 y válvulas accionadas por cilindro de doble efecto HV-D1A19, HV-D1A20.

Tanque de agua. para que el pulper funcione de forma adecuada, se necesita tener un tanque de agua donde se almacena el líquido en el caso de que no haya suministro por parte del sistema de la ciudad, esta agua se debe mezclar con

algunos químicos para hacer el tratamiento del papel. Este tanque posee un transmisor de nivel LT – D1A24, válvulas accionadas manualmente D1AV25, D1AV13, válvulas accionadas por cilindro de doble efecto HV-D1A23, HVD1A22, válvula de mariposa D1AV14 y una bomba D1APM02 (Pulper Water Dilution Pump) para transportar agua no solo al pulper sino al Epurex, con un transmisor de flujo FT – D1A09, válvula mariposa D1AV05, válvulas accionadas por diafragma HCV-D1A08, HCV-D1A06 y válvula accionadas por cilindro de doble efecto HV-D1A07.

El Epurex. En el Epurex (DIAE03) continua el procedimiento donde llega el “agua pasta” obtenida en el pulper, ésta se encarga de separar o retirar materiales indeseables como alambres, plásticos, hilos, grapas metálicas, entre otros que acompañen la pasta. Una vez el papel no tiene elementos indeseados. La pulpa limpia es enviada a través de una válvula accionada por cilindro de doble efecto HV-D1A15 hacia una prensa de pistones (Piston Press) D1AE04; en esta sección la pulpa es comprimida y almacenada para su posterior utilización. En esta etapa se cuenta también con un sistema de control distribuido D1ACP02 y un panel de control para la prensa de pistones.

Finalmente, la pasta sale del epurex sin impurezas hacia la última etapa que es la de almacenamiento, pasando por una válvula accionada por cilindro de doble efecto HV-D1A11 y posteriormente por una bomba D1AP01 (Epurex Discharge Pump) que posee un motor D1APM01, con un transmisor de corriente IT – D1A12. Además de dos válvulas de accionamiento manual D1AV10, D1AV11. Allí se guarda la pasta en un tanque denominado “dump chest” para la siguiente fase del proceso, este depósito posee también un motor D1AAM01 cuya función es la de no permitir que la pasta se pegue o adhiera al tanque; En este punto solo se vigila el nivel con un transmisor LT – D1A13 que indica cuando está lleno para no enviar más pasta, acompañado de válvulas de accionamiento manual D1AV01, D1AV02, D1AV03, D1AV04.

Rodillo de formación del papel. Cuando la fibra pasa al proceso de formación del papel, se utilizan rodillos encargados de dar forma a la pasta con el grosor y la consistencia deseada. Estos rodillos son accionados por motores (D1ARM10 al D1ARM60) de baja potencia distribuidos de forma conveniente para la modelación del mismo.

Es de vital importancia mencionar que en este proceso se visualizan todas las variables de nivel de los tanques, así como las variables de flujo y los estados de las válvulas y los motores; De igual forma se representan los estados actuales de cada una de las secuencias del funcionamiento del pulper y el epurex y se reflejan las alarmas del sistema y demás avisos.

Como se puede observar en la explicación del proceso seleccionado y tomando una de las etapas del proceso de producción de papel, se puede evidenciar que los elementos más usados en el proceso son motores con tres diferentes sistemas de arranque (Arranque Directo, Arranque suave y Arranque con variador de velocidad) y válvulas de dos tipos (ON-OFF y Proporcionales).

En forma de resumen; los motores de esta parte proceso se poseen 3 Motores con Variador de velocidad (D1AEM01 para la banda transportadora, el D1AEM02 para el Pulper y el D1AEM03 para el Epurex); dos motores con arrancador suave ( D1APM02 para la bomba del pulper y el D1APM01 para la bomba del epurex) y 50 motores de potencia menor (D1ARM10 al D1ARM60) que tiene arranque directo y se encargan de mover el banco de rodillos finales de formación.

En relación a las válvulas, se dispone de 5 válvulas ON-OFF (HV-D1A19, HV-D1A20, HV-D1A23, HV-D1A12 y HV-D1A11), tres válvulas proporcionales (HV-D1A05, D1A19, D1A14) Y 10 válvulas manuales (D1AV06, D1AV07, D1AV25, D1AV13, D1AV10, D1AV11, D1AV01, D1AV02, D1AV03, D1AV04) quedando estas últimas descartadas para ser programadas, evidentemente por su condición.

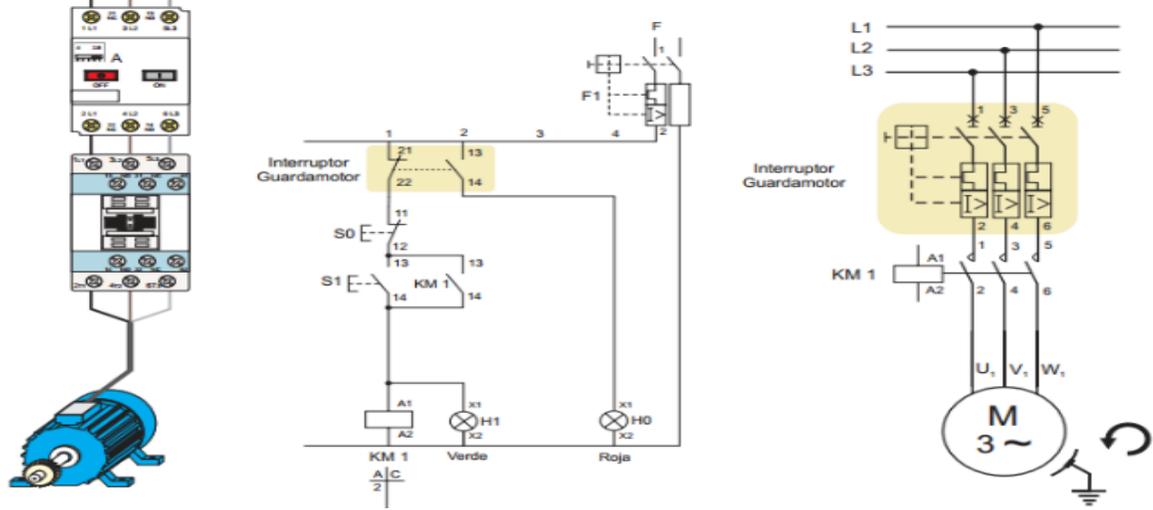
**5.1.2 FB1 arrancador directo.** Los motores son dispositivos que transforman la energía eléctrica en mecánica. Su funcionamiento se basa en el principio de inducción, el cual dice que si un material conductor se mueve a través de un campo magnético se inducirá una corriente eléctrica en él. Se debe tener en cuenta en el proceso de arranque y aceleración del motor algunos datos que van a condicionar el modo de arranque. Existen varios tipos de arranque que limitan la intensidad en el momento de arranque y aceleración del motor, como son el arranque directo, el arranque suave y el arranque por variación de la velocidad.

En el caso del Arrancador directo, es el modo de arranque más sencillo y utilizado en motores de pequeña potencia. El motor debe estar protegido contra cortocircuito y sobrecarga. Para la protección contra cortocircuito se utilizan fusibles y disyuntores o relés termomagnéticos; para el caso de sobrecargas, se utilizan los relés térmicos.

En el arranque mediante disyuntor o relé termomagnético, el motor se pone en marcha al activar manualmente el disyuntor o relé. Se parará si se actúa manualmente sobre el mismo o automáticamente porque ha ocurrido una sobre intensidad o sobrecarga.

En un arranque mediante contactor, la puesta en marcha y control del motor se cuenta con dos esquemas: esquema de potencia y de mando o funcional. El primero es el circuito que alimenta el motor. Por él circula la intensidad que determina las características de los elementos de mando KM1, protección Q1 y la selección de los conductores. El circuito de mando es el que se encarga del control del circuito de potencia y por tanto de la marcha y parada del motor, en él se inserta una serie de elementos de mando y la bobina del contactor KM1, el contacto del relé térmico, que ante una sobre carga el circuito de potencia, se abre desactivando KM1 y por tanto parando el motor. En la figura 8 se observa el esquema de potencia y mando para la puesta en marcha del motor.

**Figura 8.** Esquema de potencia y mando para la puesta en marcha del motor



Fuente: *Electro fácil-soltec*

**Tabla 3.** Entradas / salidas mínimas requeridas y normativas para programación del arrancador directo

ARRANCADOR DIRECTO			
ENTRADAS		SALIDAS	
EN	Bool	Bool	ENO
HOA_SWITCH_HAND	Bool	Bool	READY
HOA_SWITCH_AUTO	Bool	Bool	DELAYED START
HAND_ON	Bool	Bool	DELAYED STOP
HAND_OFF_	Bool	Bool	FAILURE
AUTO_COMMAND	Bool	Bool	RUNNING
E_RUNNING_CONFIRMATION	Bool	Bool	STOPPED
DELAY_E_C_TIME	Time	Time	HOUR_METER
M_RUNNING_CONFIRMATION	Bool	Bool	MAINTENANCE_LAMP_INDICATOR
DELAY_M_C_TIME	Time	Bool	START COMMAND
EMERGENCY_STOP	Bool		
THERMAL_PROTECTOR_SWITCH	Bool		
DELAYED_ON	Bool		
DELAYED_OFF	Bool		
DELAYED_ON_TIME	Time		
DELAYED_OFF_TIME	Time		
H_MTTTO	Time		
MARCA_CICLO	Bool		
RESET_FAILURE	Bool		
HOUR_METER_RESET	Bool		

**EN:** es la entrada básica de la caja o del objeto, es una variable booleana la activación o desactivación del mismo. Esta entrada dependerá de la lógica del programa y determinará si el bloque está activo o no.

**HOA\_SWITCH\_HAND y HOA\_SWITCH\_AUTO:** físicamente es un interruptor de tres posiciones, este interruptor está conectado a dos entradas del PLC y estas posiciones están marcadas con: booleanas: switch hand y switch auto. Si no está en ninguna de las dos posiciones, se concebirá que el motor está apagado (OFF). Estas variables, si el interruptor está en HAND activará las funciones que permiten el control manual del motor y si está en AUTO activará las funciones que permiten el control automático del motor.

**HAND\_ON,** es una señal de arranque local que puede venir de un pulsador o de la pantalla HMI y que va a arrancar el motor sólo si está en HAND (manual), HAND\_OFF realizará la misma función para apagarlo solo si está en modo manual.

**AUTO\_COMMAND** también es una entrada booleana, opera cuando el HOA\_SWITCH está en auto, si la variable AUTO\_COMMAND se vuelve 1 el motor arrancará, si se vuelve 0 en motor se detendrá.

**E\_RUNNING\_CONFIRMATION,** es el enclavamiento eléctrico del contactor o la salida relé del arrancador, si está activo es porque hay confirmación de que el motor está energizado; en el caso contrario, el motor debe detenerse por falla, pero al momento del arranque debe haber un retardo.

