

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>1 de 103</b>

REINGENIERÍA A LOS SISTEMAS AUXILIARES DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN EN LA CENTRAL PORCE II DE EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN.

SERGIO ANDRES RUIZ HURTADO

INFORME DE PRÁCTICAS PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRONICO

Jimmy Collazos Franco  
Jefe Oficina de Investigación IUE

INSTITUCION UNIVERSITARIA DE ENVIGADO  
FACULTAD DE INGENIERIAS  
INGENIERIA ELECTRÓNICA  
ENVIGADO  
2014

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>2 de 103</b>

## DEDICATORIA

El presente proyecto “REINGENIERÍA A LOS SISTEMAS AUXILIARES DE LAS UNIDADES DE GENERACIÓN EN LA CENTRAL PORCE II DE EMPRESAS PÚBLICAS DE MEDELLÍN” es el producto de un arduo trabajo y dedicación por lo cual se agradece:

A Dios, primeramente quien me brindó la oportunidad y fortaleza de llevar a cabo mis prácticas en una empresa de tanto prestigio, de cumplir ese sueño aparentemente inalcanzable en los inicio de mi carrera: dar a conocer mis fortalezas y aprender valiosas lecciones tanto para mi vida personal y profesional en Empresas Públicas de Medellín.

A mi familia que con su apoyo y afecto estuvo acompañándome en mi proceso de formación compartiendo esta gran experiencia, y a aquellos maestros que con su sabiduría siempre me orientaron y enseñaron todos esos conocimientos en pro de ser un verdadero profesional.

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>3 de 103</b>

## LISTA DE ILUSTRACIONES

<i>Ilustración 1: Descripción del proceso de generar energía.....</i>	18
<i>Ilustración 2: Organigrama Área Guadalupe.....</i>	19
<i>Ilustración 3: Composición Área Guadalupe.....</i>	19
<i>Ilustración 4: Descripción del Área.....</i>	20
<i>Ilustración 5: Estructura Área Guadalupe [Integrantes Equipo Electrónico].....</i>	24
<i>Ilustración 6: Metodología de la reingeniería del control en los subsistemas de Porce II. ....</i>	37
<i>Ilustración 7: Presa Porce III (EPM).....</i>	44
<i>Ilustración 8: Interior de la Presa Porce II (EPM).....</i>	45
<i>Ilustración 9: Turbina Francis Porce II (EPM).....</i>	46
<i>Ilustración 10 Hydroelectric power basic illustration.....</i>	47
<i>Ilustración 11: Diagrama de Central Hidroelectrica Porce II(EPM).....</i>	48
<i>Ilustración 12: Secuencia de arranque de Porce II.....</i>	53
<i>Ilustración 13: Control del CCM.....</i>	55
<i>Ilustración 14 : Configuración PLC CCM.....</i>	58
<i>Ilustración 15: Secuencia CCM en Grafcet página 1.....</i>	59
<i>Ilustración 16 : Secuencia CCM en Grafcet página 2.....</i>	60
<i>Ilustración 17: Distribución red Ethernet de control Porce 2.....</i>	61
<i>Ilustración 18 : Propuesta de configuración de hardware CCM.....</i>	63
<i>Ilustración 19 : Proficy Machine Edition v5.8.....</i>	65
<i>Ilustración 20 : IHM Pantalla 1 de alarmas CCM.....</i>	67
<i>Ilustración 21 : IHM Pantalla 2 alarmas CCM.....</i>	67
<i>Ilustración 22 : Codillos para simular entradas digitales al PLC.....</i>	68
<i>Ilustración 23 : Diagrama de cableado de campo de 24V para módulo de entradas discretas IC693MDL655.....</i>	69
<i>Ilustración 24: Laboratorio PLC para pruebas funcionales.....</i>	70
<i>Ilustración 25 : Configuración del módulo de comunicación para el CCM (CMM321).....</i>	71
<i>Ilustración 26 : Pruebas de comunicación con el SCADA.....</i>	72
<i>Ilustración 27 : Servicios Auxiliares Porce II (Unidad 1).....</i>	75
<i>Ilustración 28 : Configuración del PLC Principal del SAU.....</i>	78
<i>Ilustración 29 : Configuración del PLC IHR del SAU.....</i>	79
<i>Ilustración 30 : Secuencia SAU en Grafcet página 1.....</i>	80
<i>Ilustración 31 : Secuencia del SAU en Grafcet página 2.....</i>	81
<i>Ilustración 32 : Secuencia del SAU Grafcet página 3.....</i>	82

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>4 de 103</b>

<i>Ilustración 33 : Secuencia del SAU en Grafcet página 4 .....</i>	<i>83</i>
<i>Ilustración 34 : Propuesta de configuración de SAU .....</i>	<i>84</i>
<i>Ilustración 35 : IHM pantalla 1 alarmas SAU .....</i>	<i>85</i>
<i>Ilustración 36 : IHM pantalla 2 alarmas SAU .....</i>	<i>86</i>
<i>Ilustración 37 : Configuración del módulo de comunicación para el SAU (CMM321) .....</i>	<i>88</i>
<i>Ilustración 38 : Bombas de drenaje.....</i>	<i>89</i>
<i>Ilustración 39 : Tablero CCM4.....</i>	<i>90</i>
<i>Ilustración 40 : Esquema de control CCM4.....</i>	<i>91</i>
<i>Ilustración 41 : Configuración del PLC IHR del CCM4 .....</i>	<i>93</i>
<i>Ilustración 42 : Configuración del PLC Principal del CCM4.....</i>	<i>94</i>
<i>Ilustración 43 : Propuesta de configuración CCM4.....</i>	<i>95</i>

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>5 de 103</b>

## LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1: Aspectos generales de práctica .....</i>	<i>10</i>
<i>Tabla 2: Presupuesto Inicial .....</i>	<i>40</i>
<i>Tabla 3: Presupuesto Real.....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 4: Fuentes de Financiación .....</i>	<i>41</i>
<i>Tabla 5: Características Turbina Porce II.....</i>	<i>49</i>
<i>Tabla 6: Variables de Entrada CCM .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 7 : Señales de Salida CCM .....</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 8 : Módulos del diseño del CCM .....</i>	<i>64</i>
<i>Tabla 9 : Señales análogas adicionales del subsistema CCM .....</i>	<i>73</i>
<i>Tabla 10 : Variables de Entrada SAU .....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 11 : Variables de salida SAU.....</i>	<i>77</i>
<i>Tabla 12 : Modulos del diseño del SAU .....</i>	<i>84</i>
<i>Tabla 13 : Variables de Entrada CCM4 .....</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 14 : Variables de Salida CCM4 .....</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 15 : Módulos de diseño del CCM4 .....</i>	<i>95</i>

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>6 de 103</b>

## GLOSARIO

1. **CREG:** Comisión de Regulación de Energía y Gas
2. **OEF:** (Obligaciones de Energía Firme) Corresponde a un compromiso de los generadores respaldado por activos de generación capaces de producir energía firme durante condiciones críticas de abastecimiento.
3. **SIN:** sistema interconectado Nacional
4. **ENFICC:** (Energía Firme para el Cargo por Confiabilidad) Se calcula utilizando un modelo computación que maximiza la energía mínima que puede entregar mes a mes una planta hidráulica en condiciones de bajos caudales.
5. **PLC:** Controlador lógico programable (en inglés Programmable Logic Controller) un dispositivo manejado por un procesador que utiliza software de base lógica para permitir control eléctrico a varias máquinas.
6. **CCM:** Centro Control de Motores, es un tablero que alimenta, controla y protege circuitos cuya carga esencialmente consiste en motores y que usa contactares o arrancadores como principales componentes de control.
7. **SAU:** Servicios Auxiliares de máquina, es un tablero que alimenta y protege todos los circuitos adicionales de cada unidad como frenos, órgano de guarda, centro control motores...
8. **Mantenimiento preventivo:** es el destinado a la conservación de equipos o instalaciones mediante realización de revisión y reparación que garanticen su buen funcionamiento y fiabilidad
9. **Mantenimiento Predictivo:** es el que está basado en la determinación del estado de la máquina en operación. El concepto se basa en que las máquinas darán un tipo de aviso antes de que fallen y este mantenimiento trata de percibir los síntomas para después tomar acciones.
10. **Mantenimiento Correctivo:** aquel que corrige los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, es la forma más básica de mantenimiento y consiste en localizar averías o defectos y corregirlos o repararlos.
11. **Disponibilidad:**

$$\frac{\text{Tiempo disponible}}{\text{Tiempo Calendario}} \times 100\%$$

$$\text{Tiempo disponible} = \text{Tiempo calendario} - \text{Tiempo de indisponibilidad}$$

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>7 de 103</b>

- 12. Confiabilidad:** Un esquema de remuneración que permite hacer viable la inversión en los recursos de generación eléctrica necesarios para garantizar de manera eficiente la atención de la demanda de energía en condiciones críticas de abastecimiento, a través de señales de largo plazo y la estabilización de los ingresos del generador.
- 13. Almenara:** Canal que recoge el agua sobrante de las acequias y la conduce a un río.
- 14. Campo electromagnético:** es un campo físico, de tipo tensorial, producido por aquellos elementos cargados eléctricamente, que afecta a partículas con carga eléctrica.
- 15. Rack (PLC):** Un empaquetado con ranuras que son utilizadas para conectar módulos múltiples de un PLC.
- 16. GRAFCET:** (GRAphe Fonctionel de Commande Etappe Transition) es un diagrama funcional que permite hacer un modelo del proceso automatizar, funciona para documentar la etapa secuencial de cualquier sistema.<sup>1</sup>
- 17. IHR:** Se entiende como la interfaz que recibe todas las señales de campo, allí llegan todas las señales digitales de los subsistemas.
- 18. IHM:** Interface humano maquina, se refiere a las pantallas táctiles instaladas cercanas de cada subsistema donde se visualiza las alarmas y fallas de un subsistema.
- 19. OSI:** Open system Interconnection model, es un modelo conceptual que caracteriza y estandariza las funciones internas de cualquier sistema de comunicación.
- 20. Set point:** se refiere a la salida deseada de un proceso que un controlador automático busca entregar.

---

<sup>1</sup> [1] colaboradores de Wikipedia, "GRAFCET," in *Wikipedia, La enciclopedia libre*, L. e. l. Wikipedia, Ed., ed.

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>8 de 103</b>

## Tabla de contenido

1	ASPECTOS GENERALES DE LA PRÁCTICA.	10
1.1	Centro de práctica.	10
1.2	Objetivo de la práctica empresarial.	14
1.3	Justificación de la práctica empresarial.	15
2	ESPECIFICACIONES DE ACUERDO CON LA MODALIDAD (ÁMBITO) DE PRÁCTICA	17
2.1	Planteamiento del problema.	17
2.2	Equipo de trabajo.	24
2.3	Metodología de trabajo.	26
2.4	Descripción del proceso de práctica.	28
2.5	Resultados esperados.	31
3	PROPUESTA PARA LA AGENCIA O CENTRO DE PRÁCTICAS	32
3.1	Título de la propuesta	32
3.2	Planteamiento del problema.	32
3.3	Justificación.	34
3.4	Objetivos	36
3.4.1	Objetivo General	36
3.4.2	Objetivos Específicos	36
3.5	Diseño metodológico	37
3.6	Cronograma de actividades	39
3.7	Presupuesto	40
4	DESARROLLO DEL PROYECTO	42
4.1	Descripción del proceso de generación de energía	42
4.1.1	Subprocesos de la generación	42
4.1.2	Generación eléctrica con recursos hídricos	44
4.1.3	Funcionamiento del generador Porce II	48
4.2	Centro Control Motores	53
4.2.1	Transmisión de calor por convección	54
4.2.2	Elementos de Control	55
4.2.3	Configuración del PLC	57
4.2.4	Esquema lógico de control	58
4.2.5	Diseño del lazo y protocolo de comunicación	60
4.2.6	Diseño de la reingeniería del CCM (Hardware)	63
4.2.7	Diseño de la reingeniería del CCM (Software)	64
4.2.8	Pruebas funcionales al sistema	68
4.2.9	Pruebas de comunicación con el SCADA de control	70
4.2.10	Implementación	73
4.3	Servicios Auxiliares de Maquina	74
4.3.1	Elementos de control	76
4.3.2	Configuración del PLC	78
4.3.3	Esquema lógico de Control	79

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>9 de 103</b>

4.3.4	Diseño de la reingeniería SAU (Hardware)	83
4.3.5	Diseño de la reingeniería del SAU (Software)	84
4.3.6	Pruebas funcionales al sistema	86
4.3.7	Pruebas de comunicación con el SCADA de control	87
4.4	Centro Control Motores 4 (bombas de drenaje)	89
4.4.1	Elementos de control	91
4.4.2	Configuración del PLC	93
4.4.3	Esquema lógico de control	94
4.4.4	Diseño de la reingeniería CCM4 (Hardware)	94
4.4.5	Diseño de la reingeniería CCM4 (Software)	95
4.4.6	Pruebas funcionales al sistema	96
4.4.7	Pruebas de comunicación con el SCADA de control	96
5	INCONVENIENTES EN EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.	97
6	CONCLUSIONES	98
7	EXPERIENCIA EN LA PRÁCTICA PROFESIONAL	100
8	BIBLIOGRAFIA	102

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>10 de 103</b>

## 1 ASPECTOS GENERALES DE LA PRÁCTICA.

Nombre de Estudiante	Sergio Andrés Ruiz Hurtado
Programa Académico	Ingeniería Electrónica
Nombre de la AGENCIA O CENTRO DE PRÁCTICA	Empresas Públicas de Medellín
NIT.	890.904.996-1
Dirección	Cra 58 No 42-125
Teléfono	3808080
Dependencia o Área	Área Guadalupe
Nombre Completo del Jefe del estudiante	Carlos David Montoya Escobar
Cargo	Prof. C Técnico Generación
Labor que desempeña el estudiante	Reingeniería de sistema de control del CCM y servicios auxiliares de la unidad 1, 3 y el CCM 4 de Porce II
Nombre del Asesor de práctica	Jimmy Collazos Franco
Fecha de inicio de la práctica	22 de Julio de 2013
Fecha de finalización de la práctica	21 de Julio de 2014

Tabla 1: Aspectos generales de práctica

### 1.1 Centro de práctica.

Empresas Públicas de Medellín

EPM es una empresa de servicios públicos domiciliarios que tiene una historia para contar, con cifras y hechos de una responsabilidad social y ambiental que le da sentido a su origen, a su desarrollo y a su estrategia de negocios.

En su primera etapa, EPM sólo atendió a los habitantes de Medellín, la ciudad donde inició sus actividades en 1955. Desde entonces ha alcanzado un alto desarrollo que la sitúa a la vanguardia del sector de los servicios públicos en Colombia.

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>11 de 103</b>

Organizada bajo la figura de “empresa industrial y comercial del Estado”, de propiedad del Municipio de Medellín, EPM imprime los más altos estándares internacionales de calidad a los servicios que presta: energía eléctrica, gas por red, agua y saneamiento.

Experiencia, fortaleza financiera, transparencia y capacidad técnica, son los principales rasgos que identifican a esta organización, cuyo enfoque principal es su responsabilidad social y ambiental.

EPM es una empresa autónoma que desde su creación en 1955 opera de forma independiente del Municipio. La participación de éste en la Empresa está sometida a las reglas previstas en el artículo 27 de la Ley 142 de 1994, en la condición de ser el Municipio propietario único de la empresa industrial y comercial del Estado del orden municipal.

EPM y el Municipio de Medellín, tradicionalmente, han propendido por independizar los roles en que se cruzan las actividades de ambos entes y que se resumen principalmente así:

- El Municipio como propietario.
- El Municipio como ente territorial.
- El Municipio como cliente de EPM.