**DELAY\_E\_C\_TIME,** lo cual quiere decir que si se va a utilizar una entrada para la variable anterior y se quiere darle un tiempo para que omita esa confirmación es el DELAY\_E\_C\_TIME.

**M\_RUNNING\_CONFIRMATION** y **DELAY\_M\_C\_TIME**, se agregan porque existe la posibilidad de que ponga un dispositivo mecánico que verifique si el motor está girando, podría ser un sensor inductivo en la manzana o eje del motor o en las aspas de las hélices que indique que realmente el motor está corriendo.

**EMERGENCY\_STOP** es una entrada booleana, si está activado el motor no arrancará y por lo tanto estará en estado NO READY, no necesariamente es una falla.

**THERMAL\_PROTECTOR\_SWITCH** es la señal que viene del relé térmico, si esta señal está activa el motor presenta una temperatura alta en sus devanados y puede quemarse, no puede encender. En este caso es una falla, si el motor esta encendido y se va a paro por térmico se deberá activar la salida FAILURE. Si la entrada está activa pero el motor no está encendido, entonces estará NO READY.

**DELAYED\_ON** y **DELAYED\_OFF**, son dos entradas booleanas independientes que, si están activas, el encendido y el apagado serán retardados.

**DELAYED\_ON\_TIME** y **DELAYED\_OFF\_TIME**, son entradas del tipo TIME que indican el tiempo durante el cual la parada o el arranque deben estar retardados.

**RESET FAILURE**, permite resetear una falla cuando esta se presente, es importante aclarar que si al motor se le da la orden de arrancar o parar y no la realizó estas tareas y el motor se detuvo después de haber arrancado por cualquier motivo y la falla no se borrará hasta que el operador o el usuario no lo resetee, lo cual permitirá investigar cual fue la ocurrencia de la falla.

**H\_MTTO** es una variable entera, la cual le especifica al objeto que tan largo es el ciclo de mantenimiento del motor. Esta variable se utiliza para que dé una salida que indique que es hora de realizar el mantenimiento al equipo.

En las salidas se encuentran:

**ENO** la cual es básica del objeto.

**READY** indicará si el motor está listo para arrancar (si está en manual o en auto, no está presionada la emergencia y tampoco está disparado el térmico) o no. Si el operador ordena el arranque y hay activado un retardo en el arranque, después de ordenado el arranque el estado de la salida será DELAYED START, contrario a DELAYED STOP, cuando se le indica al motor detenerse por cuestiones normales, muestra el estado indicando que el equipo en el tiempo indicado va a detenerse.

**RUNNING** indica que el motor está corriendo, porque ya se confirmó que está en estado de funcionamiento normal.

**STOPPED** que significa que el motor está parado.

**START COMMAND** el cual lleva la señal física al contactor o al arrancador para que dé la orden de arranque.

**HOUR\_METER** (Horómetro) Horas de uso del motor.

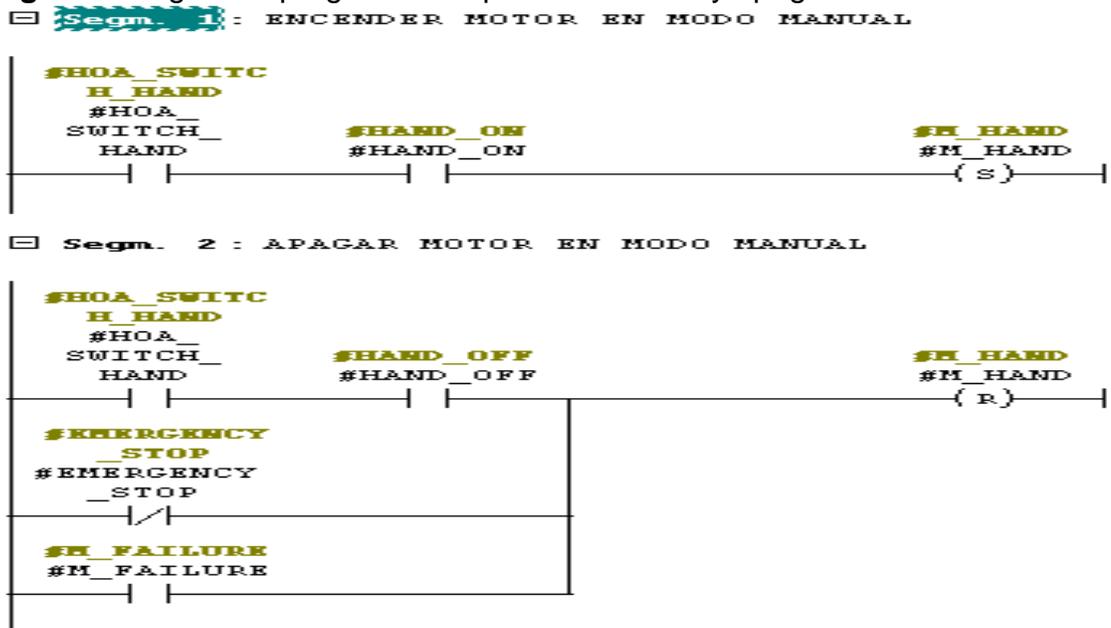
**MAINTENANCE\_LAMP\_INDICATOR** (indicador o piloto de mantenimiento).

A continuación, se describe como se utilizaron las variables anteriormente descritas mediante programación en lenguaje KOP:

En el primer segmento se programó la línea de código para el encendido del motor en modo manual, se aplica la norma ISA-88, en lo que se refiere a modos de operación, que en este caso aplican los modos manual y automático. La conexión en serie de los contactos normalmente abiertos HOA\_SWITCH\_HAND y

HAND\_ON, permitirán que se active la bobina retenida M\_HAND, que a su vez activará las funciones que permitirán el encendido del motor, ver Figura 9.

**Figura 9.** Lógica de programación para encendido y apagado en modo manual



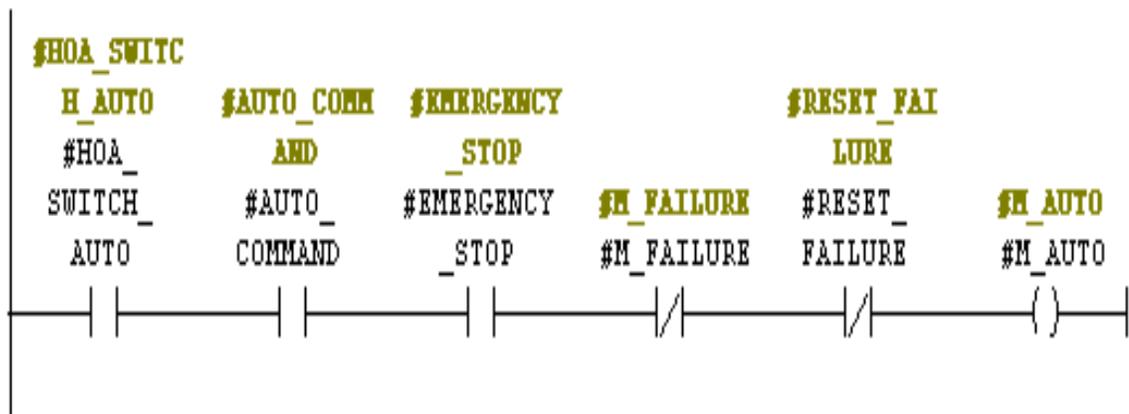
En el segundo segmento, la conexión en serie de los contactos HOA\_SWITCH\_HAND y HAND\_OFF permitirá que se desactive la bobina M\_HAND que activará las funciones que permiten el apagado del motor en modo manual, igual que los contactos normalmente abierto y cerrado EMERGENCY\_STOP y M\_FAILURE, respectivamente, los cuales se encuentran en paralelo.

En la figura 10 se muestra la programación del segmento 3, en donde se enciende el motor en modo automático. En la línea de código el seriado de los contactos normalmente abierto HOA\_SWITCH\_AUTO, AUTO\_COMMAND, EMERGENCY\_STOP y los contactos normalmente cerrados M\_FAILURE y RESET\_FAILURE, que activa la bobina M\_AUTO que permitirá que se activen las funciones para el encendido automático del motor. Como lo indica la norma ISA-88 en modo automático, el equipo o el objeto solo puede ser manipulado por el

algoritmo de control, por lo que se hace necesario el contacto AUTO\_COMMAND que en físico es una señal que va al arrancador para que le dé la orden de arranque del motor.

**Figura 10.** Lógica de programación para encendido en modo automático

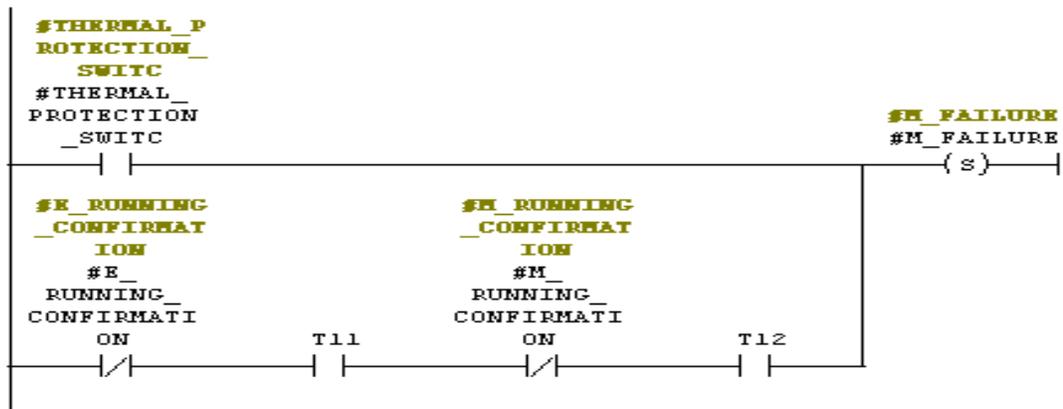
☐ **Segm. 3 : ENCENDER MOTOR EN MODO AUTOMATICO**



En la Figura 11 Se observa la programación del segmento 8, para activar la alarma de falla, se activará bobina set M\_FAILURE si se cierra el contacto normalmente abierto THERMAL\_PROTECTION\_SWITCH o si no se cumplen los tiempos de T11 y T12 y si se abren los contactos normalmente cerrados E\_RUNNING\_CONFIRMATION y M\_RUNNING\_CONFIRMATION. La bobina M\_FAILURE quedará enclavada y no permitirá que el objeto funcione hasta que la misma no se resetee.

Figura 11 Lógica para la activación de una falla

☐ Segm. 8 : ACTIVAR ALARMA DE FALLA

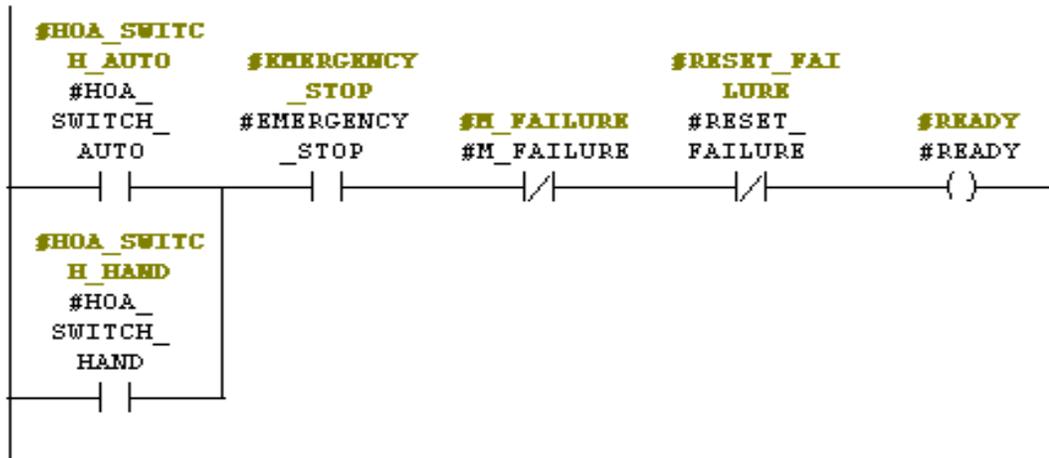


En las figuras a continuación se muestra la programación de los indicadores de estados o PROMP mencionados en la norma ISA-106 para anunciar al operador lo que está ocurriendo con el objeto en tiempo real.

En la **Figura 12** Se muestra la programación del segmento 16 el indicador de READY. Los contacto normalmente abiertos en paralelo HOA\_SWITCH\_AUTO y HOA\_SWITCH\_HAND, en serie con los contactos EMERGENCY\_STOP, M\_FAILURE y RESET\_FAILURE, estos dos últimos contactos normalmente cerrados, activarán la bobina READY, para indicar que el objeto se encuentra listo para funcionar.

**Figura 12.** Lógica de programación para el PROMP READY

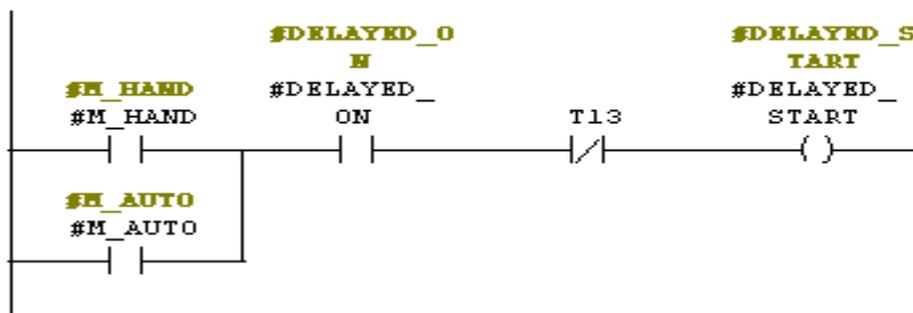
▣ **Segm. 16 :** INDICADOR READY



En la **Figura 13** se tiene la lógica de programación para indicar el retardo al arranque. Los contactos en paralelo M\_HAND y M\_AUTO, en serie con los contactos DELAYED\_ON (normalmente abierto) y T13 (normalmente cerrado) activarán la bobina DELAYED\_START, la cual indicará que el motor se encuentra cumpliendo el tiempo para que el motor encienda o arranque.

**Figura 13.** Lógica de programación para el PROMP retardo al arranque

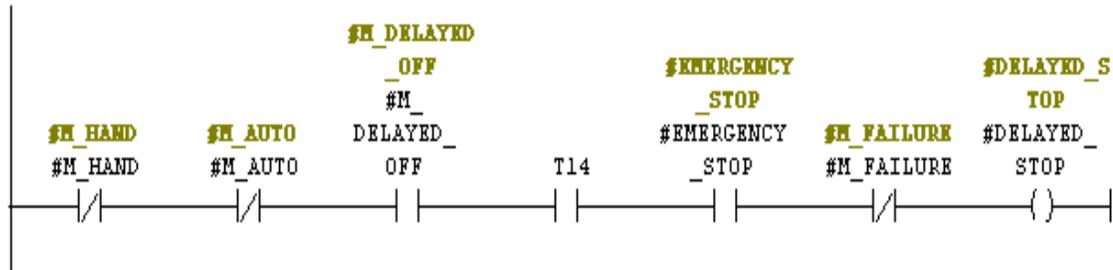
▣ **Segm. 17 :** INDICADOR RETARDO AL ARRANQUE



En la **Figura 14** se muestra la programación del indicador de retardo al apagado del motor. El seriado de los contactos M\_HAND, M\_AUTO, M\_FAILURE (contactos normalmente cerrados), \_DELAYED\_OFF, T14, y EMERGENCY\_STOP (contactos normalmente abiertos), activarán la bobina DELAYED\_STOP la cual indica que se encuentra cumpliendo el tiempo de retardo para apagar el motor.

**Figura 14.** Lógica de programación para el promp retardo a la parada

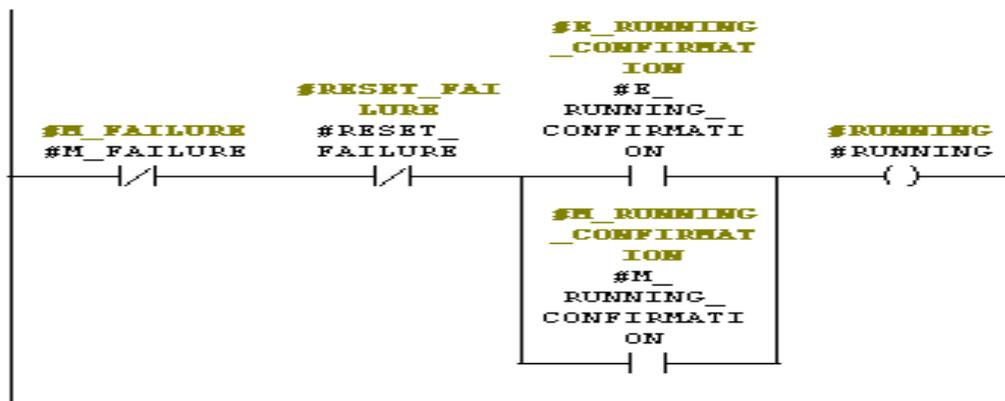
▣ Segm. 18 : INDICADOR RETARDO AL PARO



En la **Figura 15** se muestra la lógica de programación para el indicador o PROMP de RUNNING. Se activa la bobina RUNNING, con el seriado de los contactos normalmente cerrados M\_FAILURE y RESET\_FAILURE, con los contactos normalmente abiertos E\_RUNNING\_CONFIRMATION y M\_RUNNING\_CONFIRMATION, estos dos últimos en paralelo, anunciando que el motor ya arrancó o se encuentra arrancado.

**Figura 15.** Lógica de programación para el indicador de estado RUNNING

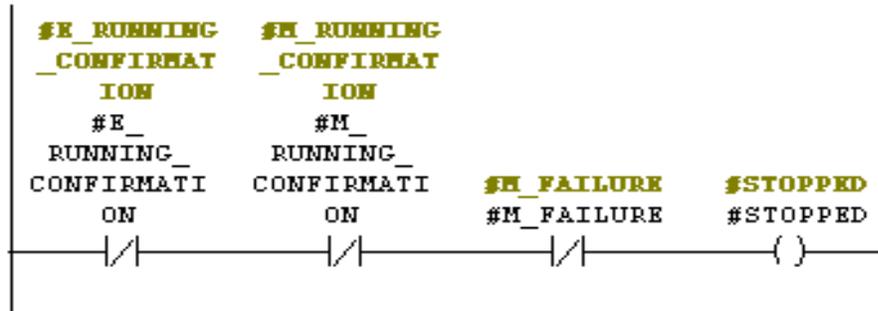
▣ Segm. 20 : INDICADOR DE RUNNING



En la **Figura 16**, se muestra la línea de código para el indicador de STOPPED. Con el seriado de los contactos normalmente cerrados E\_RUNNING\_CONFIRMATION, M\_RUNNING\_CONFIRMATION y M\_FAILURE se activa la bobina STOPPED que indica que el motor está apagado.

**Figura 16.** Lógica de programación para el PROMP STOPPED.

Segm. 21 : INDICADOR DE STOOPPED



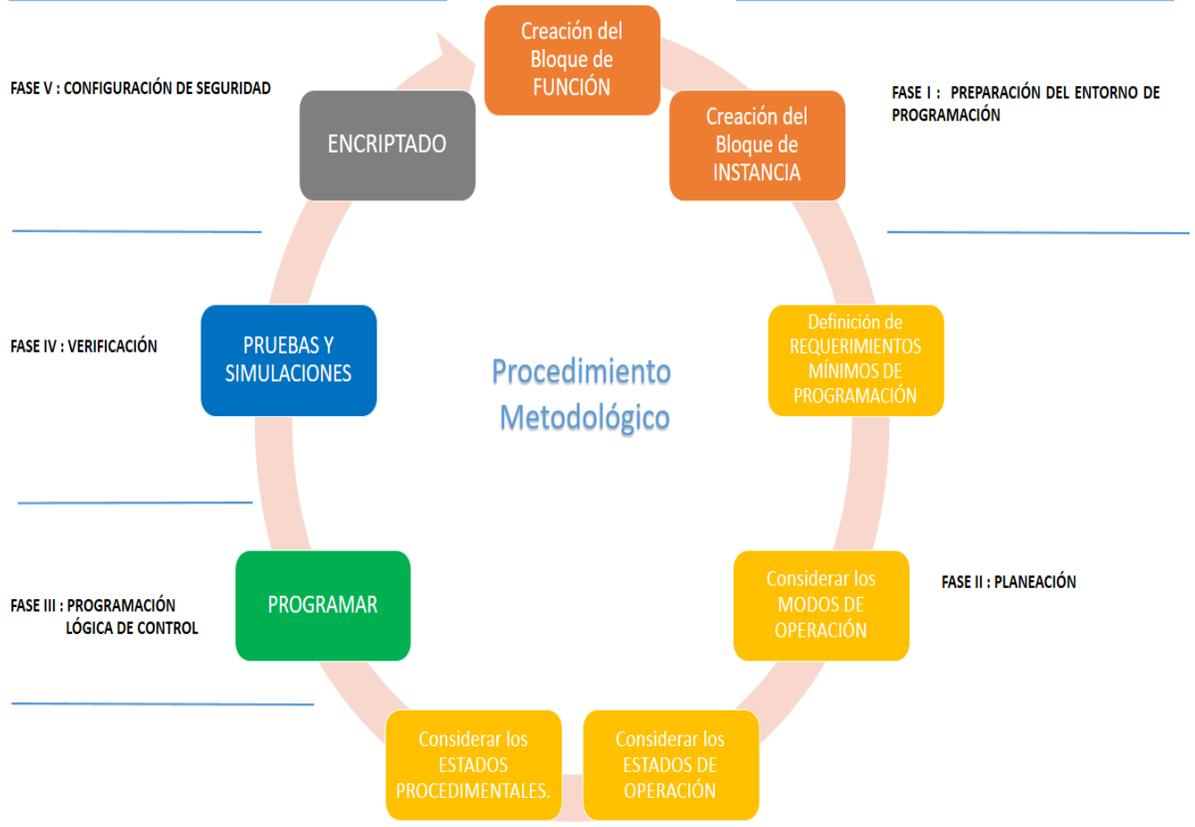
La programación de cada una de las líneas de códigos explicados anteriormente, lleva a la obtención final del objeto arrancador directo.