Dicha independencia redundante en una gestión más eficiente y en una mayor transparencia en las actuaciones de cada entidad, por lo que se tienen formalizados diferentes canales de comunicación con el Municipio para cada uno de los roles que desempeña, así:

- Rol de propiedad: lo ejerce a través de su participación como Presidente de la Junta Directiva y está regido por el Convenio Marco de Relaciones, documento que establece los principios que definen las actuaciones de ambas entidades y las obligaciones de cada una respecto al crecimiento y la sostenibilidad de EPM.
- Rol de ente territorial: con respecto a los impuestos (predial, industria y comercio, etc.), que deben ser cancelados al Municipio, EPM tiene un tratamiento tributario similar a cualquier otra persona natural o jurídica y no existen acuerdos diferenciales o especiales con el Municipio.
- Rol de cliente: EPM no concede tratamiento especial ni exonera del pago, en su carácter de usuario de servicios públicos, al Municipio de Medellín.

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>12 de 103</b>

Para EPM, el Gobierno Corporativo es el conjunto de disposiciones, prácticas y medidas que demarcan el adecuado equilibrio entre la propiedad y la gestión de la empresa, a fin de garantizar su sostenibilidad y crecimiento, los derechos de sus inversionistas, la transparencia y ética en su actuación y el equilibrado acceso a la información para sus grupos de interés.

Con el fin de materializar los propósitos enunciados, EPM cuenta con una serie de documentos que compilan las exigencias normativas que le son aplicables, tanto a las empresas descentralizadas del sector de los servicios públicos domiciliarios como a las que emiten valores, y las conjuga con una serie de prácticas y estándares concretos de autorregulación indispensables para generar confianza entre sus grupos de interés, mantener su crecimiento y promover la transparencia.

#### Servicios de EPM

EPM llega a 123 municipios de Antioquia. En Medellín y el Área Metropolitana del Valle de Aburrá atiende a 3.6 millones de habitantes.

La búsqueda de la sostenibilidad es la clave de las actuaciones de EPM. Por eso ha sido protagonista en el desarrollo social de Medellín y de las demás ciudades de Colombia donde hace presencia con sus servicios.

EPM tiene el 24,74% de la comercialización de energía en Colombia, muy cercano al tope del 25% que le impone la regulación. Así mismo genera el 19% de la energía firme del país sobre un tope permitido también del 25%. Con la expansión de la demanda y de su propia capacidad por la construcción de Hidroituango, se proyecta que producirá en 2019 el 29% de la energía del país sobre un tope permitido en ese escenario del 30%. Al cierre de 2010, la capacidad instalada en generación energía es de 2,597 MW, y un total de 1,892,372 clientes, a diciembre 31. En los primeros días de enero de 2011 entró en operación la primera unidad de Porce III, con lo cual la capacidad instalada total de la empresa se elevó a 2,787.6 MW.

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>13 de 103</b>

En aguas se atiende un área de 202.9 km<sup>2</sup> en los 10 municipios del Valle de Aburrá, con 944,368 clientes y una capacidad de tratamiento de 17.26 m<sup>3</sup>/segundo de agua potable.

El mercado total está compuesto por 3,358,428 servicios instalados, si se suman energía (1,892,372) Aguas (1,889,303, incluyendo agua potable y alcantarillado) y gas (521,762). De éstos, 75% corresponden al sector residencial de bajos ingresos, estratos 1,2 y 3; 9% a estrato medio; 7% a estratos altos 5 y 6; y 7% al sector no residencial. En el capítulo Clientes hay un desglose más detallado del colectivo de clientes.

#### Misión

Somos un Grupo Empresarial multilatinos, de origen colombiano y naturaleza pública, que genera bienestar y desarrollo con equidad en los entornos donde participa, mediante la prestación responsable e integral de soluciones en electricidad y gas, agua, aseo y tecnología de la información y las comunicaciones – TIC.

#### Visión

En el 2022 el Grupo Empresarial EPM habrá logrado posicionarse entre las 50 primeras multilatinas por ingresos, con énfasis en Colombia, Centroamérica, Brasil, Chile, Perú y México, siendo referente en excelencia operativa, reputación y transparencia; ofreciendo a los clientes y al mercado un portafolio integral de soluciones competitivas en electricidad y gas, agua, aseo y tecnología de la información y las comunicaciones – TIC, fundamentadas en prácticas socialmente responsables con todos los grupos de interés.

#### MEGA del grupo EPM

En el año 2022 el Grupo EPM alcanzará, con criterios de competitividad responsable, unos ingresos de US\$16.000 millones, con un EBITDA (Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization - Ganancias antes de Intereses, Impuestos, Depreciaciones y Amortización) de al menos US\$5.500 millones con rentabilidad socio-económica y financiera, esta última, superior al costo de capital.<sup>2</sup>

<sup>2</sup> [2] E. Montoya(2007). recuperado el día (2013, 15 de Octubre). *EPM.COM.CO*. desde: <https://www.epm.com.co/site/>

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE PRACTICA</p>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>14 de 103</b>

### **1.2 Objetivo de la práctica empresarial.**

Concurrir puntualmente al lugar asignado por la empresa para desarrollar su formación en la fase práctica, durante el periodo establecido para la misma, en las actividades que se le encomienden y que guarde relación con la especialidad de su formación, cumpliendo con las indicaciones que le señala la empresa. En todo caso la intensidad horaria que debe cumplir el aprendiz universitario durante la etapa de prácticas en la empresa, no podrán exceder de 48 horas de conformidad con el acuerdo 23 de 2005 de Sena.(Contrato de aprendiz, EPM)

De igual modo dentro del periodo de práctica, en el caso de estudiantes de pregrado, se le asignara un proyecto que corresponda a su área de conocimiento, en donde contara con un tutor y un equipo de trabajo que ayudara y orientara dicha labor, con el fin de que se cumpla a cabalidad en el tiempo de su contrato de aprendiz, y se entreguen la evidencias del producto finalizado a las áreas convenientes.<sup>3</sup>

---

<sup>3</sup> [3] EPM, "Contrato de aprendiz PDF," *Obligaciones aprendiz*, 2013.

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>15 de 103</b>

### ***1.3 Justificación de la práctica empresarial.***

EPM, como entidad pública prestadora de servicios, instaura la responsabilidad social como eje transversal que guía sus acciones, como parte constitutiva de su estrategia de crecimiento y propósito de sostenibilidad. En su devenir como grupo, EPM se ve convocada a establecer un puente entre la organización y la sociedad, apostándole a la responsabilidad y proceder de su tejido humano.

Para ello la Organización se plantea tres preguntas: ¿En qué nivel ético se encuentra EPM?, ¿A qué nivel de desarrollo ético aspiramos?, ¿Cómo podemos alcanzar cada vez un desarrollo ético más incluyente?

La respuesta a cada una de estas preguntas parte de la observación del pensamiento organizacional que rige las acciones de nuestros funcionarios. Este pensamiento no es estático; por el contrario, va adquiriendo nuevas formas en la medida en que las personas comprenden la razón de ser de nuestro grupo empresarial e incorporan las conductas que favorecen las estrategias; dicho pensamiento no está ligado únicamente a las prácticas laborales, sino también al nivel de involucramiento organizacional que se expresa en compromisos éticos.

Los compromisos que cada uno de nosotros asumimos como sujetos laborales, con nuestra empresa, con nuestros compañeros, con nuestra comunidad, emergen de los valores que palpitan en la organización y se materializan en nuestro trabajo del día a día. Cada valor se hace presente y cobra vida en nuestras relaciones y actuaciones.

Las conductas o comportamientos éticos, no son simples actuaciones; por el contrario, devienen de un trabajo que va de lo individual a lo colectivo, donde convergen, además, las competencias y cualidades que hacen valiosos a nuestros funcionarios, de la mano de valores organizacionales que posibilitan la integración de una ética empresarial.

Desde la Unidad de Selección de Talentos, se coordina el programa de aprendices y Practicantes Universitarios, donde el Grupo Empresarial EPM busca brindar adiestramiento, en conjunto con el Servicio Nacional de Aprendizaje SENA y las diferentes instituciones autorizadas, a la población estudiantil que cumpla con los perfiles estipulados por la empresa, según las modalidades que el SENA

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>16 de 103</b>

establezca y las áreas donde la organización pueda garantizar campo de práctica. Con este programa la organización cumple con la función social de brindar formación específica a personas externas, que cumplan previamente algunas condiciones establecidas, ya que la empresa ha tenido como propósito convertirse en una alternativa de acercamiento con la comunidad educativa, a través de los diferentes programas ofrecidos, permitiendo a la organización participar en la formación, desarrollo y creación de nuevos mecanismos que contribuyan al mejoramiento de la calidad de vida de la población. Por lo tanto, cada área del Grupo Empresarial EPM debe enviar un requerimiento a la Unidad Selección de Talentos, donde soliciten un Aprendiz de determinada formación para que realice la práctica.

Una vez recibido el requerimiento del área, la Unidad Selección de Talentos valida que hayan cupos disponibles para aprendices y que tengan personas con la formación solicitada; en caso afirmativo, proceden a evaluar una persona para asignarla a esa área.

El programa ha sido diseñado y desarrollado por La Unidad Selección de Talentos de acuerdo a lo establecido en la Ley 789 de diciembre 27 de 2002, el Decreto 933 de abril 11 del 2003, la Circular es la 1361 del 9 de abril de 2007 y el Acuerdo 00023 de 2005 del SENA.

Este programa clasifica a los aprendices de la siguiente manera:

- **Aprendices para patrocinio:** son estudiantes de técnicas o tecnologías del Servicio Nacional de Aprendizaje SENA o de Instituciones de formación para el trabajo, que solicitan a EPM una ayuda de sostenimiento durante todo el proceso de formación en su etapa lectiva, el cual corresponde al 50% del SMLV. El aprendiz se compromete a mantener un buen promedio académico y a asistir a los talleres de formación en competencias para aprendices (un taller mensual) durante su etapa lectiva. Cuando ingresan a la etapa práctica, la empresa los ubica en una de las dependencias donde estén necesitando un aprendiz para realizar actividades acordes a la formación de cada uno de ellos y el apoyo de sostenimiento es del 100% del SMLV.
- **Aprendices para etapa productiva:** son los estudiantes de técnicas o tecnologías que buscan realizar la práctica, ya sea de 6 meses o de un año. Se adscriben a EPM con un contrato de aprendizaje, donde está estipulado una

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>17 de 103</b>

ayuda de sostenimiento equivalente al 75% del SMLV para técnicos y el 100% del SMLV para Tecnólogos. Estos aprendices pueden ser de todas las instituciones de formación para el trabajo y de Educación Superior.

- Programa de Practicantes Universitarios: son los estudiantes de pregrados que buscan realizar la práctica, ya sea de 6 meses o de un año. A través del contrato de aprendizaje, reciben de EPM una ayuda de sostenimiento equivalente al 150% del SMLV.

Los criterios para otorgar una mayor oportunidad y brindar mayor cobertura del programa de Aprendices y Estudiantes de Práctica Universitarios, se ha definido así:

- La cuota de apoyo y sostenimiento se brinda a los aspirantes, teniendo en cuenta, el presupuesto disponible en EPM.
- El patrocinio igualmente se define por la posibilidad de práctica en un área o dependencia de EPM.
- El 75% de la cuota está destinado para la cobertura de aprendices con formación en estudios técnicos o tecnológicos; y 25% de la cuota restante es reservado para estudiantes de pregrado que requieren hacer el semestre o año de práctica. Actualmente, la cuota está en 201 aprendices y 65 estudiantes de práctica universitarios. (Selección de talentos, grupo empresarial EPM).<sup>4</sup>

## **2 ESPECIFICACIONES DE ACUERDO CON LA MODALIDAD (ÁMBITO) DE PRÁCTICA**

### **2.1 Planteamiento del problema.**

EPM es garantía de confiabilidad para el sistema eléctrico colombiano. Su proceso “generación energía” acredita certificación de calidad en la operación y mantenimiento en sus principales centrales de generación.

---

<sup>4</sup> [4] A. M. Ospina, Re: Preguntas practicante Guadalupe 19 de Septiembre del 2013, [Consultado: 23 de Septiembre del 2013]. Disponible en correo:Sergio.Ruiz@epm.com.co

	<p>INFORME FINAL DE PRACTICA</p>	<p>Código: <b>F-PI-038</b></p>
		<p>Versión: <b>01</b></p>
		<p>Página <b>18 de 103</b></p>

Para generar energía eléctrica y prestar servicios asociados y complementarios de manera oportuna y confiable, se debe hacer una adecuada administración, operación y mantenimiento de infraestructuras y recursos de generación; con responsabilidad ambiental, cumpliendo los requisitos legales. El proceso Generar Energía está conformado por dos subprocesos y apoyado en uno de soporte operar y mantener.



Ilustración 1: Descripción del proceso de generar energía.

Al establecer claramente que la práctica se enfocara en el sector energético, más específicamente el sector de generación. Se establece que el alcance de este proyecto será dentro del área de Guadalupe.

El Área Guadalupe, está ubicada al nordeste de Antioquia entre los municipios de Guadalupe, Gómez Plata, Carolina y Amalfi. Esta es una de las siete Áreas que forman parte de la Subgerencia Operación Generación.

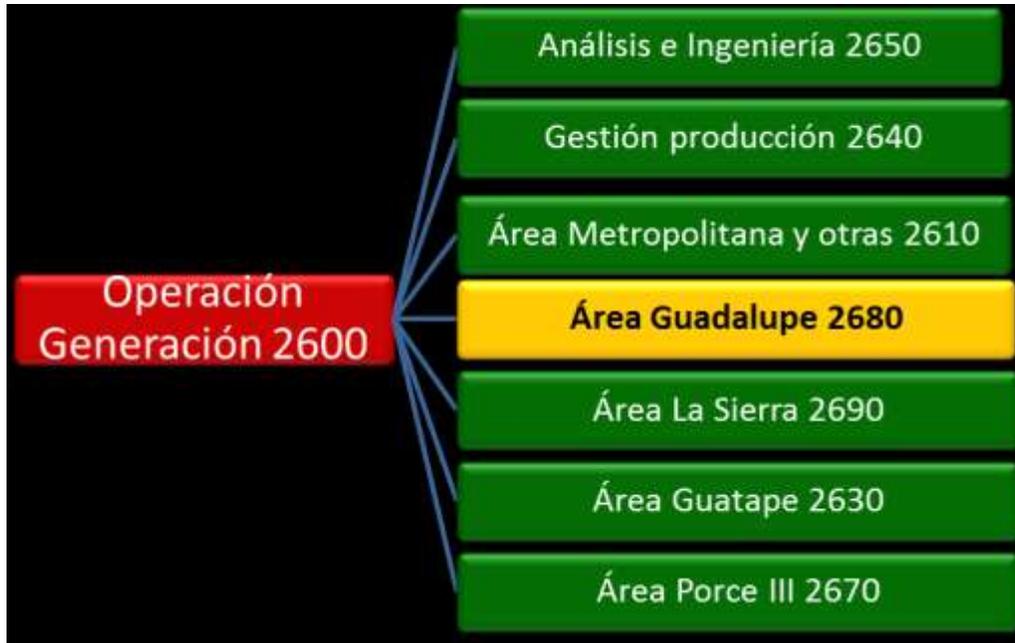


Ilustración 2: Organigrama Área Guadalupe

El Área Guadalupe, aporta un promedio de 36% del total de la energía generada por EPM en un año (4700 GW aproximadamente), Está conformada por cuatro centrales hidroeléctricas y dos mini centrales.