De la misma forma se realiza la programación para todos los objetos escogidos; sin embargo, para los siguientes 4 objetos se muestran menos detalles de la programación por razones de confidencialidad empresarial.

### 3.5. ESTANDARIZACIÓN DE LOS OBJETOS

Las partes del programa de un PLC se pueden estandarizar y reutilizar, no obstante, se pueden trabajar varios programadores en un proyecto al mismo tiempo. A continuación, se describirá una metodología de cinco fases y ocho procedimientos para la programación estandarizada de bloques de función (FB) basado en las normas ISA-106 e ISA-88 y en buenas prácticas de ingeniería, representados en el diagrama de flujo de la **Figura 17**. e inicia con la preparación del entorno de programación; aquí se configuran los componentes hardware, se crean los bloques de función, los bloques de instancia y demás parámetros necesarios.

**Figura 17.** Diagrama de flujo para la metodología de estandarización



Seguidamente se debe realizar la correcta planeación de lo que se desea programar, declarando claramente todas las variables a utilizar y su naturaleza; se continúa con la programación lógica de control y de seguridad, que incluya aspectos normativos; A continuación, se realizan las pruebas que sean necesarias y por último se encripta el elemento programado.

En el presente capítulo se muestra un compendio de los procedimientos que hacen parte de la metodología de desarrollo, puesto que cada una de estas etapas ha sido explicada en detalle en los capítulos anteriores y en el presente capítulo sólo se expone cómo queda el procedimiento a seguir de forma ordenada, con algunos aspectos complementarios.

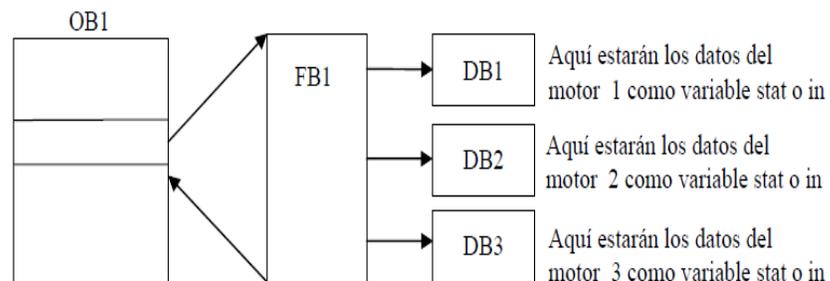
**5.1.3 Fase I: Preparación del entorno de programación** Esta fase tiene dos pasos fundamentales que comprenden la creación de bloques de función y la creación de los bloques de instancia.

**CREACIÓN DEL BLOQUE DE FUNCIÓN.** En este paso se crea un bloque de función (FB) que contenga las líneas de código que se ejecutará siempre que sea llamado por otro bloque lógico.

**CREACIÓN DEL BLOQUE DE INSTANCIA.** Consiste en disponer de un bloque de datos asignado como memoria (bloque de datos de instancia). Los parámetros que se transfieren al FB, así como las variables estáticas, se deben memorizar en el DB de instancia. Las variables temporales se deben memorizar en la pila de datos locales. Los datos memorizados en el DB de instancia no se perderán al concluir el tratamiento del FB; mientras que los datos memorizados en la pila de datos locales se perderán al concluir el tratamiento del FB.

Un mismo FB puede estar asociado a varios DB, a estos DB se les llama instancias y cada una de esas instancias contiene distintos datos; dependiendo de cómo se llame al FB éste utilizará un DB u otro. Por ejemplo, si se asignan varios bloques de datos de instancia a un bloque de función FB que controle un motor, se puede utilizar el mismo FB para controlar varios motores.

**Figura 18.** Estructura de programación de un bloque de Instancia



Fuente: [3] *Curso-simatic-step-7-nivel-basico. Indutronics S.A.S*

**5.1.4 Fase II: Planeación** Se describe a continuación los procedimientos

**REQUERIMIENTOS MÍNIMOS DE PROGRAMACIÓN.** En este procedimiento se deben considerar los requerimientos mínimos que deberá contener el objeto a programar. A continuación, se exponen los concernientes a válvulas y a motores.

- **Crear FB para válvulas.** El FB para válvulas deberá contener las siguientes funciones lógicas:

1. Operar en modo automático o manual.
2. Una entrada para arranque y una para parada.
3. Paradas de emergencia, enclavamientos
4. Indicación de abierta, cerrada
5. Abrir y cerrar válvula

- **Crear FB para motores.** El FB para el motor deberá contener las siguientes funciones lógicas:

1. operar en modo automático o manual
2. entrada para arranque y una para parada.
3. una serie de enclavamientos, paradas de emergencia, activación térmica que permite el servicio de los equipos.
4. retardo al encendido y al apagado del equipo
5. Horómetro
6. Alarmas de mantenimiento
7. Indicaciones de marcha, falla y paro
8. Encender y apagar motor

**MODOS DE OPERACIÓN.** En el apartado 2.10.2 del presente libro, se abordan los MODOS DE OPERACIÓN definidos por la norma ISA. Se explica sobre un objeto que puede ser un controlador de un dispositivo, que modos tiene, que significan sus

modos de operación y cuáles aplican para procesos de control en banda continua y para procesos de control por lotes.

**ESTADOS DE OPERACIÓN.** En el apartado 2.10.2 del presente libro, se encuentran los ESTADOS DE OPERACIÓN definidos por la norma ISA. Se explica sobre un objeto que puede ser un controlador de un dispositivo, qué estados puede tener, qué significa cada estado de operación y cuáles aplican para cada entidad o dispositivo.

No todos los estados aplican para todos los controladores, en cada dispositivo, dependiendo de su naturaleza, aplican ciertos estados y otros sencillamente no aplican. Se debe tener especial cuidado entonces, en no utilizar estados que no estén definidos en la norma, es decir que la programación debe ceñirse a lo estipulado, sin crear nuevos elementos que hagan que el programa se salga del estándar.

**ESTADOS PROCEDIMENTALES.** En el apartado 2.10.2 del presente libro, se abordan los ESTADOS PROCEDIMENTALES definidos por la norma ISA. A nivel procedimental se refiere; que cuando el sistema se encuentra en automático, las transiciones dentro de los procedimientos que ocurren en el proceso se llevan a cabo sin interrupción siempre y cuando las condiciones apropiadas hayan sido cumplidas.

Al igual que en el caso anterior, no todos los estados procedimentales aplican para todos los controladores. En cada dispositivo, dependiendo de su naturaleza, aplican ciertos estados procedimentales y otros sencillamente no aplican. Se debe tener especial cuidado entonces, en no utilizar estados procedimentales no definidos en la norma, que hagan que el programa se salga del estándar.

**5.1.5 Fase III: Programar.** Concluidos los pasos anteriores, podría decirse que se ha finalizado la etapa de planeación previa requerida para iniciar con la programación de cada función de forma estandarizada. Esta programación define entonces las entradas y las salidas finales que debe poseer cada objeto a programar, como también el tipo de dato que requiere cada una en la programación.

Para el desarrollo de los objetos de programación con Step 7 de SIEMENS, se procede como se explicó en el apartado 5.1.5 del presente libro. Se muestra el uso y desarrollo del entorno de programación, la declaración de variables y la programación de un objeto como ejemplo línea a línea.

**5.1.6 Fase IV: Verificación.** Se describe a continuación las etapas:

**PRUEBAS Y SIMULACIONES.** En esta etapa, la tarea consiste en forzar el conjunto de reglas que utiliza cada FB y comprobar su correcto funcionamiento observando el estado encendido o apagado de sus salidas. El software PLC SIMU, proporciona herramientas para recrear las diferentes situaciones y posibilidades de pruebas de forma versátil.

En el presente trabajo, las pruebas del funcionamiento de los objetos se realizaron en el software de visualización WINCC FLEXIBLE, creando la interfaces graficas que se muestran a continuación:

**Figura 19.** Menú principal en WINCC FLEXIBLE – Prueba de objetos



Se creó un menú principal para la realización de las pruebas de los objetos, el cual permite escoger el objeto que se desea probar. Mediante los HMI en WINCC FLEXIBLE fue posible sustentar y capacitar a los ingenieros acerca del funcionamiento de los objetos programados.

La figura 20 muestra el HMI del objeto arrancador directo, del arrancador suave, variador de velocidad, válvula ON/OFF y válvula proporcional; cada uno con los respectivos botones de entradas y los indicadores de salida. Corresponden a las diferentes pantallas de interfaz creadas en WINCC FLEXIBLE para realizar las prueba de objetos programados. En cada una se crearon botones como entradas de los bloques e indicadores para las salidas, de forma que forzando las condiciones de entrada se pudiese observar si la respuesta del objeto era la esperada.

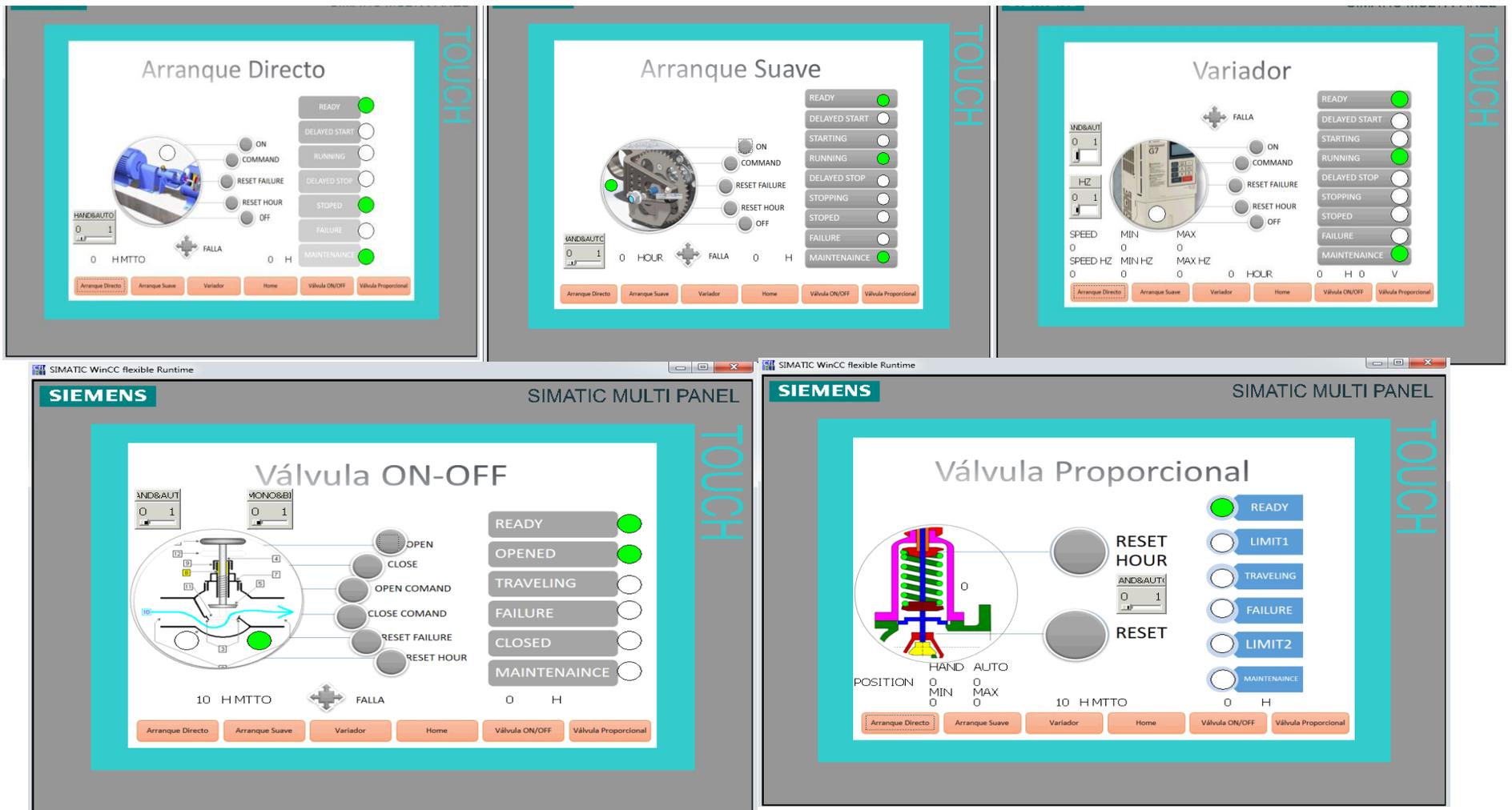
Una vez verificado y socializado el funcionamiento de cada programa mediante la interfaz de pruebas, se obtuvo la aprobación a satisfacción por parte de la empresa INDUTRÓNICA S.A.S de la ciudad de Barranquilla.

La capacitación al personal de la empresa INDUTRÓNICA S.A.S se realizó mediante exposición y pruebas de los objetos, y utilizando la herramienta Step 7 y WinCC Flexible de SIEMENS, para pruebas y programación directa.

#### **5.1.7 Fase V: Configuración de la seguridad.**

**ENCRIPTADO.** La encriptación, es el procedimiento mediante el cual se asegura cada Bloque Función o FB desarrollado, de esta manera, el archivo no permitirá su lectura ni modificación interna; por ende, un usuario no autorizado si no cuenta con el password correspondiente, no podrá visualizar su programación interior ni mucho menos modificarla.

Figura 20. HMI en WINCC FLEXIBLE – Prueba de objetos creados



## 6 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tras el desarrollo del presente trabajo de investigación se obtuvieron:

Listado referente al universo de normativas relacionadas con la regulación de sistemas SCADA, breve explicación de cada una y el enfoque final que dio el sello a la presente investigación con la escogencia de las normas que se consideró implementar

Identificación y descripción de los objetos principales requeridos en la plataforma de desarrollo SCADA, que permitieron estructurar la metodología de desarrollo.

Desarrollo de los objetos seleccionados de un proceso particular y la estandarización de los mismos para ser llamados en los nuevos programas que desee desarrollar la compañía Indutrónica S.A.S

Despliegue y divulgación del documento final con una metodología de ocho procedimientos y cinco fases, claro, estandarizado y detallado de desarrollo de componentes software para proyectos SCADA basado en normas ISA y en buenas prácticas de ingeniería.

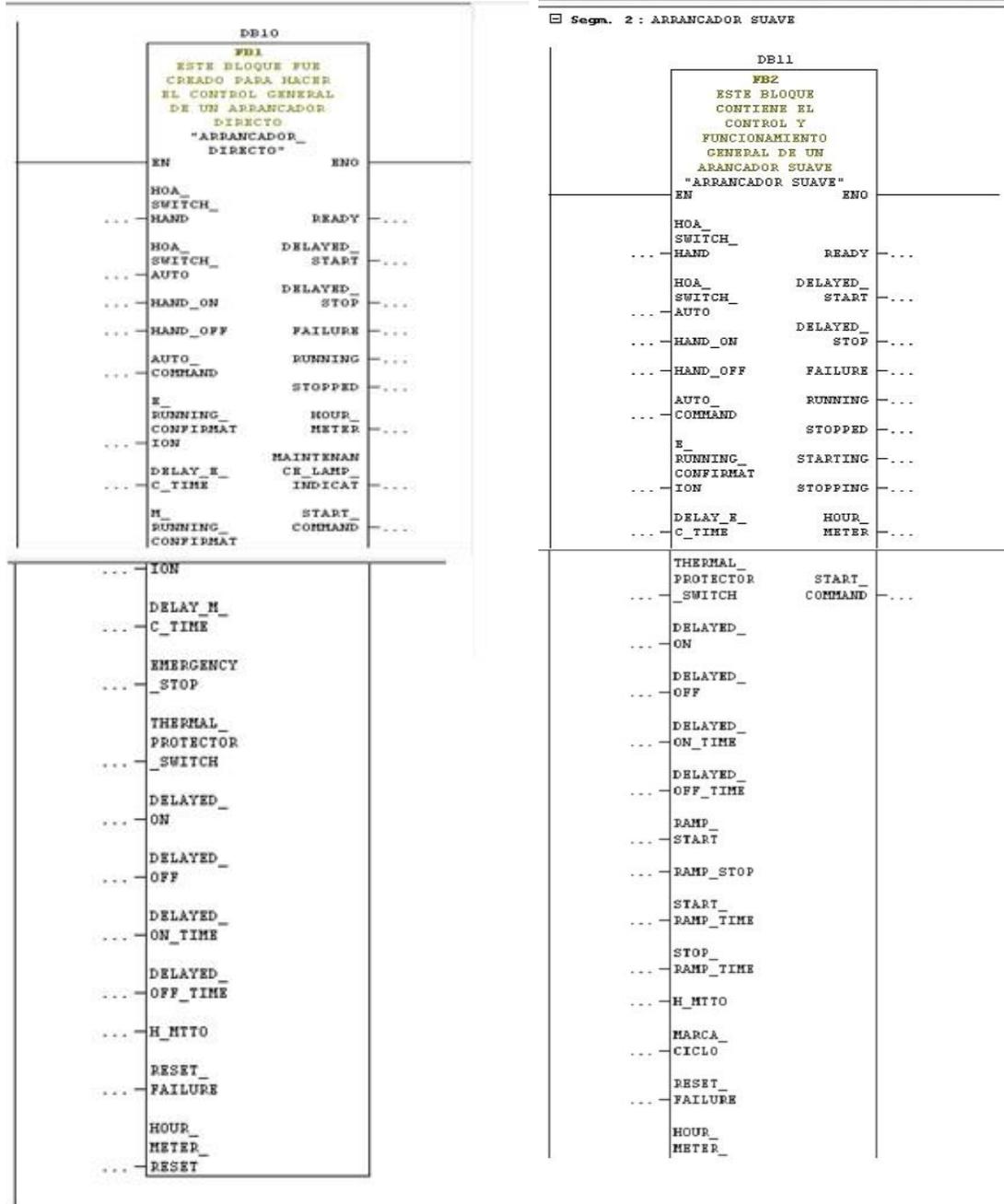
### 6.1 OBJETOS PROGRAMADOS

En total se crearon cinco objetos en la plataforma de desarrollo SCADA, que permitieron estructurar un procedimiento metodológico de desarrollo.

**6.1.1 FB1 Arrancador directo.** El primer objeto obtenido fue un bloque de función para controlar un módulo de arranque directo de motores. En el apartado 5.1 de la programación, se explicó en detalle su uso, como se programó el mismo, así como

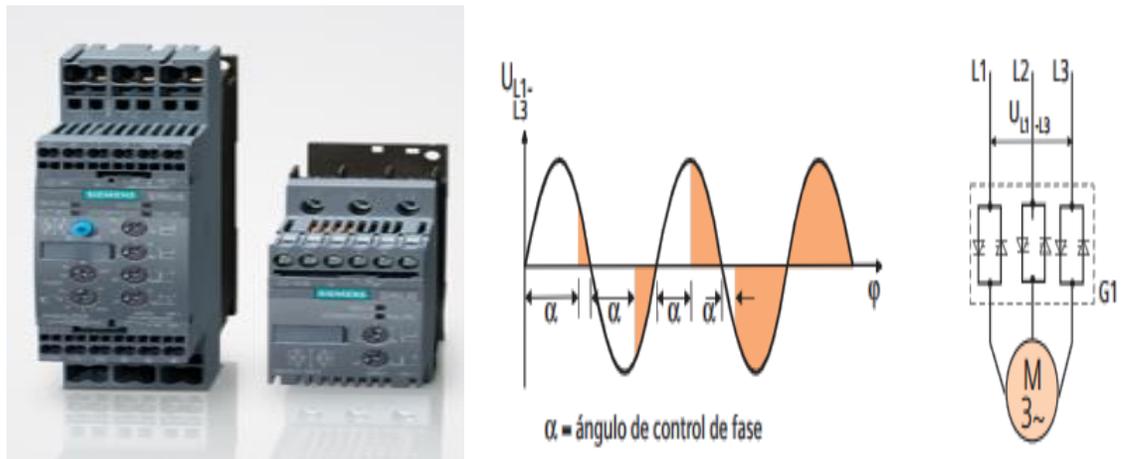
también las variables de entrada y salidas asociadas, que permiten la utilización de este bloque función o Control general (¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.21).

Figura 21. FB1- Controles generales de arrancador directo y arrancador suave



**6.1.2 FB2 Arrancador suave.** El segundo objeto obtenido fue un bloque de función para controlar un módulo de arranque suave de motores. Los arrancadores suaves son dispositivos electrónicos de potencia que nos permiten el control del arranque de los motores de inducción de una forma suave o progresiva. Los arrancadores electrónicos de potencia ofrecen frente al arranque directo las siguientes ventajas: protegen el motor, reduciendo el par de arranque del mismo y aseguran la alimentación frente a picos peligrosos, ya que disminuyen el consumo de intensidad. En la figura 22, se observa arrancadores suaves Sirius de SIEMENS.

**Figura 22.** Presentación externa de los arrancadores suaves, Principio de control de fase. SIEMENS



Fuente: [http://setecindca.com/descargas/arrancadores\\_suaves/SIEMENS](http://setecindca.com/descargas/arrancadores_suaves/SIEMENS)

El control por corte de fase alimenta al motor en el inicio con una tensión reducida. Dicha tensión se incrementa gradualmente, con lo que se evita los efectos producidos en la conmutación o los generados, p. ej. con los arrancadores estrella-triángulo. Una vez que el incremento de tensión se ha realizado correctamente, el motor se alimenta directamente con la tensión de la red.