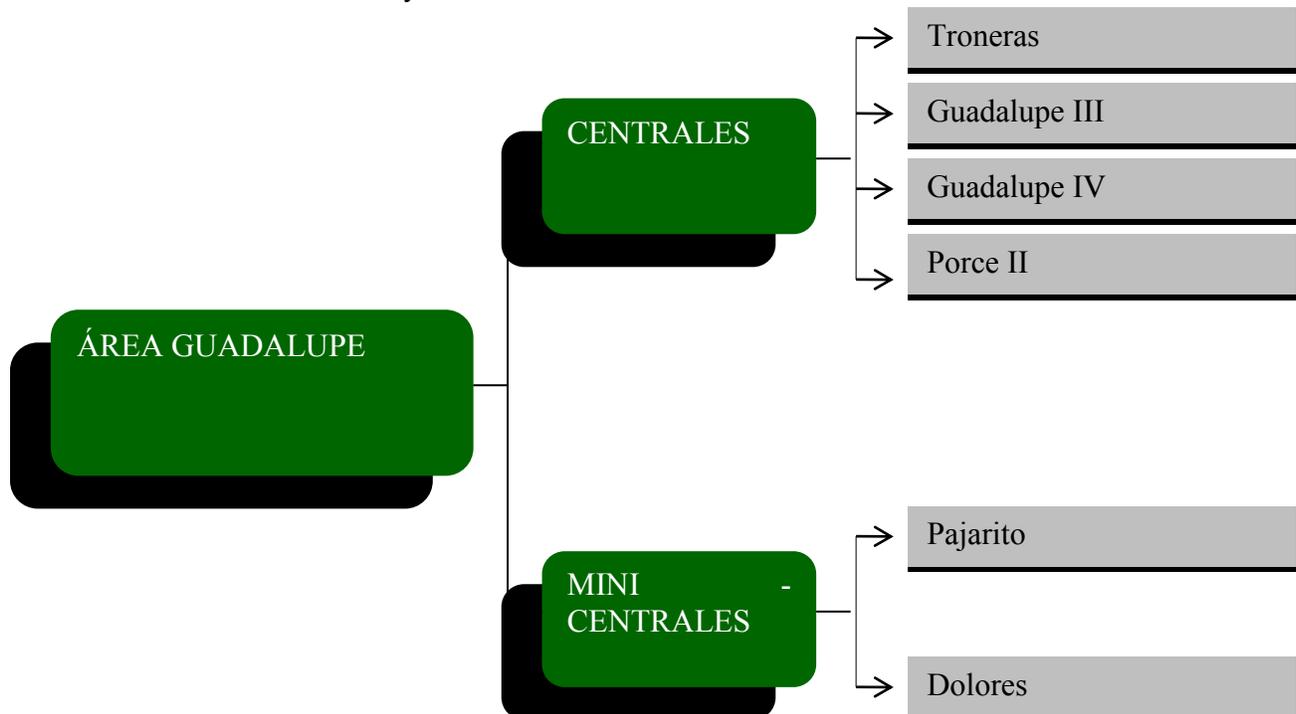


Ilustración 3: Composición Área Guadalupe



Todas las centrales de la cadena Guatron están distribuidas a través de una serie de recursos hídricos como ríos para aprovechar al máximo la generación minimizando los efectos negativos que puedan tener en el medio ambiente.

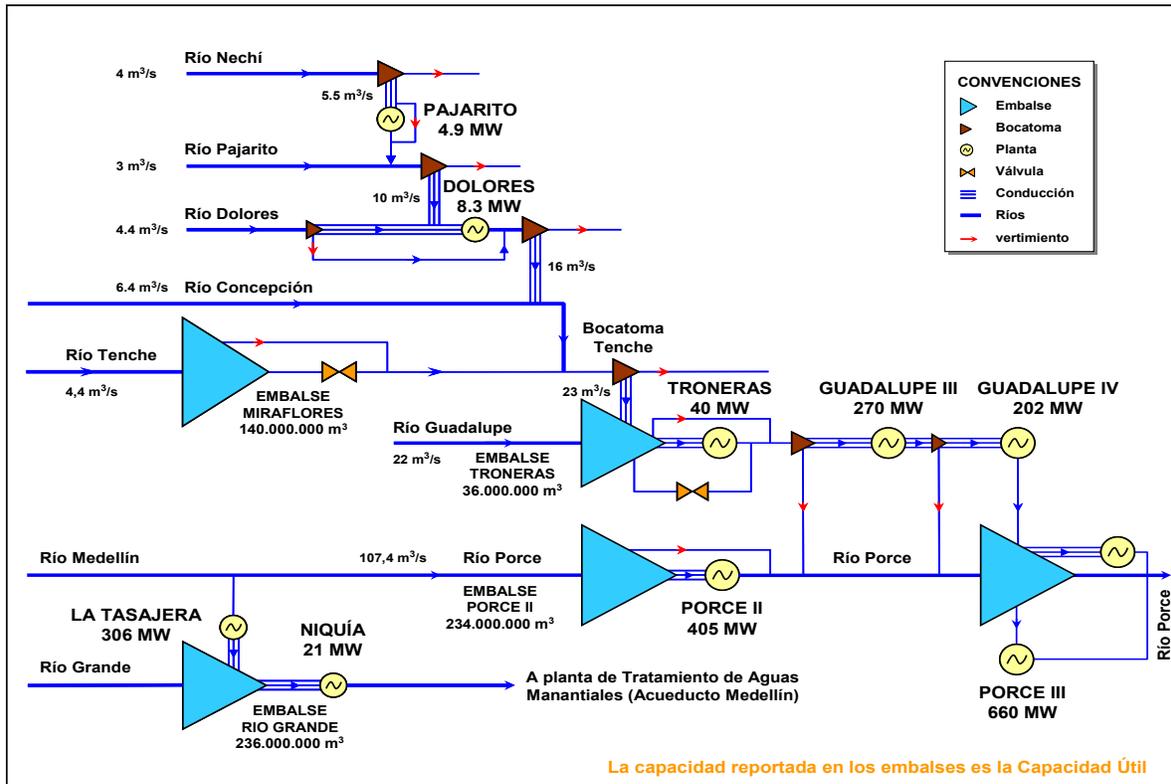


Ilustración 4: Descripción del Área

### La central Porce II

La central hidroeléctrica Porce II, bautizada "Juan Guillermo Penagos Estrada", se encuentra ubicada al Nordeste del departamento de Antioquia, a una distancia aproximada de 120 kilómetros de la ciudad de Medellín, por la carretera que de esta ciudad conduce a las poblaciones de Amalfi y Anorí.

La principal fuente de alimentación del embalse es el río Porce, el cual nace con el nombre de río Medellín en el alto de San Miguel, al sur de la ciudad de Medellín, y desciende atravesando la parte central del departamento de Antioquia en dirección noreste, hasta desembocar en el río Nechí, afluente del río Cauca, después de un recorrido de 232 kilómetros.

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>21 de 103</b>

La central hidroeléctrica Porce II se compone de un embalse con una capacidad total de 142.7 millones de metros cúbicos (Mm<sup>3</sup>), el cual inunda un área, con el nivel normal de operación, de 890 hectáreas.

Este embalse también recibe los vertimientos y descargas de agua de la central hidroeléctrica La Tasajera, que genera energía con las aguas del embalse Riogrande II. En conjunto, Porce II aprovecha un caudal medio de 113,6 m<sup>3</sup>/s, con un salto bruto de 239,7 metros, para una Energía firme de 1.294.5 GWh/año y una Capacidad Efectiva Neta de 405 MW.

La casa de máquinas, del tipo subterránea, contiene tres generadores sincrónicos de 142 MW con turbinas tipo Francis de eje vertical. La subestación a 230 KV, de tipo convencional, posee tres campos de generación y tres campos de transmisión uno para cada una de las fases R, S y T.

La operación de los tres generadores se divide en subsistemas para facilitar su control. Dentro de estos subsistemas encontramos la estación hidráulica, el órgano de guarda, el CCM (Centro Control Motores) o más conocido como refrigeración de la unidad, la estación hidroneumática, los frenos, los servicios auxiliares (SAU) que controlan las bombas de lubricación de cojinetes combinados y superiores, el sello de operación del eje y finalmente el sistema de lubricación forzada o inyección de aceite. Para el correcto funcionamiento de cada unidad de generación y para EPM cumplir con la garantía de energía que estipula en su declaración de calidad, cada uno de estos sistemas debe ser controlado, monitoreado y revisado periódicamente.

Los servicios auxiliares de cada unidad contiene la alimentación eléctrica del CCM. Este subsistema se encarga de todos los equipos auxiliares a la maquina generadora que necesiten de una alimentación de 480 voltios de corriente alterna; tal como las bombas de circulación de aceite en los cojinetes, de allí se transforma y transfiere 208 voltios de corriente alterna al CCM que finalmente se encarga de la refrigeración de la unidad controlando las bombas de agua cruda, agua tratada e intercambiadores de calor. Los CCM son un subsistema esencial para cada unidad, ya que permite que la temperatura de todos los elementos de la unidad se mantenga en un valor constante que no cause algún riesgo de un siniestro. Este subsistema, como todos los subsistemas de las plantas de generación de EPM cuenta con un principal y un respaldo. La función de las bombas es circular agua por los intercambiadores de calor para que la temperatura del agua que circula por

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>22 de 103</b>

los radiadores del estator, los transformadores y los cojinetes se mantenga constante y no aumente a causa de las piezas móviles de la unidad.

El hardware que soporta actualmente el control de los servicios auxiliares (SAU) y centro de control motores (CCM); ambos esenciales para la unidad, es ahora obsoleto, esto quiere decir que no se puede adquirir repuesto en caso de algún daño en estos equipos. Esto pone en riesgo la garantía de generación de todas las unidades de la planta y por ende la confiabilidad de la planta en general; traduciendo ambos indicadores en pérdidas económicas para la empresa. Estos equipos llevan funcionando desde el año 2001, lo que quiere decir que tienen 13 años de funcionamiento continuo. Como cualquier equipo electrónico, en el se produce un desgaste a través del tiempo y debido a esto se están presentando varias fallas de hardware. La unión de estas fallas más lo imposible que es conseguir repuestos genera un punto crítico a enfrentar.

Además, se presenta una deficiencia en la optimización de los recursos. Actualmente cada uno de los servicios auxiliares y centro de control motores, cuenta con 3 PLCs (programmable logic controller, controlador lógico programable); uno para recibir las señales de campo (IHR), otro para controlar las alarmas e interface maquina humano (IHM) y el ultimo con la programación lógica. Al estudiar las funciones de cada uno de los PLCs se concluyo que no es necesario separar las tres funciones en tres PLCs sino que estas tres funciones; adquisición de señales, control de alarmas, y secuencias de operación y enclavamientos se pueden reunir en un solo rack de 10 módulos. Al lograr reunir las tres funciones en un solo rack, no se necesitara hacer mantenimiento o monitoreo a 3 hardware diferentes y esto reduce aproximadamente a un tercio los puntos de falla.

Ahora bien, el software Logicmaster 90-30 es un lenguaje basado en MS-DOS (Microsoft Disk Operating System) y solo es compatible en el sistema operativo Windows 2000, Windows 98 o Windows 95. Logicmaster 90-30 es el software que contiene las copias de seguridad de estos subsistemas y el que permite que un computador se conecte a los PLCs a través de un cable serial RS-485. Todos los equipos de EPM, en busca de estar actualizados en el mercado informático contienen el sistema operativo Windows XP o Windows 7, a raíz de esto, cuando se requiere realizar una modificación a la lógica de control o se requiere conectar

	<p style="text-align: center;">INFORME FINAL DE PRACTICA</p>	<p>Código: <b>F-PI-038</b></p>
		<p>Versión: <b>01</b></p>
		<p>Página <b>23 de 103</b></p>

al PLC para hacer un análisis de fallas o pruebas de funcionamiento, no se puede llevar a cabo.

En la actualidad la estandarización en todo sistema de comunicación es un requisito esencial. Actualmente ambos subsistemas CCMs y SAUs utilizan dos protocolos de comunicación diferentes; n80 para intercomunicar los módulos de los plcs y la F-900 para comunicar cada subsistema con el sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition, Supervisión, Control, y Adquisición de datos) en al sala de operación. Estos protocolos son muy exclusivos del fabricante de los equipos y la información de estos protocolos es reservada. Esto con el motivo de que si una empresa tiene algún problema con el protocolo, se vera obligada de contactarse con la empresa fabricante de los equipos. Además el protocolo que se está manejando por los PLC imposibilita cambiar los equipos sin preocuparse por fabricante, obligando aun mas que las empresas se “casen” o dependan de una sola fabricante. Para evitar precisamente esto, mundialmente se ha optado por estandarizar todas las comunicaciones. En la central la gateway que llevaba la información del protocolo F900 al SCADA esta fallada y por este motivo solo algunas de las variables de las unidades que no se han modernizado se pueden visualizar en la sala de operación, esto es un punto crítico de mucha gravedad, en caso de que ocurra un siniestro, la empresa no tiene como rastrear la falla.

El Protocolo TCP/Modbus es un protocolo tipo Maestro/esclavo que daría solución a este problema y cumpliría con el objetivo de estandarizar el lazo de comunicación dentro de la planta.

En conclusión, para cumplir con los estándares de confiabilidad de EPM en la planta de generación hidroeléctrica PORCE II. Se hace evidente la necesidad de aplicar una reingeniería a todo el sistema de control de los sistemas auxiliares (incluyendo el subsistema de refrigeración).<sup>5,6</sup>

---

<sup>5</sup> [5] A. Moreno,(28 de Agosto del 2007). PRESENTACION PERSONAL NUEVO, [Presentación de Powerpoint]

<sup>6</sup> [2] E. Montoya(2007). recuperado el día (2013, 15 de Octubre). *EPM.COM.CO.* desde: <https://www.epm.com.co/site/>

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>24 de 103</b>

## 2.2 Equipo de trabajo.

El área Guadalupe cumple la política de calidad de EPM “Empresas Públicas de Medellín, implementa un Sistema de Gestión de la Calidad enfocado en la satisfacción de las necesidades y expectativas de sus clientes y demás grupos de interés, el cumplimiento de la normatividad vigente y el compromiso con la mejora continua, para el cumplimiento del propósito, la estrategia y los objetivos empresariales con criterios de eficacia, eficiencia y efectividad en la prestación de sus servicios”. Por esto, cuenta con una estructura de área bien definida:

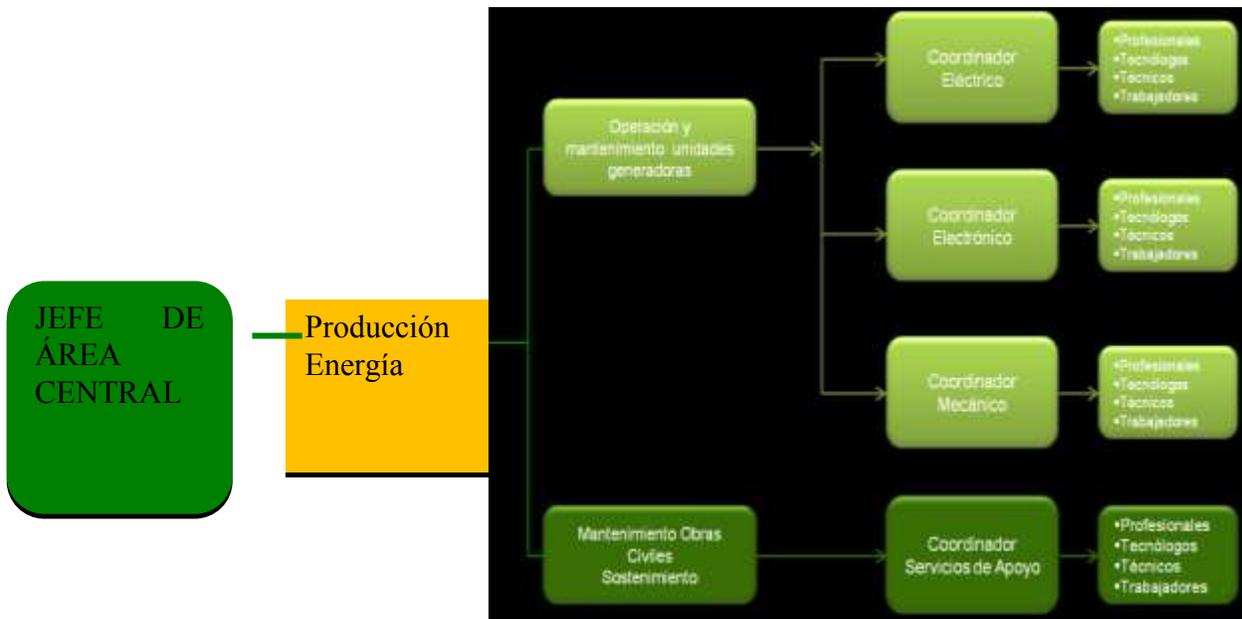


Ilustración 5: Estructura Área Guadalupe [Integrantes Equipo Electrónico]