En la **Figura 22**, además se muestra el principio de control de la fase por medio de los semiconductores y la alimentación del motor a través de los arrancadores suaves.

**Tabla 4.** Entradas / salidas mínimas requeridas y normativas para programación del arrancador suave

ENTRADAS		SALIDAS	
EN	Bool	ENO	Bool
HOA_SWITCH_HAND	Bool	READY	Bool
HOA_SWITCH_AUTO	Bool	DELAYED START	Bool
HAND_ON	Bool	DELAYED STOP	Bool
HAND_OFF	Bool	FAILURE	Bool
AUTO_COMMAND	Bool	RUNNING	Bool
SPEED_COMMAND_ENGINEERING	Word	STOPPED	Bool
E_RUNNING_CONFIRMATION	Bool	STARTING	Bool
DELAY_E_C_TIME	Time	STOPPING	Bool
VFD_READY	Bool	HOUR_METER	Time
M_RUNNING_CONFIRMATION	Bool	MAINTENANCE_LAMP_INDICATOR	Bool
DELAY_M_C_TIME	Time	START COMMAND	Bool
EMERGENCY_STOP	Bool	FREQUENCY_COMMAND_ANALOG	Word
THERMAL_PROTECTOR_SWITCH	Bool	FREQUENCY_COMMAND_COMM	Word
DELAYED_ON	Bool		
DELAYED_OFF	Bool		
DELAYED_ON_TIME	Time		
DELAYED_OFF_TIME	Time		
RAMP_START	Bool		
RAMP_STOP	Bool		
START_RAMP_TIME	Time		
STOP_RAMP_TIME	Time		
MAX_MOTOR_SPEED_HZ	Word		
MIN_MOTOR_SPEED_HZ	Word		
MAX_MOTOR_SPEED_ENGINEERING	Word		
MIN_MOTOR_SPEED_ENGINEERING	Word		

Este objeto tiene el mismo funcionamiento que el anterior, pero, con algunas entradas y salidas nuevas.

Entradas: SOFT\_STARTER\_READY, booleano que proviene del arrancador suave el cual le indica al control que está disponible para operar el motor, siguen existiendo las confirmaciones, la parada por térmico, por emergencia, los retardos al encendido y al apagado.

Se agregan dos nuevas booleanas de tiempo, relacionadas con las rampas de arranque y parada: RAMP\_START y RAMP\_STOP, que le indicarán al operador si activa o no activa rampa, respectivamente, y los correspondientes tiempos: START\_RAMP\_TIME y STOP\_RAMP\_TIME, tiempos que el operador le declara a al objeto para que sepa lo que está ocurriendo. Igualmente, se tiene para el mantenimiento la entrada H\_MTTTO con lo que se le indica al objeto de cuanto es el ciclo de mantenimiento que le corresponde al motor, para que dé una salida que indique que ya es hora de realizar el mantenimiento al equipo.

Así mismo, para las salidas, se cuenta con: ENO la cual es básica del objeto. READY indicará si el motor está listo para arrancar (si está en manual o en auto, no está presionada la emergencia y tampoco está disparado el térmico) o no.

Si el operador ordena el arranque y hay activado un retardo en el arranque, después de ordenado el arranque el estado de la salida será DELAYED START, contrario a DELAYED STOP, cuando se le indica al motor detenerse por cuestiones normales, muestra el estado indicando que el equipo en el tiempo indicado va a detenerse.

RUNNING indica que el motor está corriendo, porque ya se confirmó que está en estado de función normal. STOPPED significa que el motor está parado. Aparecen dos booleanas nuevas: STARTING y STOPPING, cuando la rampa de arranque se está cumpliendo el estado estará en STARTING y cuando la rampa de parada se está cumpliendo el estado estará en STOPPING.

START COMMAND el cual lleva la señal física al contactor o al arrancador para que dé la orden de arranque. HOUR\_METER (Horómetro) y MAINTENANCE\_LAMP\_INDICATOR (indicador o piloto de mantenimiento).

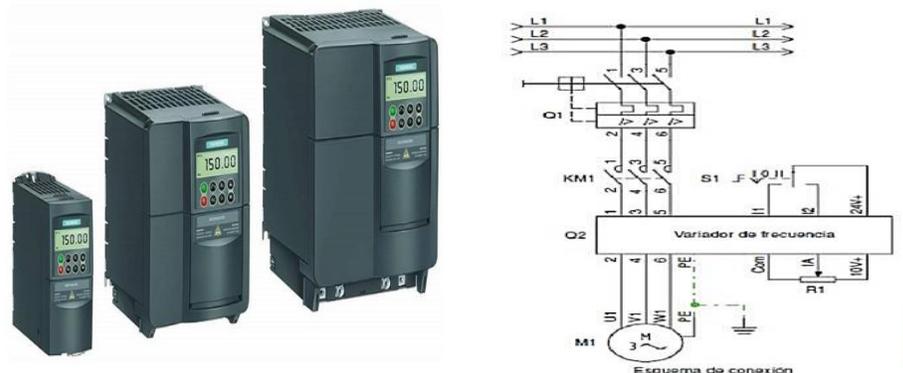
**6.1.3 FB3 Variador de velocidad.** El tercer objeto obtenido fue un bloque de función para controlar un módulo variador de velocidad de motores. Los

reguladores de velocidad son dispositivos electrónicos de potencia que se encargan de controlar la velocidad y el par de los motores de corriente alterna convirtiendo las magnitudes físicas de frecuencia y tensión de la red eléctrica en magnitudes variables, pero manteniendo constante la relación entre ellas. Esto supone que la intensidad no aumenta y el par se mantiene constante. Este consta de cuatro etapas: rectificador, circuito intermedio, inversor y circuito de control y regulación.

Entre las diferentes funciones, los variadores de velocidad ofrecen una protección tanto del regulador como del motor. Entre las más importantes: protección cortocircuitos, limitación de intensidad, protección térmica del motor.

Los variadores pueden ser modificados, además de los parámetros que vienen definidos de fábrica, desde un ordenador con el software específico o desde el panel que incorpora el mismo. En la figura 23 se muestra los diferentes módulos externos de variadores de velocidad de la marca SIEMENS.

**Figura 23 .** Presentación variador de velocidad, esquema de conexiones



Fuente: <http://www.automatismoselectronicos.com/automatismos/variadores-de-velocidad>

El variador consta de dos módulos: el de potencia y el de mando o control, que permiten realizar las conexiones para esté opere. El primero permite conectar la alimentación del variador y las conexiones motor. El módulo de mando y control

dispone de una serie de conectores a los cuales se les pueden colocar entradas y salidas, analógicas o digitales, que permiten el control del variador.

En la figura 23 se aprecia el esquema de conexiones internas de potencia y mando para el variador de velocidad, que permite una vez cerrado el contactor KM1, poner en marcha el motor, variar la velocidad por medio del potenciómetro e invertir el sentido de giro.

**Tabla 5.** Entradas / salidas mínimas requeridas y normativas para programación del variador de velocidad

AARRANCADOR SUAVE			
ENTRADAS		SALIDAS	
EN	Bool	Bool	ENO
HOA_SWITCH_HAND	Bool	Bool	READY
HOA_SWITCH_AUTO	Bool	Bool	DELAYED START
HAND_ON	Bool	Bool	DELAYED STOP
HAND_OFF	Bool	Bool	FAILURE
AUTO_COMMAND	Bool	Bool	RUNNING
E_RUNNING_CONFIRMATION	Bool	Bool	STOPPED
DELAY_E_C_TIME	Time	Bool	STARTING
SOFT_STARTER_READY	Bool	Bool	STOPPING
M_RUNNING_CONFIRMATION	Bool	Time	HOUR_METER
DELAY_M_C_TIME	Time	Bool	MAINTENANCE_LAMP_INDICATOR
EMERGENCY_STOP	Bool	Bool	START COMMAND
THERMAL_PROTECTOR_SWITCH	Bool		
DELAYED_ON	Bool		
DELAYED_OFF	Bool		
DELAYED_ON_TIME	Time		
DELAYED_OFF_TIME	Time		
RAMP_START	Bool		
RAMP_STOP	Bool		
START_RAMP_TIME	Time		
STOP_RAMP_TIME	Time		
H_MTTO	Time		
MARCA_CICLO	Bool		
RESET FAILURE	Bool		
HOUR_METER_RESET	Bool		

EN es la entrada básica de la caja o del objeto, es un booleano que permite que la el bloque se active o desactive, dependerá de la lógica del programa y determinará si el bloque está activo o no.

HOA\_SWITCH\_HAND y HOA\_SWITCH\_AUTO: es un switch que toma dos posiciones booleanas: switch hand y switch auto, si no está en ninguna de las dos posiciones, está apagado (OFF) lo que impide que el motor arranque y significa que el motor no está en estado READY, si está en hand activará las funciones que

permiten el control manual del motor y si está en AUTO activará las funciones que permiten el control automático del motor.

Al variador se le indica a qué velocidad se desea que vaya el motor, por lo que existe una variable de entrada `SPEED_COMMAND_ENGINEERING` en unidades de ingeniería, es un número entero, para esto se realizan unas escalizaciones, con lo cual se le debe indicar al motor cual es la máxima y mínima velocidad del motor en Hertz y en unidades de ingeniería, con esto es posible saber a cuantos Hertz se desea que vaya el motor y se debe tener dentro del objeto otras escalizaciones para mostrar esa misma señal hacia una salida análoga en 4-20mA o en 0-100 % que va directamente al variador o en una palabra que por comunicación se va hacia el variador y le indica cual es la consigna de velocidad, son palabras que están en la salida del objeto de control del variador `FREQUENCY_COMMAND_ANALOG` y `FREQUENCY_COMMAND`.

Cuando se le indica al motor detenerse por razones normales, muestra el estado indicando que el equipo en el tiempo indicado va a detenerse.. Aparecen dos booleanas nuevas: `STARTING` y `STOPPING`, cuando la rampa de arranque se está cumpliendo el estado estará en `STARTING` y cuando la rampa de parada se está cumpliendo el estado estará en `STOPPING`. `START COMMAND` el cual lleva la señal física al contactor o al variador para que dé la orden de arranque.

`HOUR_METER` (Horómetro) y `MAINTENANCE_LAMP_INDICATOR` (indicador o piloto de mantenimiento).

**6.1.4 FB4 Válvula ON-OFF.** El cuarto objeto obtenido fue un bloque de función para controlar un módulo de válvula ON-OFF. Una válvula se puede definir como un aparato mecánico con el cual se inicia, detiene o regula la circulación (paso) de fluido mediante una pieza movable que abre, cierra u obstruye de forma parcial uno o más orificios o conductos, existen diferentes tipos de válvulas.