En el proceso de práctica se cuenta con el apoyo del equipo electrónico de la cadena Guatron, conformado por: un tutor por parte de EPM; El tutor del proyecto es el coordinador electrónico actual, el Ingeniero Electrónico Carlos David Montoya, con el cargo de Profesional C, técnico generación; (el rango C, es el rango más alto en el ciclo profesional de la empresa, empezando desde nuevo profesional, sigue profesional A, B y finalmente C cargo con requisitos de 6 años de experiencia laboral dentro de la empresa y además con estudios de posgrado). Y los integrantes de la cuadrilla electrónica, como son el operador mantenedor Jorge Alberto Rodríguez; Ingeniero Electromecánico y especialista en

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>25 de 103</b>

mantenimiento, El operador generación energía Walter Wilmar Tobon Londoño; Ingeniero Electrónico, también la asesoría en información por parte de los operadores de la central Porce II. Además, a empresa está experimentando una reestructuración y por esto Porce II hace parte del centro de operaciones Porce junto con Porce III, por este motivo muchos de los profesionales de Porce III también están apoyando en este proceso.<sup>7,8</sup>

---

<sup>7</sup> [6] O. Arango,(13 de Agosto del 2012). Integrantes Equipo Electrónico, [Presentación PowerPoint]

<sup>8</sup> [5] A. Moreno,(28 de Agosto del 2007). PRESENTACION PERSONAL NUEVO, [Presentación de Powerpoint]

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>26 de 103</b>

### **2.3 Metodología de trabajo.**

La metodología utilizada es una metodología cuantitativa; esta metodología es aquella que permite examinar los datos de manera científica, o más específicamente en forma numérica, generalmente con ayuda de herramientas del campo de la estadística. Esta investigación tendrá un corte exploratorio que está dirigido a la formulación más precisa de un problema de investigación, dado que se carece de información suficiente y de conocimiento previo del objeto de estudio, resulta lógico que la formulación inicial del problema sea imprecisa.<sup>9</sup> En este caso la exploración permitirá obtener nuevos datos y elementos que puedan conducir a formular con mayor precisión las preguntas de investigación. Esto se da, debido a la profundización en los subsistemas que trata el proyecto, puesto que se hará de manera secuencial y a medida que se pase de la idea macro, a lo más particular se conocerán las variables críticas a controlar para la realización del proyecto.<sup>10</sup> Este es un proyecto orientado a la obtención de un producto tangible al final y la efectividad de este se espera reflejar en consumos de energía, consumos de espacio, confiabilidad en la comunicación y además, en reducción de equipos implicados en cada proceso, aspectos que se analizarán de una forma estadística.

Teniendo en cuenta el aspecto exploratorio de este proyecto se llevara a cabo en diferentes fases:

FASE 1: Se desarrollara una búsqueda de información general, partiendo de fuentes primarias teniendo en cuenta dos principales técnicas de recolección de información: observación directa y análisis de documentos. La primera desde la observación y conocimiento de proceso de generación de energía y plantas de generación, y la segunda, documentos tales como de manual de funcionamiento del generador PORCE II, manuales de herramientas de trabajo (PLC GEFANUC 90-30 Y Software Proficy Machine Edition 5.8) y planos unifilares y de control. Elementos que serán la base para el desarrollo y análisis del producto final.

FASE 2: Elaboración de la reingeniería de los servicios auxiliares de la planta de generación de PORCE II a partir del diseño del software y hardware, teniendo

<sup>9</sup> [7] F. Martín(2009). recuperado el día (2013, 31 de Octubre). *Metodologia*. desde: [http://www.edukando.es/mediatecaweb/data/zip/940/page\\_12.htm](http://www.edukando.es/mediatecaweb/data/zip/940/page_12.htm)

<sup>10</sup> [8] M. Gross(2010). recuperado el día (2013, 31 de Octubre). *manuelgross.blingoo.com*. desde: <http://manuelgross.blingoo.com/conozca-3-tipos-de-investigacion-descriptica-explorativa-y-explicativa>

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>27 de 103</b>

como base el software en funcionamiento, la información consignada de la empresa encargada del montaje del control inicial de la planta y la información adquirida en la etapa anterior; plasmándolo en el lenguaje de programación ladder y el diseño de la IHM (Interface Humana-Maquina).

FASE 3: Pruebas, adiciones y adaptaciones, en esta etapa se realizara diferentes procedimientos que permitan verificar el correcto funcionamiento de cada una de los elementos de control. Esto se realiza a través de dos protocolos de prueba uno funcional y otro de comunicación con el SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition), el primero por medio de un laboratorio de simulación, el cual permite la verificación del programa y el segundo permite la revisión desde la conexión al SCADA. Por ende luego de realizarlos se ejecutan modificaciones con el fin de optimizar el programa para su futura aplicación.

FASE 4: Finalmente se procederá a la etapa de implementación. Esta etapa consiste en poner a disposición del cliente el producto, en este caso es realizar la correcta adaptación del nuevo control con el SCADA y los demás subsistemas de la planta de generación. Cabe resaltar que durante el desarrollo de todas las fases, se debe soportar todo en documentación que sea de fácil interpretación para todas las personas que participan del proceso de generación de energía en EPM.<sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> [9] G. Gralneg(2004). recuperado el día (2013, 31 de Octubre). desde: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lco/talavera\\_i\\_a/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lco/talavera_i_a/capitulo3.pdf)

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>28 de 103</b>

#### ***2.4 Descripción del proceso de práctica.***

El proceso de práctica se desarrollará desde el 22 de Julio de 2013 hasta el 21 de Julio de 2014.

EPM es una empresa que tiene varias plantas de generación de energía y todo personal que ingrese nuevo al área de generación debe participar de una inducción, con el objetivo de familiarizar a todo empleado con su sitio de trabajo. Estas inducciones se dan mediante visitas técnicas a cada una de las plantas y mediante la entrega de una documentación que se debe leer. Esta visita técnica se realiza con los operadores de turno en las plantas: Guadalupe III, Guadalupe IV, Troneras, Porce II, Bocatoma Guadalupe III, cámara de válvulas y Porce III. Después de realizar esta inducción se procederá a comenzar con las diferentes fases definidas en la metodología.

La primera fase: Se basa en su totalidad en buscar información que pueda ser útil para la realización del mejoramiento, Hay múltiples fuentes para adquirir esta información, se busca comenzar por la documentación que está consignada en el servidor de EPM y en las plano tecas de las plantas; como son los manuales de funcionamiento de la planta, los planos unifilares y de control de cada subsistema. Luego, se remitirá al internet en búsqueda de los manuales de los equipos que se piensan utilizar. Se debe dividir la información adquirida en información esencial e información de respaldo. Esencial se refiere a todos los datos que deben ser leídos y comprendidos antes de emprender en la etapa de desarrollo, un ejemplo de estos es el manual de funcionamiento de Porce. En este manual se encuentra todos los datos de funcionamiento de cada unidad y es de suma importancia conocer muy bien el proceso que se va intervenir antes de intentar realizar algún tipo de mejora o cambio. Por otro lado; la información de respaldo son aquellos manuales o planos en los que se puede apoyar en caso de presentar alguna duda. En el instante cuando ya tenga estudiado la información esencial se procede a la segunda fase

La segunda fase: La realización de esta reingeniería es el punto en el que más tiempo se debe invertir. Es de suma importancia crear un calendario antes de comenzar para así crear fechas límites para cada subsistema. Los PLC que tiene la empresa a disposición para este tipo de mejoras o proyectos son los GEFANUC 90-30, son unos PLC de General Electric y el software licenciado que tiene el área

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>29 de 103</b>

es Proficy Machine Edition versión. 5.8. Esta etapa se subdivide en, diseño de Hardware, creación de enclavamientos, definición de secuencias, mapeo de señales de control y finalmente el diseño de la interface humano máquina.

La tercera fase: Se enfoca en probar y asegurarse que lo realizado en la etapa 2 del proyecto sea confiable y se comporte de la manera deseada. Estas pruebas que se realizan se dividen en dos:

- Pruebas Funcionales
  
- Pruebas de comunicación con el SCADA de control.

Las pruebas funcionales se realizan a la lógica de programación y se llevan a cabo mediante el montaje de un laboratorio. En este laboratorio se simulan todas las entradas; sean análogas o digitales, mediante codillos y se evalúa el comportamiento del subsistema observando las reacciones que se presentan en las salidas y variables calculadas del programa.

Las pruebas de comunicación con el SCADA de control se llevan a cabo mediante un switch de comunicaciones que se encuentra conectado al computador que soporta el SCADA actualmente. En estas pruebas se evalúa que el protocolo de comunicación que se propuso si se pueda aplicar y que las variables valiosas para el operador puedan ser visualizadas desde la sala de control.

Ambas pruebas demandan un protocolo de pruebas, este protocolo se debe realizar con el conocimiento del funcionamiento de cada subsistema. En estos protocolos se consigna todas las variables del programa y se define una secuencia de cambios en estas variables que reflejen el comportamiento deseado del sistema. Estas pruebas se realizan con acompañamiento del tutor y cada uno de los protocolos debe ser aprobado por el funcionario vinculado que este acompañando el proceso de pruebas.

La cuarta fase: luego de cerciorarse de que el diseño esté funcionando de la manera esperada y que exista comunicación con la sala de operación, se procede a implementar los cambios de hardware y software en los subsistemas. Cabe notar que la realización de estos cambios debe ser autorizados por todo el grupo primario del área es decir, el jefe del área, el coordinador de mantenimiento, coordinador de operación y los ingenieros de diferentes disciplinas. Además esta

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>30 de 103</b>

implementación se debe llevar a cabo en un mantenimiento donde se asegure que las unidades no entren a generar y que desde el centro de control en Medellín tengan conocimiento de que las unidades que se intervienen están indisponibles.

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>31 de 103</b>

### **2.5 Resultados esperados.**

Luego de llevar a cabo los diferentes momentos o procesos de del proyecto, entendido como una reingeniería del soporte de control del CCM1, CCM2, CCM3, CCM4, SAU1, SAU2 y SAU3 de la planta Porce II, que permitirá realizar la migración de control del lenguaje ladder de Logicmaster 90-30 a Proficy Machine Edition versión 5.8. Además, la optimización de recursos al reunir en un solo rack la obtención de señales de campo, el control de alarmas y diseño lógico de cada uno de los sistemas, habilitando la comunicación Ethernet para el nuevo SCADA de control de la central.

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>32 de 103</b>

### 3 PROPUESTA PARA LA AGENCIA O CENTRO DE PRÁCTICAS

#### 3.1 *Título de la propuesta*

Reingeniería a los sistemas auxiliares de las unidades de generación en la central PORCE II de Empresas Públicas de Medellín.

#### 3.2 *Planteamiento del problema.*

Desde el Montaje de la planta de generación Hidroeléctrica Porce II los equipos instalados en todo el proceso de control ya llevaban más de 10 años en el mercado. Los años de uso continuo de estos equipos dentro del proceso de generación de energía produjeron desgastes y mal funcionamientos en el hardware. Esto demanda intervención por el área de mantenimiento electrónico y los contratistas para buscar repararlos o en su defecto de reemplazarlo. Esta solución es poco viable ya que para estos equipos no hay proveedores y por su antigüedad los proveedores no ofrecen servicio técnico. La intervención de los subsistemas se dificulta de igual manera ya que el software de los PLC funciona únicamente en sistemas operativos antiguos como Windows 95. Todo esto generó una deficiencia en el lazo de comunicación finalmente repercutiendo en el monitoreo de la planta al que el operador tiene acceso mediante el SCADA de control. Muchas de las señales de los sistemas auxiliares no se pueden visualizar en el SCADA, debido a que las tarjetas de comunicación que se encargan de enviar las señales de los subsistemas por medio del protocolo F900 al SCADA presentan fallas, esto reduce la eficiencia de los operadores de la planta. Pero no solo fallan los módulos de comunicación, Los demás módulos de los PLCs de los subsistemas también presentan deterioro y pueden generar fallas tan graves que ya el subsistema no se puede controlar automáticamente desde el programa principal sino que el operador de la planta debe ir al subsistema, ponerlo en manual y arrancarlo de esta manera.

La suma de todas estas fallas consecutivas obligan primero, a la necesidad de mayor intervención humana; aunque en la empresa se cuenta con personal altamente calificadas, el error humano no deja de ser un riesgo y en segunda instancia la falta de monitoreo en el SCADA de control de los subsistemas de la unidad (servicios auxiliares y subsistema de refrigeración), Esto enmarca una amenaza grande para la confiabilidad de la planta, reduciendo el cobro por confiabilidad que hace EPM al gobierno.

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>33 de 103</b>

Aunque anteriormente algunos ingenieros, operadores y líderes han intentado buscar una solución a este problema, el sistema embebido de estos módulos de control y la poca información que comparte la empresa proveedora de ellos acerca del protocolo de comunicación, conlleva siempre a concluir que se debe hacer una reingeniería completa de este lazo de control.

Es importante considerar que la posibilidad de que este problema se agrave es muy alta, debido a que estos módulos siguen deteriorándose con el paso del tiempo y no existen reemplazos en el mercado ni forma de reemplazarlos con otros módulos de otro proveedor ya que el lazo de comunicación no admite otro protocolo que sea diferente al que se encuentra parcialmente en funcionamiento.

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>34 de 103</b>

### 3.3 Justificación.

Empresas Públicas de Medellín en carácter de empresa prestadora de servicios, está focalizada dentro de un compromiso de calidad en cada uno de sus servicios (agua, energía y gas); como es el sub-negocio de energía, dividido en los subprocesos: generación, transmisión y distribución. Dentro de cada servicio, cada uno se rige por ese compromiso.

En la búsqueda de cumplir con dicho compromiso en el subproceso de generación de energía, cada cadena de plantas posee un área de operación y mantenimiento. En el caso de la central hidroeléctrica Porce II, que se encuentra en la cadena de generación Porce, cuenta con un complejo sistema de supervisión, control y adquisición de datos. El correcto funcionamiento de este sistema garantiza el cumplimiento del compromiso de calidad.

Mediante la reingeniería de los servicios auxiliares de Porce II se puede asegurar que: los servicios auxiliares puedan ser supervisados desde la sala de operación, mayor confiabilidad en el hardware del sistema y en caso de falla esté se logre solucionar fácilmente al reemplazar los módulo, finalmente se migraría a un software más amigable y actualizado, facilitando la intervención en el funcionamiento de cada sistema de ser necesario y permitiendo la fácil adaptabilidad del control a las necesidades emergentes en la planta de generación. Todos estos beneficios de la reingeniería van en pro de las labores encargadas al área de operación y mantenimiento.

Además de los anteriores beneficios, EPM vera beneficios económicos teniendo en cuenta el cargo por confiabilidad que le pagan a la Central Porce II. Definido por la Comisión de Regulación de Energía y Gas (CREG), el cargo de confiabilidad es: “Es un esquema de remuneración que permite hacer viable la inversión en los recursos de generación eléctrica necesarios para garantizar de manera eficiente la atención de la demanda de energía en condiciones críticas de abastecimiento, a través de señales de largo plazo y la estabilización de los ingresos del generador”<sup>12</sup>La remuneración se da al asignar a cada generador una Obligación de Energía Firme (OEF)<sup>13</sup>, en el caso de Plantas Hidráulicas se denomina Energía Firme para el Cargo por Confiabilidad (HIENFICC). Uno de los

<sup>12</sup> [10] Comisión de Regulación de Energía y Gas(2006). recuperado el día (2014, 22 de Abril). *Cargo por Confiabilidad*. desde:

<http://www.xm.com.co/Promocin%20Primera%20Subasta%20de%20Energia%20Firme/abc2.pdf>

<sup>13</sup> [11] Comisión de Regulación de Energía y Gas(2008). recuperado el día. *Obligacion de energia firme*. desde: [http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/obligacion\\_energia\\_firme/obligacion\\_energia\\_firme.htm](http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/obligacion_energia_firme/obligacion_energia_firme.htm)

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>35 de 103</b>

parámetros que se utilizan para calcular el HIENFICC es el índice de Indisponibilidad Histórica por salidas Forzadas de la planta (IHF)<sup>14</sup>. Con el apoyo al monitoreo de los subsistemas se aporta a este parámetro, reduciéndolo y finalmente beneficiando el HIENFICC de Porce II que actualmente se encuentra en 99GWZ.

Es por ende, que la metodología que se implementara será documentada en su totalidad y este material quedara a disposición de la empresa EPM. Esta metodología está enfocada únicamente para los servicios auxiliares de las unidades de Porce II; sin embargo, puede ser implementada en otros sistemas de control que están desactualizados, buscando finalmente migrar toda la planta a un sistema de supervisión control y adquisición de datos más confiable y estándar.

La ejecución de este proyecto es de gran valor para el ingeniero en formación, en medida de, que es indispensable conocer claramente cada uno de los procesos implicados en la generación de energía y la herramienta de trabajo, como son los PLC, el software de programación, el protocolo de comunicación y el SCADA de control. Estos cuatro elementos están presentes en cualquier industria o en proceso que requiera ser controlado.

---

<sup>14</sup> [12] Comisión de Regulación de Energía y Gas(2008). recuperado el día (2014, 23 de Abril). *ENFICC Plantas Hidráulicas*. desde: [http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/enficc/plantas\\_hidraulicas.htm](http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/enficc/plantas_hidraulicas.htm)

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>36 de 103</b>

### **3.4 Objetivos**

#### **3.4.1 Objetivo General**

Realizar una reingeniería al sistema de control de los sistemas auxiliares de la unidad de generación, incluyendo el centro control motores (sistema de refrigeración de la unidad) y además el sistema de drenaje de la planta de generación hidroeléctrica de Empresas Públicas de Medellín; Porce II. Esto a través de un rediseño en hardware y software, con el fin de dar mayor confiabilidad a la planta y cumplir con la garantía de energía que estipula EPM en su declaración de calidad.

#### **3.4.2 Objetivos Específicos**

Desarrollar una recopilación de información desde la observación y análisis de documentos, acerca del funcionamiento de los generadores y más detalladamente, a los subsistemas a intervenir en la central PORCE II, en su planta física y manuales de operación.

Migrar los servicios auxiliares de la planta de generación de PORCE II a PLCs y a un software más modernos, llevando a cabo una conversión de lenguaje de programación en el control y un rediseño del soporte en hardware del subsistema incluyendo pruebas y adiciones para atribuir con las necesidades de la planta.

Implementar el hardware y software poniéndolo a disposición del cliente, realizando una correcta adaptación del nuevo control con el SCADA y subsistemas de la planta de generación, soportado con documentación de fácil interpretación a los participantes del proceso de generación de energía en EPM.

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>37 de 103</b>

### 3.5 *Diseño metodológico*

El proyecto se desarrolla para 3 subsistemas diferentes de la planta de generación, Centro control motores, servicios auxiliares y centro control motores 4 (bombas de drenaje). Cada uno de estos requiere transcurrir por 4 fases.

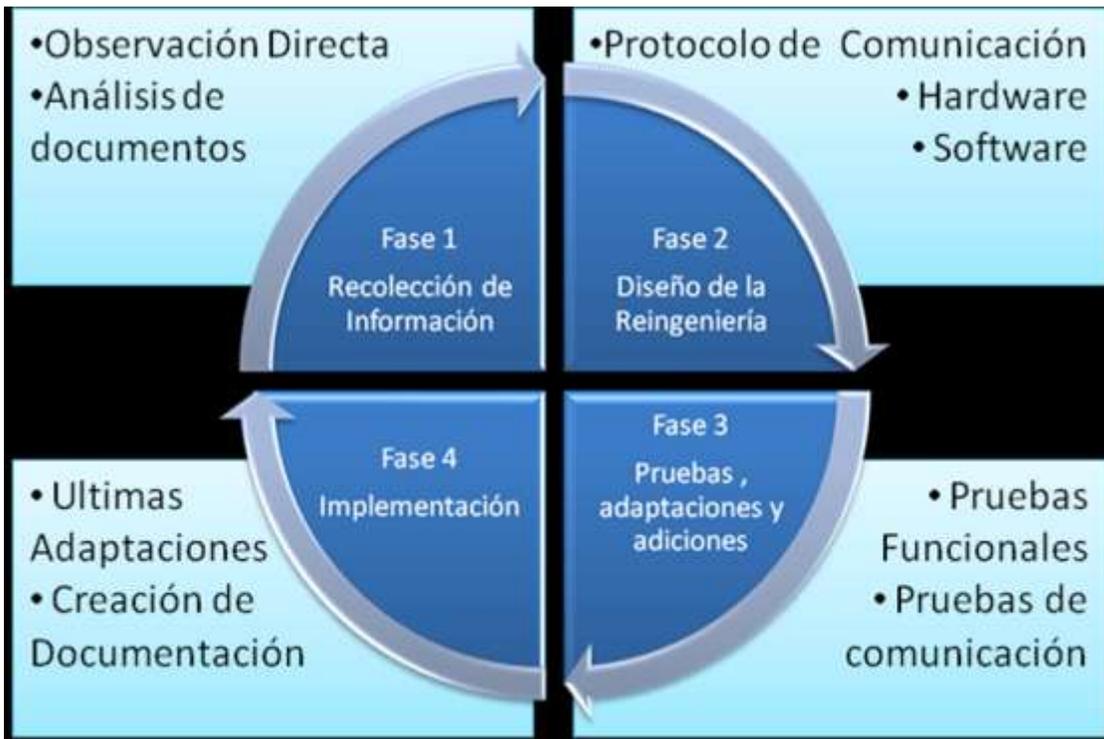


Ilustración 6: Metodología de la reingeniería del control en los subsistemas de Porce II.

La primera fase tiene el objetivo de conocer el proceso que se va intervenir y definir las necesidades de la reingeniería para moldear el diseño con estos criterios. La búsqueda de información se logra mediante dos técnicas de recolección de información: observación directa y análisis de documentos. En esta fase, es donde se recolecta todos los manuales implicados en la reingeniería, tanto los manuales de la planta de generación, como los manuales del hardware y software que se va utilizar.

En la segunda fase se crea el diseño en hardware para la reingeniería definiendo de esta manera los recursos que se necesitan para cada subsistema; se realiza la programación en lenguaje ladder de cada subsistema, para finalmente definir el

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>38 de 103</b>

protocolo de comunicación y los recursos necesarios, con el fin último de comunicar el subsistema con el SCADA en sala de operación.

La tercera fase consta de evaluar las dos fases anteriores, mediante protocolos de pruebas creadas por el estudiante de práctica con la ayuda de funcionarios de la empresa que conozcan como debe ser el funcionamiento de cada subsistema, estas pruebas se denominan, pruebas funcionales. Después de estas, se realiza la prueba de comunicación con el SCADA, siendo posible gracias a un switch con puertos abiertos localizado en el piso sótano 1 de la central Porce II.

Finalmente, la cuarta fase trata de la implementación en cada subsistema. Consta de cuatro pasos, la extensión del cable estructurado para la comunicación con el SCADA, el desmontaje de los PLC antiguos, el montaje del hardware nuevo con sus respectivas señales cableadas y la actualización de los planos de control con su respectiva documentación.

Estas cuatro fases serán recorridas con cada uno de los subsistemas a pie de letra y como producto final se le entregara a EPM lo siguiente:

- Visualización de las variables de cada subsistema desde la sala de operación.
- Programas de los subsistemas en lenguaje Ladder compatibles con el software Proficy Machine Edition 5.8 y versiones posteriores.
- Archivos de configuración necesarios para cada PLC.
- Lista de variables con su neumónico, dirección y descripción tal y cual están en el programa.
- Protocolos de pruebas de cada subsistema.
- Informe final de practicas



	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>40 de 103</b>

### 3.7 Presupuesto

PRESUPUESTO INICIAL				
Descripción	Referencia	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
<b>Talento Humano</b>				
Estudiante de Practica	Hora Salario	2912	\$ 3.797,31	\$ 11.057.766,72
<b>Recursos Físicos</b>				
Rack CPU modular de 10 slots	IC693CHS391 GEFANUC	5	\$ 690.000,00	\$ 3.450.000,00
Fuente de alta capacidad	IC693PWR331 GEFANUC	5	\$ 630.000,00	\$ 3.150.000,00
CPU	IC693CPU363 GEFANUC	5	\$ 3.930.000,00	\$ 19.650.000,00
Tarjeta de com. Ethernet	IC693CMM321 GEFANUC	5	\$ 2.712.975,00	\$ 13.564.875,00
Modulo 32 entradas digitales	IC693MDL655 GEFANUC	11	\$ 1.259.517,00	\$ 13.854.687,00
Modulo 16 salidas digitales	IC693MDL940J GEFANUC	7	\$ 596.200,00	\$ 4.173.400,00
Modulo 16 entradas analogas	IC693ALG233D GEFANUC	5	\$ 3.100.000,00	\$ 15.500.000,00
Cable para modulos digitales	IC693CBL309 GEFANUC	18	\$ 420.000,00	\$ 7.560.000,00
Software programación PLC	Proficy Machine Edition 5.8	1	\$ 5.300.000,00	\$ 5.300.000,00
IHM	Interfase 5" GEFANUC	5	\$ 900.000,00	\$ 4.500.000,00
			<b>subtotal</b>	\$ 101.760.728,72
			Imprevistos(10%)	\$ 10.176.072,87
			<b>Total</b>	<b>\$ 111.936.801,59</b>

Tabla 2: Presupuesto Inicial

En busca de un beneficio económico, se propone “reciclar” los módulos que están actualmente en el control de cada subsistema. De esta manera se logra ahorrar la compra de los módulos de entradas y salidas digitales, CPU, fuentes de alta capacidad, cables, racks y el módulo de entradas análogas. Para la reutilización de estos módulos fue necesario hacer algunas modificaciones en el programa para lograr compatibilidad con las CPU: IC693CPU351, esté imprevisto se especifica en el punto de inconvenientes en el desarrollo de práctica de este documento.

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>41 de 103</b>

PRESUPUESTO REAL				
Descripción	Referencia	Cantidad	Costo Unitario	Costo total
<b>Talento Humano</b>				
Estudiante de Practica	Hora Salario	2912	\$ 3.797,31	\$ 11.057.766,72
<b>Recursos Físicos</b>				
Tarjeta de com. Ethernet	IC693CMM321 GEFANUC	5	\$ 2.712.975,00	\$ 13.564.875,00
Software programación PLC	Proficy Machine Edition 5.8	1	\$ 5.300.000,00	\$ 5.300.000,00
			<b>subtotal</b>	\$ 29.922.641,72
				Imprevistos(10%) \$ 2.992.264,17
			<b>Total</b>	<b>\$ 32.914.905,89</b>
			<b>Ahorro</b>	\$ 79.021.895,70
				70,60%

Tabla 3: Presupuesto Real<sup>15</sup>

Fuentes de Financiación				
Recurso	Estudiante	IUE	EPM	Total
Talento Humano	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 11.057.766,72	\$ 11.057.766,72
Recursos Fisicos	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 21.857.139,17	\$ 21.857.139,17

Tabla 4: Fuentes de Financiación

<sup>15</sup> [13] J. A. H. Quintero, RE: Información para proyecto Porce II 25 de Abril del 2014, [Consultado: 28 de Abril del 2014]. Disponible en correo:Sergio.Ruiz@epm.com.co

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>42 de 103</b>

## 4 DESARROLLO DEL PROYECTO

### 4.1 Descripción del proceso de generación de energía

#### 4.1.1 Subprocesos de la generación

Para generar energía eléctrica y prestar servicios asociados y complementarios de manera oportuna y confiable, se debe hacer una adecuada administración, operación y mantenimiento de infraestructuras y recursos de generación, con responsabilidad ambiental, cumpliendo los requisitos legales. El proceso de Generar energía está conformado por dos subproceso: Operar y mantener; soportados en servicios de apoyo.<sup>16</sup>

La actividad de “operar” una central generadora de electricidad consiste en gestionar, coordinar y controlar las actividades de arranque, parada, y funcionamiento normal de todos los equipos mecánicos y eléctricos que componen la central, en las mejores condiciones de fiabilidad y seguridad para personas e instalación, y con el máximo respeto para el medio ambiente. El proceso productivo se debe conducir obteniendo el mejor rendimiento posible a partir de la fuente inicial de energía. Para este fin, se dispone de sistemas de supervisión y control, cuya información se concentra normalmente en las Salas de Control, desde las que se opera y evalúa continuamente el rendimiento y correcto funcionamiento de las instalaciones.<sup>17</sup> Todas las labores de coordinar, ejecutar, supervisar y control del área de operación buscan la máxima disponibilidad de las unidades de generación.

El mantenimiento se defino como planear, programar, ejecutar y controlar el mantenimiento de las unidades y equipos asociados en cualquier proceso.<sup>18</sup> Velar por el buen funcionamiento de todos los equipos electromecánicos y obras civiles de los subprocesos físicos almacenamientos, conducción, conversión, transformación y servicios de apoyo, que se poseen en las centrales y en las subestaciones de energía.

<sup>16</sup> [5] A. Moreno,(28 de Agosto del 2007). PRESENTACION PERSONAL NUEVO, [Presentación de Powerpoint]

<sup>17</sup> [14] Endesa(2012). recuperado el día (2014, 4 de Abril). *Operación*. desde: <http://www.endesa.com/es/conoceendesa/lineasnegocio/Electricidad/Generacion>

<sup>18</sup> [15] L. A. C. Pérez(2008). recuperado el día (2014, 25 de Abril). *¿Que es el mantenimiento?* desde: [http://www.unalmed.edu.co/tmp/curso\\_concurso/area3/QUE\\_ES\\_EL\\_MANTENIMIENTO\\_MECANICO.pdf](http://www.unalmed.edu.co/tmp/curso_concurso/area3/QUE_ES_EL_MANTENIMIENTO_MECANICO.pdf)

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>43 de 103</b>

El mantenimiento atiende de forma preventiva, predictiva y correctiva todos los equipos y unidades que intervienen en el proceso, con el fin de que su disponibilidad y los planes de generación se cumplan de manera óptima.

La actividad de servicios de apoyo está en coordinar y mantener las instalaciones administrativas, operativas y otras propias en alquiler. Coordinar el mantenimiento de las vías, los servicios de alojamiento y alimentación, la gestión ambiental y deportiva. Coordinar los servicios, el equipo de transporte y el taller industrial. Todas estas labores son indispensables para cumplir los dos subprocesos principales de generación de energía.

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>44 de 103</b>

#### 4.1.2 Generación eléctrica con recursos hídricos

Las centrales hidroeléctricas aprovechan la energía potencial del agua en un río para generar energía eléctrica, se basa en un concepto básico: Agua que fluye a través de una presa atraviesa una turbina, lo que hace girar un generador. <sup>19</sup>

Todas las centrales hidroeléctricas tienen varios puntos clave indispensables para su funcionamiento:

- Presa: Trata de un muro que crea una reserva de recursos hídricos, El agua almacenada se entiende como energía almacenada y se le denomina embalse.



Ilustración 7: Presa Porce III (EPM)

---

<sup>19</sup> [16] K. Bonsor(2001). recuperado el día (2014, 25 de Abril). *How Hydropower Plants work*. desde: <http://science.howstuffworks.com/environmental/energy/hydropower-plant1.htm>

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>45 de 103</b>



Ilustración 8: Interior de la Presa Porce II (EPM)

➤ Captación

La captación es una abertura cerca de la presa que transporta el agua hacia el generador. Generalmente el generador está situado en una casa de máquinas situada a una elevación menor a la de la presa, por esto la gravedad se encarga de llevar el agua por el tubo de captación.

➤ Turbina

Máquina que transforma la energía de una corriente del fluido en otra clase de energía (mecánica, eléctrica, etc.). consta de una o varias ruedas denominadas rodetes, solidarias a un eje metálico rotatorio, formadas por un cuerpo central del cual salen unas paletas curvas a modo de hélices denominadas álabes y cuyo fin es aprovechar al máximo la energía del fluido.<sup>20</sup>

<sup>20</sup> [17] n. d., "turbina," in *Diccionario Enciclopédico Vox 1*, ed, 2009.