Las válvulas ON/OFF son aquellas válvulas que regulan el paso del fluido en forma discreta. Es decir, la válvula se abre completamente para permitir el paso de un fluido, sin importar su caudal ni presión; o se cierra completamente para impedir el paso del fluido. En la gráfica se muestra el esquema de una válvula ON/OFF con el actuador final de control.

**Figura 24.** Válvula ON/OFF con actuador final de control



Fuente: <https://instrumentacionhoy.blogspot.com.co>

**Tabla 6.** Entradas / salidas mínimas requeridas y normativas para programación de una válvula ON-OFF

VÁLVULA ON-OFF			
ENTRADAS		SALIDAS	
EN	Bool	Bool	ENO
HOA_SWITCH_HAND	Bool	Bool	READY
HOA_SWITCH_AUTO	Bool	Bool	TRAVELING
MONO-BI_STABLE_VALVE	Bool	Bool	FAILURE
HAND_OPEN	Bool	Bool	OPENED
HAND_CLOSE	Bool	Bool	CLOSED
AUTO_COMMAND_OPEN	Bool	Time	HOUR_METER
AUTO_COMMAND_CLOSE	Bool	Bool	MAINTENANCE_LAMP_INDICATOR
LIMIT_SWITCHES_PRESENT	Bool	Bool	OPEN COMMAND
OPEN_CONFIRMATION	Bool	Bool	CLOSE COMMAND
CLOSE_CONFIRMATION	Bool		
TRAVELING_TIME_OPEN	Time		
TRAVELING_TIME_CLOSE	Time		
EMERGENCY_STOP	Bool		
H_MTTO	Time		
MARCA_CICLO	Bool		
RESET FAILURE	Bool		
HOUR_METER_RESET	Bool		

EN es la entrada básica de la caja o del objeto, es un booleano que permite que la el bloque se active o desactive, dependerá de la lógica del programa y determinará si el bloque está activo o no.

HOA\_SWITCH\_HAND y HOA\_SWITCH\_AUTO: es un switch que toma dos posiciones booleanas: switch hand y switch auto, si no está en ninguna de las dos posiciones, está cerrado (close) lo que impide que la válvula abra si está en hand activará las funciones que permiten el control manual la válvula y si está en AUTO activará las funciones que permiten el control automático la válvula. MONO-BI\_STABLE\_VALVE, sirve para indicarle al objeto si la válvula on\_off es monoestable o biestable, es decir, si es retorno por resorte o si necesita dos salidas para controlarla.

Los comandos HAND\_OPEN y HAND\_CLOSE, si no hay biestabilidad solo será HAND\_OPEN. AUTO\_COMMAND\_OPEN y AUTO\_COMMAND\_CLOSE, para que desde la lógica del control se pueda abrir o cerrar automáticamente la válvula.

TRAVELING\_TIME\_OPEN y TRAVELING\_TIME\_CLOSE, tiempo que dura la válvula en abrir y cerrar, respectivamente, tenerlas por separado sirve para evitar que muestre una falla cuando la válvula está viajando entre la posición abierto-cerrado o viceversa, si el LIMIT\_SWITCHES\_PRESENT no está presente, este será el tiempo que se deberá esperar para declarar la válvula abierta o cerrada.

RESET FAILURE, permite resetear la falla cuando esta se presente.

Para el mantenimiento la entrada H\_MTTTO con lo que se le dice al objeto de cuanto es el ciclo de mantenimiento que le corresponde a la válvula, para que dé una salida que indique que es hora de realizar el mantenimiento al equipo.

En las salidas se tiene una salida de prompt READY para indicar que la válvula está en condiciones para operar. TRAVELING que es cuando pasa de un estado a otro (abierto a cerrado o viceversa). FAILURE, indica si hay un problema. Los estados OPENED y CLOSED que indican si la válvula está abierta o cerrada.

HOUR\_METER (Horómetro) y MAINTENANCE\_LAMP\_INDICATOR indicador de mantenimiento. Por último, unos comandos OPEN COMMAND y CLOSE COMMAND para indicarle a las válvulas si es mono-estable o bi-estable, que abra o que cierre.

**6.1.5 FB5 Válvula proporcional.** El quinto objeto obtenido fue un bloque de función para controlar un módulo de válvula proporcional. Las válvulas proporcionales, son válvulas que regulan la variable de salida en forma proporcional al valor del voltaje de entrada. Se pueden clasificar en válvulas de caudal: que regulan la variable manera continua entre un valor nulo y uno máximo; y las válvulas

de presión que regulan un parámetro en su salida, igualmente de manera continua, entre un valor mínimo y uno máximo, equivalente a la presión de entrada. En la figura 25 se muestra una válvula proporcional con su actuador.

**Figura 25.** Válvula de control proporcional por posicionamiento



Fuente: <http://www.directindustry.es>

**Tabla 7.** Entradas / salidas mínimas requeridas y normativas para programación del válvula proporcional

VÁLVULA PROPORCIONAL			
ENTRADAS		SALIDAS	
EN	Bool	Bool	ENO
HOA_SWITCH_HAND	Bool	Bool	READY
HOA_SWITCH_AUTO	Bool	Bool	TRAVELING
HAND_VALVE_POSITION	Word	Bool	FAILURE
AUTO_VALVE_POSITION	Word	Bool	LIMIT_SWITCH_1_REACHED
LIMIT_SWITCHES_PRESENT	Bool	Bool	LIMIT_SWITCH_2_REACHED
POSITIONER_PRESENT	Bool	Time	HOUR_METER
POSITIONER_SIGNAL	Word	Bool	MAINTENANCE_LAMP_INDICATOR
POSITIONER_ERROR (%)	Word	Word	VALVE_POSITION (%)
FAILURE_DELAY_TIME	Time	Word	VALVE_POSITION_COMMAND (%)
AUTO_VALVE_MAX_OPEN (%)	Word		
AUTO_VALVE_MIN_OPEN (%)	Word		
EMERGENCY_STOP	Bool		
H_MTTO	Time		
MARCA_CICLO	Bool		
RESET FAILURE	Bool		
HOUR_METER_RESET	Bool		

EN es la entrada básica de la caja o del objeto, es un booleano que permite que la el bloque se active o desactive, dependerá de la lógica del programa y determinará si el bloque está activo o no.

HOA\_ SWITCH\_HAND y HOA\_SWITCH\_AUTO: es un switch que toma dos posiciones booleanas: switch hand y switch auto, si no está en ninguna de las dos posiciones, está cerrado (close) lo que impide que la válvula abra si está en hand activará las funciones que permiten el control manual la válvula y si está en AUTO activará las funciones que permiten el control automático la válvula.

Para el control de la válvula proporcional se le asignan comandos de posición HAND\_VALVE\_POSITION y AUTO\_VALVE\_POSITION, las cuales son palabras para el estado manual y para el estado automático.

Se cuenta con otro comando que indica si hay o no LIMIT\_SWITCHES\_PRESENT para la válvula. POSITIONER\_PRESENT nos indica si hay un indicador de posición presente, en caso de que haya, hay una entrada del posicionador POSITIONER\_SIGNAL y se deberá declarar en porcentaje cuanto será el error máximo de tolerancia que debe haber entre el posicionador y la posición a la que se le indicó que llegará, para declarar que llegó a la posición correcta o que no está TRAVELING.

FAILURE\_DELAY\_TIME es el tiempo en el cual si se mantiene viajando más del tiempo indicado se debe decir que hay una falla, el cual debe ser un poco mayor que el tiempo máximo de viaje. AUTO\_VALVE\_MAX\_OPEN y AUTO\_VALVE\_MIN\_OPEN máximo y mínimo de apertura, respectivamente, para la válvula en el modo automático, en modo manual se puede abrir y cerrar como desee el operador o el cliente.

En las salidas, se cuenta con una salida de Prompt READY para indicar que la válvula está en condiciones para operar. TRAVELING que es cuando pasa de un estado a otro (abierto a cerrado o viceversa). FAILURE, indica si hay un problema. Si está activo el LIMIT\_SWITCHES\_PRESENT, se debe indicar si ha alcanzado los límites del LIMIT\_SWITCH\_1\_REACHED y LIMIT\_SWITCH\_2\_REACHED.

La obtención de estos bloques e control, permitió establecer un procedimiento metológico para el desarrollo de objetos bajo las mismas características, el mismo se describió en el apartado 5.1 del presente documento.

## **6.2 VALORES QUE APORTAN LOS OBJETOS CREADOS CON ISA-106**

Haciendo un resumen de valores de los presentes objetos basados principalmente en ISA-106 dentro de los procesos automatizados, se puede decir que se ganan más de una docena de beneficios:

1. RENDIMIENTO DE SEGURIDAD MEJORADO: Debido a que no es necesario esperar a que nuestro equipo o el funcionamiento de nuestro proceso, se esté saliendo de especificación para tomar una acción. Precisamente se busca mantener informado al operario de lo que está ocurriendo con el mismo, generando alertas o PROMT para hechos que generalmente no indican cosas malas o Alarmas en caso de ser algo delicado.

2. INCREMENTO DE LA CONFIABILIDAD: Esto se da precisamente por lo que se maneja como **STATE ALERT** (alerta de estado), no se maneja igual que las alarmas, ya que no es necesario darles **RESET**; son situaciones que ocurren y permiten realizar alguna acción, es ahí donde se puede ver que se incrementa la confiabilidad.

3. REDUCCIÓN DE PÉRDIDAS: En un proceso de automatización se puede llegar a máximas ratas de producción minimizando el tiempo perdido para recuperarse de una parada. Al presentarse una parada, se hace necesaria una recuperación y si ya no se hace paradas sino hacemos **SLOW DOWN** (desaceleración) de la planta entonces todo ese tiempo de recuperación no se debe utilizar y se debe aumentar la confiabilidad de la máquina, aumentar el **STREAM FACTOR** (factor de flujo), reducir pérdidas de proceso causadas por errores de operación. Al tener estandarizados los procesos se tendrán estandarizadas las interfaces con el operador, entonces las condiciones anormales de operación se disminuyen o se desaparecen y el operador no puede tomar malas decisiones.

4. TENDENCIAS DE COMPORTAMIENTO: Se está mostrando al operario una tendencia de comportamiento previa de los equipos o del proceso, teniendo la oportunidad de obrar a tiempo y no de reaccionar en pocos segundos.

5. INCREMENTO EN LA PRODUCCIÓN: El arranque de una máquina va a ser más corto y si se desea parar la maquina porque se va a realizar un mantenimiento se puede parar de manera más armoniosa corta.

6. MEJORAMIENTO DE LA CALIDAD: También se obtendrá incremento de la calidad porque se tendrán transiciones más eficientes de los procesos; así mismo se obtiene menos perdidas de proceso al no trabajar entre los límites máximos y mínimos.

7. MEJORA TIEMPOS DE RESPUESTA: Cuando se presentan factores externos que perturban un proceso, comienzan a aparecer alteraciones y reportes de un proceso que se encuentre alterado. Así no sea algo perjudicial, pero está presente una alteración y es propicio llevar a cabo una acción. Por tanto, se van a tener menos pérdidas de proceso porque se va a responder más rápidamente a las perturbaciones que afectan el proceso.