Ilustración 9: Turbina Francis Porce II (EPM)

➤ **Generador**

A medida que la turbina gira varios electroimanes pegados del mismo eje de la turbina pasan por bobinas estáticas en el estator, Esto produce energía eléctrica alterna.

➤ **Transformador**

El transformador presente generalmente en la casa de máquinas toma la corriente alterna generada y la transforma en energía de alto voltaje para facilitar el transporte por la línea de transmisión.

➤ **Descarga**

El agua que ya se aprovechó por el generador es devuelta al cauce del río a través de tubos, generalmente para evitar que salga con alta presión se construyen las almenaras.

➤ **Líneas de transmisión**

A la salida de toda casa de máquinas se encuentra 4 líneas de potencia que van al SIN; Las tres fases R, S, T y el neutro común de estas. Una línea de transmisión es un cable de alto calibre con varios alambres a su interior recubierto con aislantes de protección.

Aunque estos elementos son los comunes en toda central hidroeléctrica, existen otros también esenciales para su funcionamiento tales como las almenaras, casa de máquinas, válvula de admisión, etc.



La teoría es construir una presa con gran elevación que almacene el agua de un río con gran flujo. Cerca del fondo del muro se encuentra la captación. La gravedad causa que el agua baje y llegue hasta la turbina, la cual gira en el momento que el agua atraviesa los alabes. La turbina es la encargada en convertir el flujo del agua en energía mecánica. El generador, utilizando el efecto de campos electromagnéticos que descubrió Faraday; convierte esa energía mecánica en eléctrica. Esta energía se puede transportar gracias al transformador, finalmente arribando a nuestros hogares y las industrias.<sup>21,22</sup>

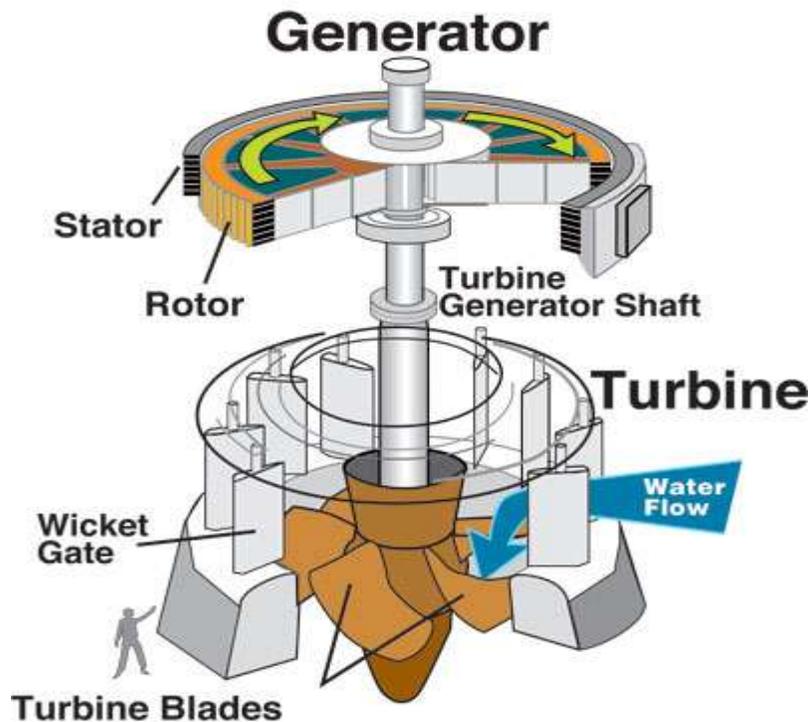


Ilustración 10 Hydroelectric power basic illustration

<sup>21</sup> [18] H. Perlman(2014). recuperado el día (2014, 25 de Abril). *Hydroelectric power: How it works*. desde: <https://water.usgs.gov/edu/hyhowworks.html>

<sup>22</sup> [19] C. D. Montoya,(24 de Julio del 2008). Presentacion Porce II, [Shockwave Flash]

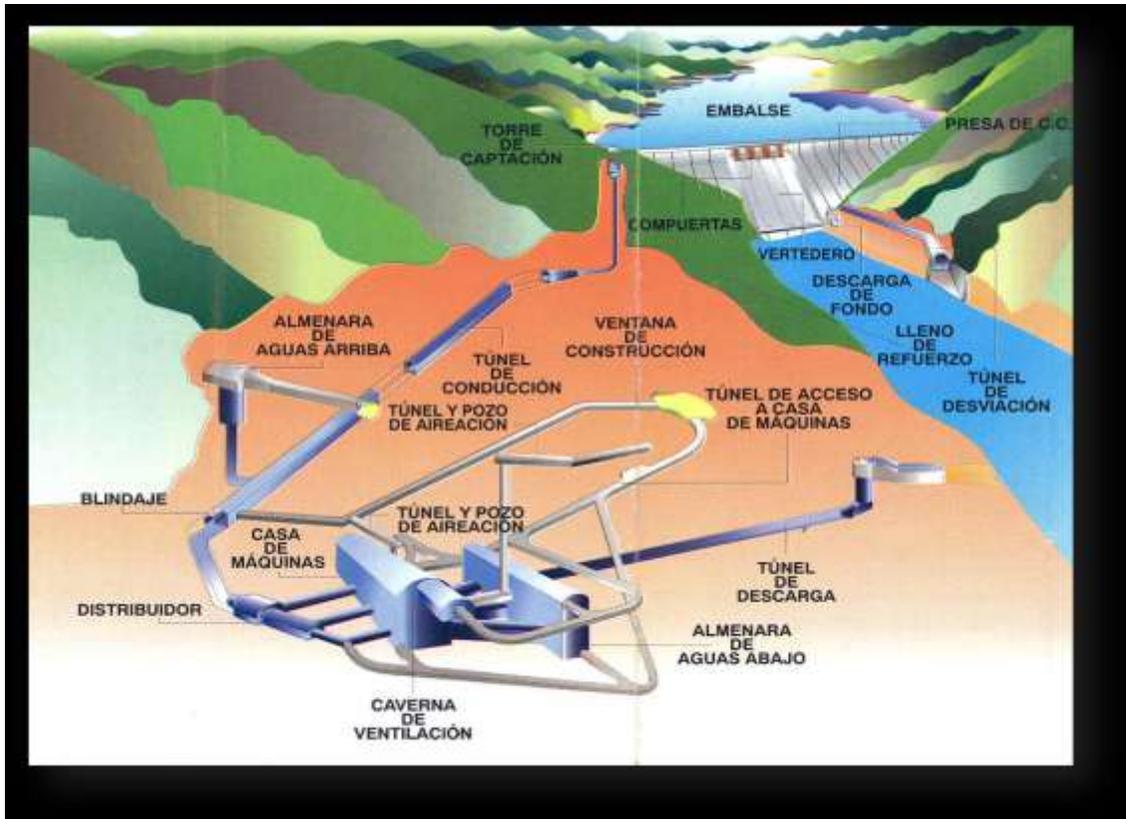


Ilustración 11: Diagrama de Central Hidroeléctrica Porce II(EPM)<sup>23</sup>

#### 4.1.3 Funcionamiento del generador Porce II

La casa de máquinas, del tipo subterránea, contiene tres generadores sincrónicos de 142 MW con turbinas tipo Francis de eje vertical. La subestación a 230 KV, de tipo convencional, posee tres campos de generación y tres campos de transmisión uno para cada una de las fases R, S y T.

<sup>23</sup> [5] A. Moreno,(28 de Agosto del 2007). PRESENTACION PERSONAL NUEVO, [Presentación de Powerpoint]



# INFORME FINAL DE PRACTICA

Código: **F-PI-038**

Versión: **01**

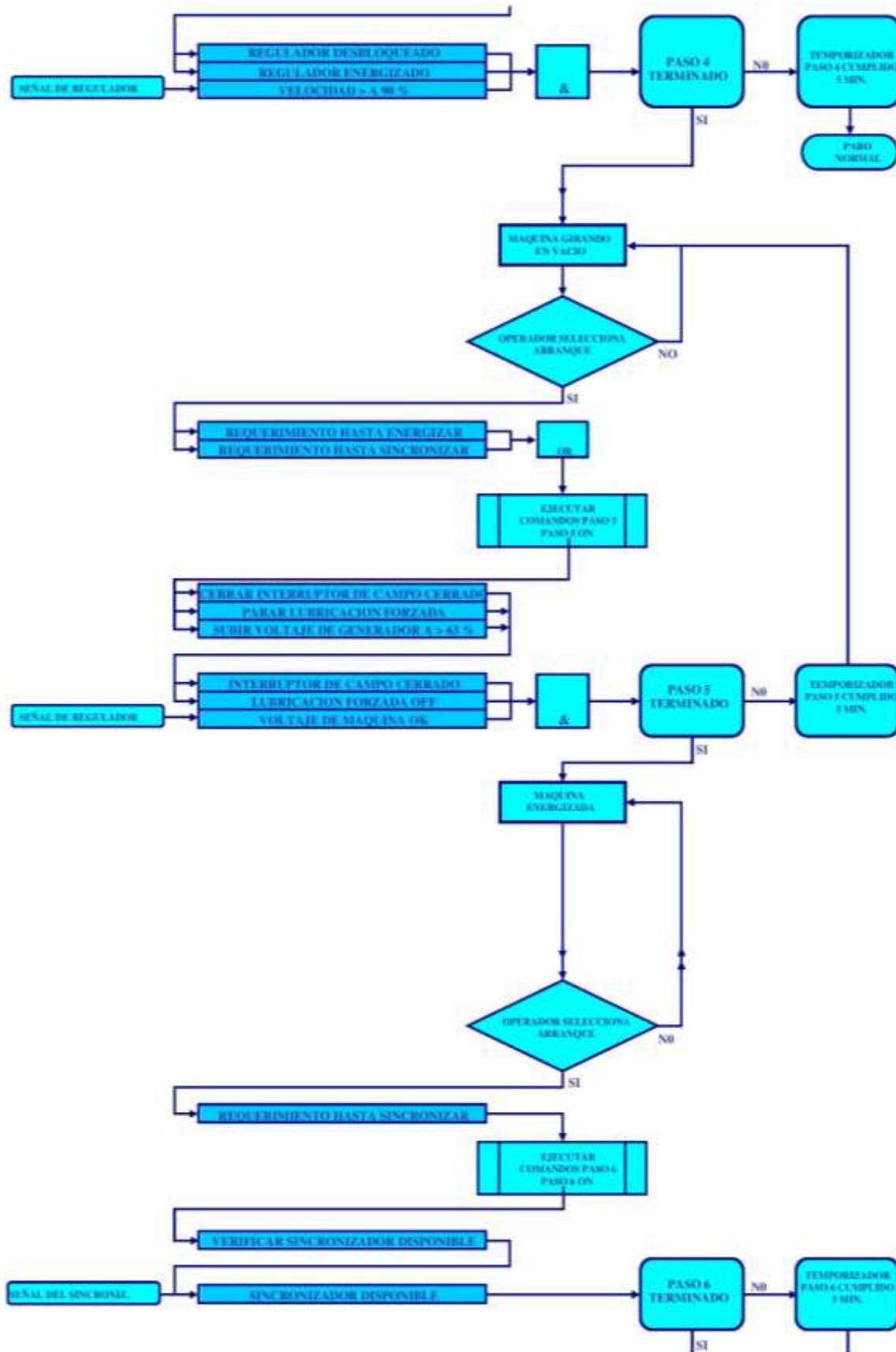
Página **49 de 103**

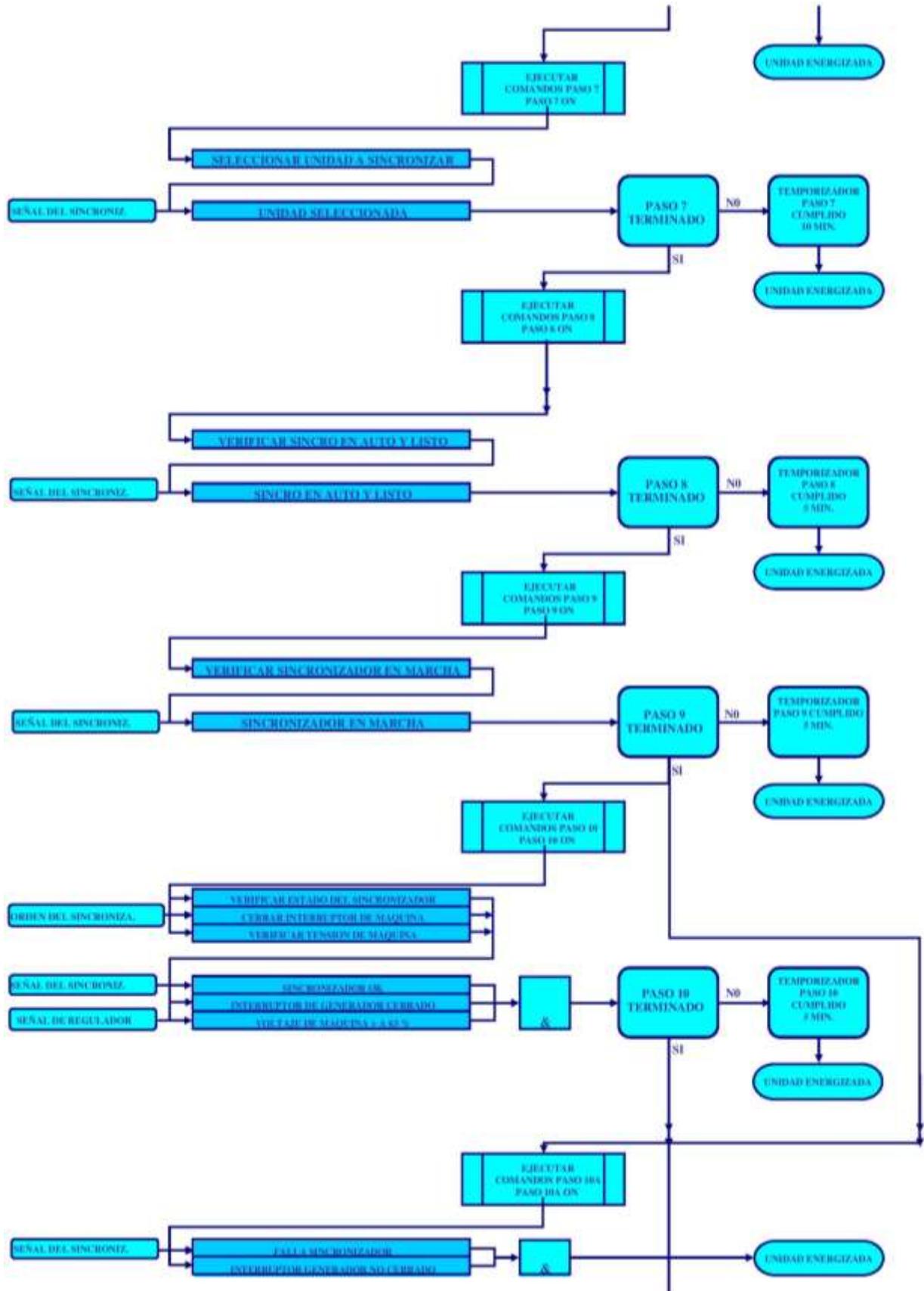
TURBINAS	
Tipo	Francis, eje vertical
Cantidad	3 unidades
Potencia nominal (MW)	137.75
salto neto nominal (m)	225.30
Cota del eje del rodete (m.s.n.m.)	674.50
Caudal nominal (m <sup>3</sup> /S)	67.70
Salto neto de diseño (m)	239.10
Potencia de diseño	142.20 MW
Velocidad Nominal (R.P.M.)	300
Velocidad de Embalamiento (R.P.M.)	525
Sentido de Giro	Antihorario
Momento de Inercia (KN .-m <sup>2</sup> )	830
Diámetro del Rodete (mm)	3212
Número de Alabes del Rodete	13
Número de Alabes Fijos de la Cámara Espiral	24
Diámetro de Entrada Cámara (mm)	2650
Número de Alabes Móviles del Distribuidor	24
Numero de Servomotores del Distribuidor	2
Peso del Eje (KN.)	212
Peso del Rodete (KN)	153

Tabla 5: Características Turbina Porce II

La operación de los tres generadores se divide en subsistemas para facilitar su control. Dentro de estos subsistemas encontramos la estación hidráulica, el órgano de guarda, el CCM (Centro Control Motores) o más conocido como refrigeración de la unidad, la estación hidroneumática, los frenos, los servicios auxiliares (SAU) que controlan las bombas de lubricación de cojinetes combinados y superiores, el sello de operación del eje y finalmente el sistema de lubricación forzada o inyección de aceite. Para el correcto funcionamiento de cada unidad de generación y para EPM cumplir con la garantía de energía que estipula en su declaración de calidad, cada uno de estos sistemas debe ser controlado, monitoreado y revisado periódicamente. la secuencia de arranque de un generador sincrónico es un proceso complejo, que requiere la participación de múltiples subsistemas, los cuales, tienen como funciones hacer que el generador empiece a trabajar, en forma correcta, continua y protegida, acá presento este diagrama de flujo, con todas las variables, procesos y tiempos que se deben de tener en cuenta, para este momento de arranque momento que es muy diferente y sensible al trabajo en régimen continuo del generador, ya que hay subsistemas que solo están para trabajar en este momento.









	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>54 de 103</b>

temperatura de estas piezas, puede llegar a fundirse los metales originando un siniestro.

#### **4.2.1 Transmisión de calor por convección**

Las partes de la unidad que requieren de refrigeración son los transformadores, el estator de la unidad y los cojinetes. El enfriamiento se logra por medio de una tubería por la que fluye agua, constantemente “robando” calor de las piezas. El termino robar se refiere a la teoría de transmisión de calor por convección. Como el agua que fluye por la tubería está a una temperatura menor que la temperatura del metal, entonces parte de esa energía (calor) se transfiere al líquido en movimiento resultando en una baja de temperatura en la pieza de mayor temperatura.<sup>25</sup> Con el fin de mantener en buen estado la tubería de refrigeración, el agua que fluye se le llama agua tratada, esta es la misma agua que se utilizan para las canillas de uso general y baños de la planta y tiene un tratamiento para eliminar sus impurezas.

El agua tratada que contiene el calor luego se para por un intercambiador un filtro auto limpiante. El intercambiador es un equipo que contiene una seria de placas metálicas planas con relieve por la que pasan agua tratada en un sentido y al otro lado de la placa agua cruda en el sentido contrario. Esto permite disminuir la temperatura en el agua tratada. El agua cruda es la misma agua que viene de captación (no tiene ningún tipo de tratamiento). El filtro auto limpiante es un filtro que extrae algunas impurezas que pueda tener el agua tratada.

---

<sup>25</sup> [21] Engineering toolbox(2014). recuperado el día (2014, 5 de Abril). *Convective Heat Transfer*. desde: [http://www.engineeringtoolbox.com/convective-heat-transfer-d\\_430.html](http://www.engineeringtoolbox.com/convective-heat-transfer-d_430.html)

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>55 de 103</b>

#### 4.2.2 Elementos de Control



Ilustración 13: Control del CCM

Al programa del CCM entran las señales análogas de presión y temperatura, todas escalizadas bajo una señal de corriente de 0mA (miliamperios) a 20 mA:

$0 \text{ [mA]} \rightarrow 0 \text{ [INT]}$ $20\text{[mA]} \rightarrow 36000\text{[INT]}$
---

El estado de la unidad se refiere a una serie de señales digitales que definen el estado de la unidad de generación (Tabla 6: Variables de Entrada CCM). El PLC entonces evalúa estas condiciones y dependiendo de su programación actúa.

El CCM contiene dos subsistemas uno principal y de respaldo y cada uno de ellos contiene 4 elementos claves que debe controlar, bomba de agua tratada, bomba de agua cruda, filtro autolimpiantes e intercambiador, el PLC utiliza sus salidas por relé para energizar las bobinas necesarias para realizar cada acción, además contiene otras salidas para informar de fallas al operador (Tabla 7 : Señales de Salida CCM).



# INFORME FINAL DE PRACTICA

Código: **F-PI-038**

Versión: **01**

Página **56** de **103**

Neumónico	Descripción	Dirección	Nuevo Neumónico
	Entrada analoga de tension en barra de CCM	%AI01	TENSION_CCM
	Entrada analoga de presion agua tratada bomba 1	%AI02	PRESION_B1ATRA
	Entrada analoga de presion agua cruda bomba 1	%AI03	PRESION_B1ACRU
ld_n80_e_020			
ld_n80_e_021			
	Entrada analoga de temperatura de entrada de agua cruda 1	%AI06	TEMP_IN_AGCRU1
	Entrada analoga de temperatura de salida de agua cruda 1	%AI07	TEMP_OUT_AGCRU1
	Entrada analoga de temperatura de entrada de agua cruda 2	%AI08	TEMP_IN_AGCRU2
	Entrada analoga de temperatura de salida de agua cruda 2	%AI09	TEMP_OUT_AGCRU2
	Entrada analoga de temperatura de entrada de agua tratada 1	%AI10	TEMP_IN_AGTRA1
	Entrada analoga de temperatura de salida de agua tratada 1	%AI11	TEMP_OUT_AGTRA1
	Entrada analoga de temperatura de entrada de agua tratada 2	%AI12	TEMP_IN_AGTRA2
	Entrada analoga de temperatura de salida de agua tratada 2	%AI13	TEMP_OUT_AGTRA2
	Flujo de salida de agua cruda 1	%AI14	FLUJO_AGCR1
	Flujo de salida de agua cruda 2	%AI15	FLUJO_AGCR2
li_lka_101iu_ccm1_validez	CCM1 POLARIDAD MODULO 4^PRESENC	%I097	CCM1_MODULO4
li_lka_101hr_ccm1_sincro	CCM1 SENAL DE SINCRONISMO^PRESENC		
li_lka_101se_plc_ccm1_aut	o CCM1 SELECTOR PLC AUTOMATICO^AUTO	%I099	CCM1_AUTO
li_lka_101se_plc_ccm1_pru	CCM1 SELECTOR PLC PRUEBA^PRUEBA	%I100	SELEC_PLC_PRU
li_lka_101se_plc_ccm1_nser	CCM1 SELECTOR PLC FUERA SERVICIO^N-E-SERV	%I101	SELEC_PLC_NSERV
li_lka_002se_ss1_princ	CCM1 SELEC SUBSISTEMA PRINC 1^PRESENC	%I102	SE_SELEC_PSS1
li_lka_002se_ss2_princ	CCM1 SELEC SUBSISTEMA PRINC 2^PRESENC	%I103	SE_SELEC_PSS2
li_lka_201iu_ccm1_validez	CCM1 POLARIDAD MODULO SALIDAS^PRESENC	%I104	CCM1_MODULO7
li_lka_003se_po1_agtr_nor	CCM1 SELEC BOMBA1 AGUA TRATADA^NORMAL	%I105	B1_AGTRA_NORM
li_lka_003se_po1_agtr_ab	CCM1 SELEC BOMBA1 AGUA TRATADA^ABIERTO	%I106	B1_AGTRA_ABIERTO
li_lka_003se_po1_agtr_pru	CCM1 SELEC BOMBA1 AGUA TRATADA^PRESENC	%I107	B1_AGTRA_PRUEBA
li_lka_001dm_agtr1_con	CCM1 ARRANCADOR AGUATRATADA1^CONECTAD	%I108	ARR_AGTRA11_CONC
li_lka_001po_agtr_func	CCM1 BOMBA1 AGUA TRATADA^FUNCION	%I109	B1_AGTRA_FUNC
li_lka_004se_po2_agtr_nor	CCM1 SELEC BOMBA2 AGUA TRATADA^NORMAL	%I113	B2_AGTRA_NORM
li_lka_004se_po2_agtr_ab	CCM1 SELEC BOMBA2 AGUA TRATADA^ABIERTO	%I114	B2_AGTRA_ABIERTO
li_lka_004se_po2_agtr_pru	CCM1 SELEC BOMBA2 AGUA TRATADA^PRESENC	%I115	B2_AGTRA_PRUEBA
li_lka_002dm_agtr2_con	CCM1 ARRANCADOR AGUATRATADA2^CONECTAD	%I116	ARR_AGTRU12_CONC
li_lka_002po_agtr_func	CCM1 BOMBA2 AGUATRATADA^FUNCION	%I117	B2_AGTRA_FUNC
li_lka_005se_po1_agcr_nor	CCM1 SELEC BOMBA1 AGUA CRUDA^NORMAL	%I118	B1_AGCRU_NORM
li_lka_005se_po1_agcr_ab	CCM1 SELEC BOMBA1 AGUA CRUDA^ABIERTO	%I119	B1_AGCRU_ABIERTO
li_lka_005se_po1_agcr_pru	CCM1 SELEC BOMBA1 AGUA CRUDA^PRESENC	%I120	B1_AGCRU_PRUEBA
li_lka_003dm_agcr1_con	CCM1 ARRANCADOR AGUACRUADA1^CONECTAD	%I121	ARR_AGCRU11_CONC
li_lka_001po_agcr_func	CCM1 BOMBA1 AGUA CRUDA^FUNCION	%I122	B1_AGCRU_FUNC
li_lka_006se_po2_agcr_nor	CCM1 SELEC BOMBA2 AGUA CRUDA^NORMAL	%I123	B2_AGCRU_NORM
li_lka_006se_po2_agcr_ab	CCM1 SELEC BOMBA2 AGUA CRUDA^ABIERTO	%I124	B2_AGCRU_ABIERTO
li_lka_006se_po2_agcr_pru	CCM1 SELEC BOMBA2 AGUA CRUDA^PRESENC	%I125	B2_AGCRU_PRUEBA
li_lka_004dm_agcr2_con	CCM1 ARRANCADOR AGUACRUADA2^CONECTAD	%I126	ARR_AGCRU12_CONC
li_lka_002po_agcr_func	CCM1 BOMBA2 AGUA CRUDA^FUNCION	%I127	B2_AGCRU_FUNC
li_lka_001gf_cone	CCM1 CONECTAR SISTEMA REFRIG^PRESENC	%I128	CON_SIS_REFRI
li_lka_102iu_ccm1_validez	CCM1 POLARIDAD MODULO 5^PRESENC	%I129	CCM1_MODULO5
li_lka_001po_agtr_fa	CCM1 BOMBA 1 AGUA TRATADA^FALLA	%I130	B1_AGTRA_FALLA
li_lka_002po_agtr_fa	CCM1 BOMBA 2 AGUA TRATADA^FALLA	%I131	B2_AGTRA_FALLA
li_lka_001po_agcr_fa	CCM1 BOMBA 1 AGUA CRUDA^FALLA	%I132	B1_AGCRU_FALLA
li_lka_002po_agcr_fa	CCM1 BOMBA 2 AGUA CRUDA^FALLA	%I133	B2_AGCRU_FALLA
li_lka_001jd_dis	CCM1 INTERRUPTOR PRINCIPAL^DISPARO	%I134	INT_PPAL_DISPARO
li_lka_001yu_ba	CCM1 RELE DE BAJA TENSION^PRESENC	%I135	BAJA_TENSION
li_lka_001xj_inv	CCM1 RELE DE INVERSION DE FASE^PRESENC	%I136	INV_FASE
li_lka_002jd_sal_dis	CCM1 INTERRUPTORES DE SALIDA^DISPARO	%I137	DISP_INT_SALIDA
li_lka_001id_agcr_ba	CCM1 DETECTOR FLUJO AGUA CRUDA^BAJO	%I138	AGCRU_BAJA
li_lka_001po_ss1_alar	CCM1 FALLA SISTEMA 1^ALARMA	%I139	FALLA_SIS1
li_lka_002po_ss2_alar	CCM1 FALLA SISTEMA 2^ALARMA	%I140	FALLA_SIS2
li_lka_001iu_falla	CCM1 TENSION 120VAC FALLA^ALARMA	%I141	FALLA_VAC
li_lka_002iu_falla	CCM1 TENSION 125VDC FALLA^ALARMA	%I142	FALLA_VDC
li_lka_002id_agcr_ba	CCM1 DETECTOR FLUJO ACRU SS2^BAJO	%I143	AGCRU_BAJA2
li_lka_001fa_on	CCM1 FILTRO A1 FUNCIONANDO SS1^PRESENC	%I145	TRANSF_BLOQ
li_lka_001fa_fa	CCM1 FILTRO A1 FALLA SS1^FALLA	%I146	FILTROA1_FALLA
li_lka_po_atrad_1y2_func	CCM1 BOMBAS AGTR SS1 y SS2 FUNC	%I147	B1y2AGTR_FUNC
li_lka_002fa_on	CCM1 FILTRO A2 FUNCIONANDO SS2^PRESENC		
li_lka_002fa_fa	CCM1 FILTRO A2 FALLA SS2^FALLA	%I149	FILTROA2_FALLA
lz_n80_subs_ok_03_30			
lz_n80_subs_ok_03_31			
li_lka_001ipu2_fa	CCM1 INTERCAMBIADOR 1 FALLA SS1^FALLA	%I152	INTERC1_FALLA
li_lka_002ipu2_on	CCM1 INTERCAMBIADOR 2 FUNC SS2^PRESENC		
li_lka_002ipu2_fa	CCM1 INTERCAMBIADOR 2 FUNC SS2^FALLA	%I155	INTERC2_FALLA

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>57 de 103</b>

Tabla 6: Variables de Entrada CCM<sup>26</sup>

Neumónico	Descripción	Dirección	Nuevo Neumónico
lo_01lka_001po_agcr_con	CCMI BOMBA 1 AGUACRUDA*PRENDER	%Q2	B1_AGCRU
lo_01lka_001po_agtr_con	CCMI BOMBA 1 AGUATRATADA*PRENDER	%Q3	B1_AGTRA
lo_01lka_002po_agcr_con	CCMI BOMBA 2 AGUACRUDA*PRENDER	%Q4	B2_AGCRU
lo_01lka_002po_agtr_con	CCMI BOMBA 2 AGUATRATADA*PRENDER	%Q5	B2_AGTRA
lo_01lka_001id_agcr_ba	CCMI BAJO FLUJO AGUA CRUDA*PRESENC	%Q6	BAJO_FLUJO
lo_01lka_001po_ss1_alar	CCMI FALLA SUBSISTEMA 1*PRESENC	%Q7	Q_FALLA_SS1
lo_01lka_002po_ss2_alar	CCMI FALLA SUBSISTEMA 2*PRESENC	%Q8	Q_FALLA_SS2
lo_lka_101se_plc_ccm1_aut	CCMI SELECTOR PLC AUTOMATICO*AUTO	%Q9	Q_CCMI_AUTO
lo_01lka_transfer_bloq	CCMI TRANSFERENCIA BLOQUEADA*PRESENC	%Q10	TRANS_BLOQ
lo_01lka_b1yb_2_atrad_func	CCMI BOMBAS 1Y2 AGUA TRAD FUNC*PRESENC	%Q11	AGTRA_B1_B2_FUNC
lo_01lka_b1yb_2_aerud_func	CCMI BOMBAS 1Y2 AGUA CRUD FUNC*PRESENC	%Q12	AGCRU_B1_B2_FUNC
lo_01lka_ss1_fa	CCMI FALLA SUBSISTEMA 1*PRESENC	%Q13	OUT_FALLA_SS1
lo_01lka_ss2_fa	CCMI FALLA SUBSISTEMA 2*PRESENC	%Q14	OUT_FALLA_SS2

- IHR: Este rack se encarga de recibir todas las señales de campo y luego enviarlas al PLC principal.
- Principal: Este rack contiene la programación del subsistema, se encarga de recibir las señales de la IHR, procesarlas y producir las salidas.
- PLC anunciador de alarmas: se encarga de la interface humana máquina del subsistema (pantalla 1) y es la que controla las señales lumínicas de fallas y sirenas.