8. AUMENTO DE LA EFECTIVIDAD DEL OPERADOR: Evidentemente, un operador que está trabajando con condiciones más satisfactorias para tomar una decisión, para observar sus acciones, con mayor presión y con más argumentos, trabaja mejor, de tal manera que, al trabajar más tranquilo, más armonioso, tiene la oportunidad en las bitácoras de sus supervisores, de reportar lo que hizo y eso va a generar mayor efectividad.

9. FLUJO DE CONOCIMIENTO RETENIDO: Un operador que trabaja en condiciones armoniosas, tiene la oportunidad de reportar lo que hizo y eso va a generar además de mayor efectividad, un flujo de conocimiento retenido, que además será discernido hacia los demás operadores de la planta. El conocimiento de la operación se hará cada vez más sólido.

10. MEJORA DE LOS PLANES DE ENTRENAMIENTO: Además del flujo de conocimiento, al conocer las soluciones a los diferentes problemas que se van presentando y cómo se solucionaron, se tendrá la oportunidad de mejorar los planes de entrenamiento a todo el personal. Se facilitará el fomento charlas generales o entrenamientos sobre diferentes tipos de fallas que al presentarse en distintas ocasiones serán objetivo de conocimiento general.

11. SEGURIDAD DE MANEJO DE INFORMACIÓN Y PROCESOS: Generalmente los sistemas SCADA van a tener un sistema de **LOGIN** que van a capturar una información y la van a dejar registrada y esa información quedara allí registrada para que cuando sea necesario un análisis de lo que se presentó o se está presentando, se pueda, a través de la revisión de los datos históricos y de su análisis, identificar condiciones anormales que se pueden llegar a presentar y como recuperarse de ellas; así se tendrá visión mejorada sobre nuestro proceso.

12. FLEXIBILIDAD Y FACILIDAD PROCEDIMENTAL: Si se necesita realizar un cambio en nuestro proceso y se tiene un sistema modular conformados por objetos, se podría decir que se cuenta con un elemento de un lego o arma todo que se une de cierta manera en el modular y no cambiamos al interior del objeto, entonces tratamos de mejorar en la forma de como encajamos “las fichas”, los cambios que se van a hacer sobre el proceso son sobre los procedimientos y no sobre la forma de cómo funciona el dispositivo.

13. ESTANDARIZACIÓN: Cuando la empresa por algún motivo legal, procedimental, de buenas prácticas, modifique un proceso, sólo se tendría que cambiar la forma como interactúan los objetos y no los objetos como tal; excepto que exista una modificación muy importante que haga parte de la programación interna de un objeto y sea necesario modificarlo. Ese objeto hará que todos los objetos del programa cambien y se deba multiplicar ese esfuerzo de programación.

## 7 CONCLUSIONES

Las empresas dedicadas a la automatización tienden a manejar de forma reservada su modo de trabajo; así como también, reservas de tipo técnico, descripción detallada de sus procesos de programación, arquitecturas, procedimiento o normativa alguna de uso.

Revisando el universo normativo existente, relacionado con la creación y regulación de sistemas SCADA, en resumen se tienen asociaciones de carácter internacional, propias de países y sellos de calidad, de los cuales se pueden rescatar aspectos importantes, pero en especial se escoge la norma ISA-106 para el despliegue del presente procedimiento, ya que considera aspectos claves para los procesos en banda continua y que reúne todos los aspectos de los procesos de producción por lotes que han estado fuertes por muchos años en el mercado. Para el desarrollo de mímicos se recomienda la norma ISO 9241 y la ISA 101 que tratan aspectos de visualización externos al alcance del desarrollo del presente trabajo de grado, pero que serían muy útiles para generar una posterior investigación complementaria.

Fue posible extraer los segmentos más importantes de la norma ISA-106, como son los aspectos relacionados con los modos, los estados y los estados procedimentales de operación. Partiendo de estas premisas, es posible lograr una programación funcional estandarizada con un amplio número de valores.

Haciendo un resumen de valores de los presentes objetos basados principalmente en ISA-106 dentro de los procesos automatizados, se puede decir que se ganan más de una docena de beneficios: rendimiento de seguridad mejorado, reducción de pérdidas, alertas tempranas, incremento en la producción, mejoramiento de la calidad, mejor tiempo de respuesta, aumento de la efectividad del operador, flujo de conocimiento retenido, mejora de los planes de entrenamiento, seguridad de manejo

de información y procesos, flexibilidad y facilidad procedimental, estandarización, entre otros.

Se hizo posible caracterizar el sector papelerero, en el cual, como se pudo observar, posee en su gran mayoría, motores de diferentes tipos de arranques y válvulas de tipo proporcional y ON-OFF; lo cual encaminó la programación hacia estos tipos de objetos o funciones para ser usados cuantas veces fuese necesario en la programación de PLC.

Una vez creados los objetos seleccionados con el procedimiento planteado, se comprueba que los bloques de función u objetos son el corazón y la base con el que se construyen en forma general los automatismos de plantas de proceso con varios sitios de operación a nivel mundial. Los objetos creados pueden ser usados y reutilizados y no deben ser modificados debido a que estos objetos serán los idóneos para responder a una serie de premisas estructurales y normativas, son objetos muy eficaces, que deberán usarse siempre que se necesite uno de la misma naturaleza, ya que lo que el usuario programador hace en la compañía, es interrelacionar objetos entre sí para lograr un objetivo final.

Fue posible establecer un procedimiento conformado por 8 rutinas y que está soportada a su vez, no sólo de ISA-106 sino que también rescata sucesos muy importantes de transición y estados de ISA-88, por tanto, se desarrolló haciendo objetos que son compatibles con ISA-106 y son compatible con ISA-88 a la vez.

La documentación y el despliegue del presente trabajo permitió que la compañía INDUTRÓNICA S.A.S tras varios años de intento, pudiera demostrar al equipo de trabajo que sí es posible implementar un desarrollo de forma estandarizada y elevar sus niveles de calidad e identidad, no sólo para los clientes que lo solicitasen sino para toda la clientela en general.

## 8 RECOMENDACIONES

Para trabajos futuros, si se desea información adicional sobre el diseño y medidas de operación, se recomienda consultar la norma ANSI/ISA-106 y ANSI/ISA-88.

Al momento de guardar variables, se debe hacer de forma ordenada, agrupándolas por tipo, por ejemplo, guardar primero las tipo bool, luego las tipo timer, luego las Word... y así sucesivamente, para no desperdiciar recursos.

Como buena práctica en los desarrollos, incluir retardo al encendido, al apagado e indicaciones de ambas.

En la programación de motores, para que el motor esté en READY, el reset de falla no debe estar pulsado.

Programar los comandos según las normas, utilizando los términos en idioma inglés ya que pierde un poco de sentido el comando al ser traducido al español.

Elaborar siempre una tabla de requerimientos mínimos.

Comentar todas las líneas de código.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] ANSI/ISA–S88.01–1995, Bath Control
- [2] ANSI/ISA-106, Procedure Automation for Continuous Process Operations
- [3] Curso-simatic-step-7-nivel-basico. Indutrónica S.A.S
- [4] ISA WWAC Symposium Aug 6-8,2013 Orlando, Florida, USA, 2013
- [5] Sistemas SCADA, Aquilino Rodríguez Penín, 2da edición, Alfaomega 2007, 448páginas.
- [6] Procedimientos prácticos para el desarrollo de software SCADA, Stuart G. McCrady. 2013
- [7] Sistema SCADA para el control de la refinería de petróleo Iman Morsi, Loay Mohy El-Din, 201
- [8] Curso de Automatismos Cableados, Martín Castillo Juan Carlos, Colorado Jesús Gómez. Salamanca 2016
- [9] Overview of standards committee work, WWAC Symposium, Orlando Florida, USA 2013
- [10] *ISA-106 and Automated Procedures, Honeywell Users Group Americas, 2012*
- [11] Modelos de seguridad para SCADA, ICS, y Smart Grid, Eric D. Knapp ,Raj Samani, 2013
- [12] Un enfoque sistemático para la detección de anomalías basados en patrones de conexión en sistemas SCADA, Dorin Adrian Rusu una ,Béla Genge b ,Christos Siaterlis , 2013
- [13] ANSI/ISA-9500-01 2000 Enterprice Control System Integration . Parte 1: models and terminology. ANSI/ISA-9500-01 2001 Enterprice Control System Integration . Parte 2: object model attributes.
- [14] Oxy Automation, HMI Design, Recommended Practices

- [15] Supervisory Control and data adquisición, Stuart A. Boyer, 3rd Edition. ISA The instrumentation, Systems, and Automation Society, 2004, 204p
- [16] Autómatas programables. Balcells, Josep. México. Alfaomega Marcombo, 1998.
- [17] Programmable logic controllers. Morris , S. B. New Jersey : Prentice Hall, 2000
- [18] Autómatas programables. Mandado, E. Entorno y aplicaciones. Thomson. 2005
- [19] SIEMENS. Step 7 V5.3, Introducción y ejercicios prácticos.
- [20] Institute of Electrical and Electrónics Engineers Standards Association (IEEE-SA )[www.ieee.org](http://www.ieee.org)
- [21] Standart Handbook for Electrical Engineerrs by Donald G. Fink and H. Wayne Beaty, 2000 McGraw-Hill
- [22] INSTITUTO NACIONAL DE SEGURIDAD E HIGIENE EN EL TRABAJO  
<http://www.mtas.es/insht>
- [23] Real Decreto 485/1997 de 14 de abril, sobre disposiciones mínimas en materia de señalización de seguridad y salud en el trabajo (B.O.E. n°97 miércoles 23 de abril de 1997)
- [24] “21 Step to Improve Cyber Security of SCADA Networks”  
<http://www.ea.doe.gov/pdfs/21stepsbooklet.pdf> (28 de Marzo de 2005)
- [25] “Trends in SCADA for Automated Water Systems.” Noviembre 2001.  
[http://www.synchrony.com/trends\\_SCADA.pdf](http://www.synchrony.com/trends_SCADA.pdf)
- [26] The White House Office of the Press Secretary, White House Communications on Critical Infraestructure Protection, October 22, 1997.
- [27] “An Introduction to Information Control Models” “Sustainable Security for Infraestructure SCADA”Sandia Corporation <http://www.sandia.gov>
- [28] “We have your water supply, and printers” – Brumcon report 20th October 2003  
The register“Securing an integrated SCADA System whitepaper”
- [29] “Security Vulnerability Assessment (SVA) Revealed” ioMosaic Corporation “10 principles for securing control system” [www.ControlGlobal.com](http://www.ControlGlobal.com)

[30] "Safeguarding IEDs, Substations, and SCADA Systems against electronics Intrusions" Schweitzer Engineering Laboratories, Inc.

[31] IEEE 1402-2000, "Guide for Electric Power Substation Physical and Electronic Security"