<sup>26</sup> [22] S. A. Ruiz, (10 de Septiembre del 2013). VariablesCCM1, [Hoja de cálculo de Microsoft Office Excel]





cambios realizados al programa por necesidades de la planta, es por esto que es necesario extraer también el programa que está actualmente en funcionamiento. El software LogicMaster 90 – 30 es el software que permite a las personas de mantenimiento de Porce II, ponerse en línea con los diferentes PLC en casa de máquinas. En el servidor del área Guadalupe se encuentra un backup de todos los programas de los PLC, pero en este backup no está consignada las tablas de variables, dato muy importante para poder realizar un diseño, envista de esto toco recurrir a la versión anterior de LogicMaster 90-30 que se llama P8. Finalizada la adquisición de información se culmina satisfactoriamente la primera fase y se comienza la segunda fase (diseño)

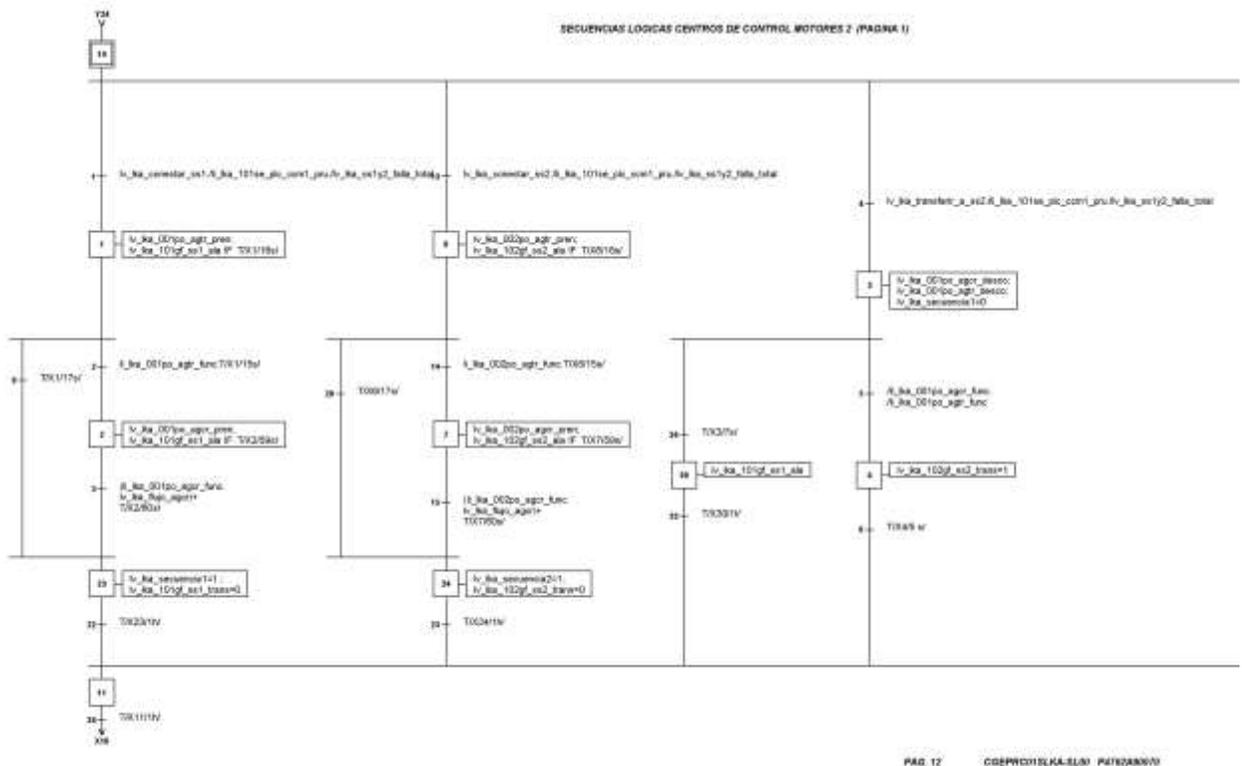


Ilustración 15: Secuencia CCM en Grafcet página 1



SECUENCIAS LÓGICAS CENTROS DE CONTROL MOTORES 2 (PAGINA 2)

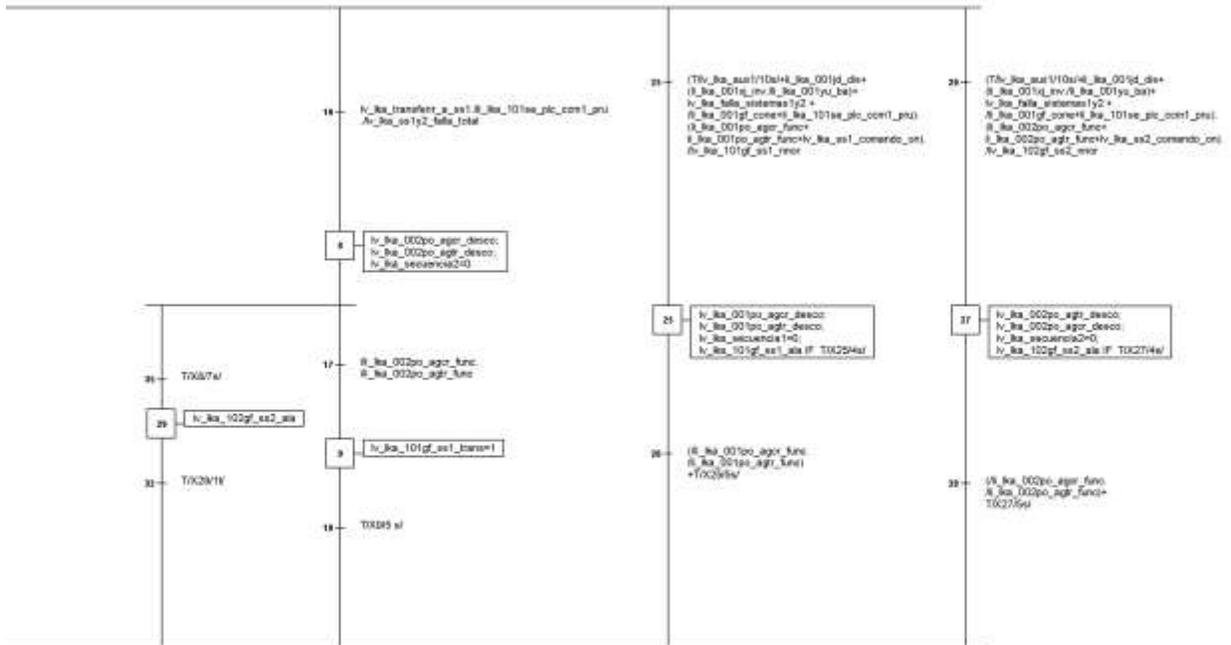


Ilustración 16 : Secuencia CCM en Grafset página 2

#### 4.2.5 Diseño del lazo y protocolo de comunicación

El diseño del protocolo y lazo de comunicación es el mismo para todos los servicios auxiliares a intervenir, con el objetivo de monitorear el subsistema desde la sala de operación. Por lazo de comunicaciones se entiende el cableado estructurado y la capa física en el modelo OSI<sup>19</sup>, La capa física se encarga de la transmisión y recepción de una secuencia no estructurada de bits sin procesar a través de un medio físico.<sup>28</sup> Esta labor se llevó a cabo con el apoyo del proyecto de otro estudiante de práctica, Jhon Alex Betancur, el operador Walter Tobón y el operador Jorge Alberto Rodríguez.

<sup>28</sup> [24] Microsoft(2013). recuperado el día (2013, 15 de Noviembre). *Definición de las siete capas del modelo OSI y explicación de las funciones.* desde: <http://www.support.microsoft.com/kb/103884/es>



## DISTRIBUCION RED ETHERNET DE CONTROL PORCE 2

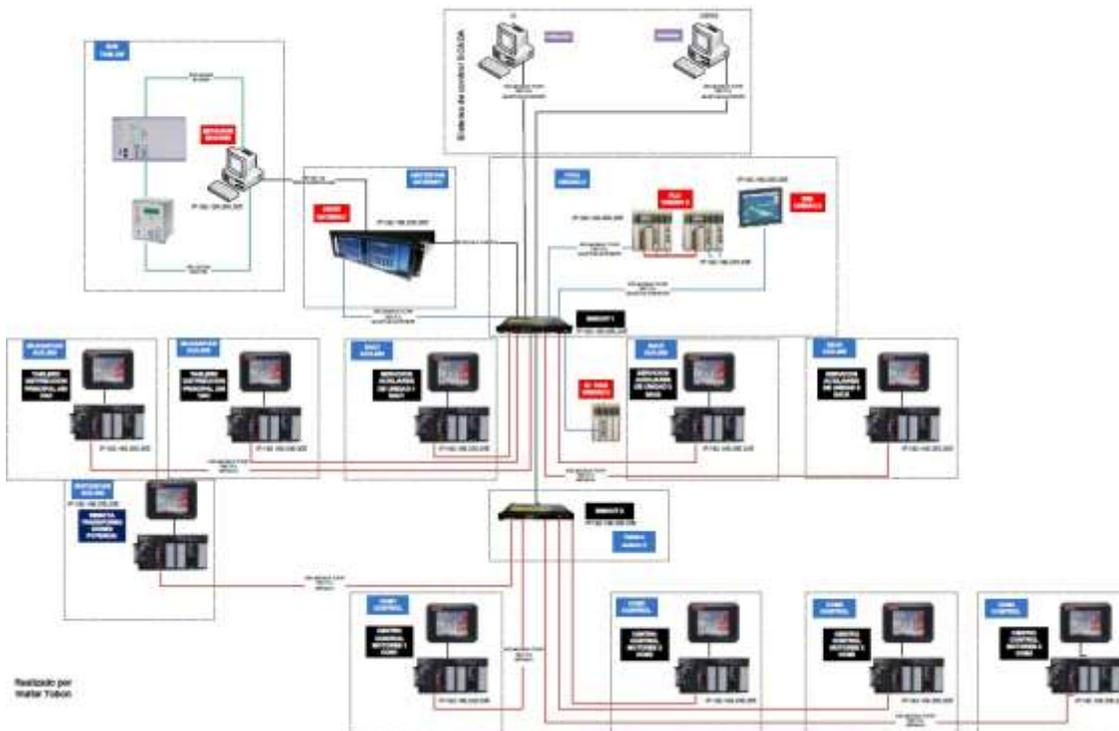


Ilustración 17: Distribución red Ethernet de control Porce 2

El diseño propuesto se soportó sobre la idea de reducir la distancia máxima entre los switches y cada equipo, por este motivo se decidió localizar dos switches, uno en cada sótano. El switch 2 reúne las señales de los CCM y el switch uno reúne los SAUs y el tablero de señales finalmente comunicándose con la estación de control donde está el SCADA.

Teniendo claro la capa física se define las demás capas del modelo OSI, se estudiaron diferentes tipos de protocolos, sus ventajas, debilidades e implicaciones en diseño. Para elegir el protocolo más indicado se tienen en cuenta los siguientes puntos dando prioridad a los más altos en la lista:

- Compatibilidad con el SCADA
- Compatibilidad con los PLC GEFANUC serie 90-30
- Confiabilidad del protocolo
- Invulnerabilidad a ruido o pérdidas de información de cualquier tipo.
- Inclusión de estampa de tiempo
- Complejidad de programación

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>62 de 103</b>

La propuesta mejor adaptable a los puntos anteriores es el protocolo Modbus/TCP, el único inconveniente con este protocolo es que dentro de sus bits de información no incluye estampa de tiempo. Por este motivo se evaluó la posibilidad de utilizar la Gateway AXON (Ilustración 17: Distribución red Ethernet de control Porce 2) para añadir la estampa de tiempo. Sin embargo, esto trae implicaciones económicas y demandaba un estudio focalizado a esta Gateway. Finalmente se optó por Modbus/TCP.

El protocolo Modbus/TCP Es la evolución más utilizada/conocida, una “versión” del protocolo Modbus que permite la implementación de este protocolo sobre redes Ethernet i, en consecuencia, aumenta el grado de conectividad. Es muy semejante al formato RTU, pero estableciendo la transmisión mediante paquetes TCP/IP (puerto del sistema 502, identificador asa-appl-proto). Esta “versión” del protocolo encapsula la trama base del protocolo Modbus en la capa de aplicación TCP/IP de forma sencilla.

Las ventajas para los instaladores o empresas de automatización son innumerables:

- Realizar reparaciones o mantenimiento remoto desde la oficina utilizando un PC, reduciendo así los costes y mejorando el servicio al cliente.
- El ingeniero de mantenimiento puede entrar al sistema de control de la planta desde su casa, evitando desplazamientos.
- Permite realizar la gestión de sistemas distribuidos geográficamente mediante el empleo de las tecnologías de Internet/Intranet actualmente disponibles.

MODBUS® TCP/IP se ha convertido en un estándar industrial de facto debido a su simplicidad, bajo coste, necesidades mínimas en cuanto a componentes de hardware, y sobre todo a que se trata de un protocolo abierto.<sup>29</sup>

General Electric para la serie de PLC GEFANUC 90-30 creo el módulo IC693CMM321, este moduló por defecto viene configurado con este protocolo y

---

<sup>29</sup> [25] J. c. Fero(2013). recuperado el día (2013, 18 de Noviembre). *Modbus TCP*. desde: <http://uhu.es/antonio.barragan/content/modbus-tcp>

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>63 de 103</b>

queda listo para comunicarse con agregarle su dirección IP y mascara de Subred. Este moduló puede conectarse a una red como cliente o servidor, esto quiere decir que se puede comunicar con otros PLC o con un computador.<sup>30</sup>

#### 4.2.6 Diseño de la reingeniería del CCM (Hardware)

Uno de los objetivos de esta reingeniería trata de la optimización de recursos, como se puede observar en la Ilustración 14 : Configuración PLC CCM, el control está montado sobre 3 racks o PLCs, cada uno realizando una tarea específica. Para reunir los 3 PLC en uno solo se debe asegurar que:

- Los 10 slots que tiene cada rack son suficientes para soportar todas las variables y acciones del subsistema.
- El módulo de poder o fuente, tenga la capacidad suficiente para alimentar los módulos que se vayan a conectar en el mismo rack.
- El módulo de CPU, contiene la velocidad de procesamiento y capacidad suficiente de memoria.

Teniendo en cuenta los anteriores puntos se determinó la posibilidad de reunir en un solo PLC la captación de las señales de campo, el procesamiento, anuncio de alarmas, y control de IHM.

PWR 330	CPU 351	CMM 321		MDL 655	MDL 655		MDL 940	MDL 940		ALG 223
Rack:IC693CHS391										

Ilustración 18 : Propuesta de configuración de hardware CCM

<sup>30</sup> [26] GE Fanuc Automation,(Agosto del 2002). Series 90-30 PLC Installation and Hardware Manual GFK-0356Q, IC693 CMM321Ethernet Interface Module [Portable document format .PDF]

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>64 de 103</b>

Referencia	Descripción	Total
IC693 CHS391	Base rack 10 slot	1
IC693 PWR330	Fuente de poder 24 VDC 30W Alta-Capacidad	1
IC693 CPU351	25 MHz, Entradas %I2048, %Q2048, %M4096 bits	1
IC693 CMM321	Interface Ethernet, Modbus/TCP	1
IC693 MDL655	32 entradas digitales 24 VDC	2
IC693 MDL940	16 Salida relé 2A	2
IC693 ALG223	16 entradas análogas	1

Tabla 8 : Módulos del diseño del CCM<sup>31</sup>

#### 4.2.7 Diseño de la reingeniería del CCM (Software)

El software que se decidió utilizar para esta reingeniería teniendo en cuenta que es el recomendado por general eléctrica para la serie GEFANUC 90-30 es Proficy Machine Edición versión 5.8 de GE Fanuc Automation. Este software trae varias ventajas importantes para este desarrollo:

- Compatibilidad con sistemas operativos actuales como Windows XP, 7 e incluso Windows 8.
- Los requisitos mínimos del sistema son bajos y esto permite que se instale en cualquier equipo de la empresa con Windows XP o superior.
- Es un software muy completo pero sencillo y fácil de utilizar.
- Existe mucha información de este software en internet y soporte por los proveedores.
- Es 100% compatible con todos los módulos de la serie GE Fanuc 90-30.
- Permite la programación de los PLC en los lenguajes ladder, por bloques o C.
- Permite programar IHMs en el mismo ambiente de programación.

<sup>31</sup> [26] ibid.

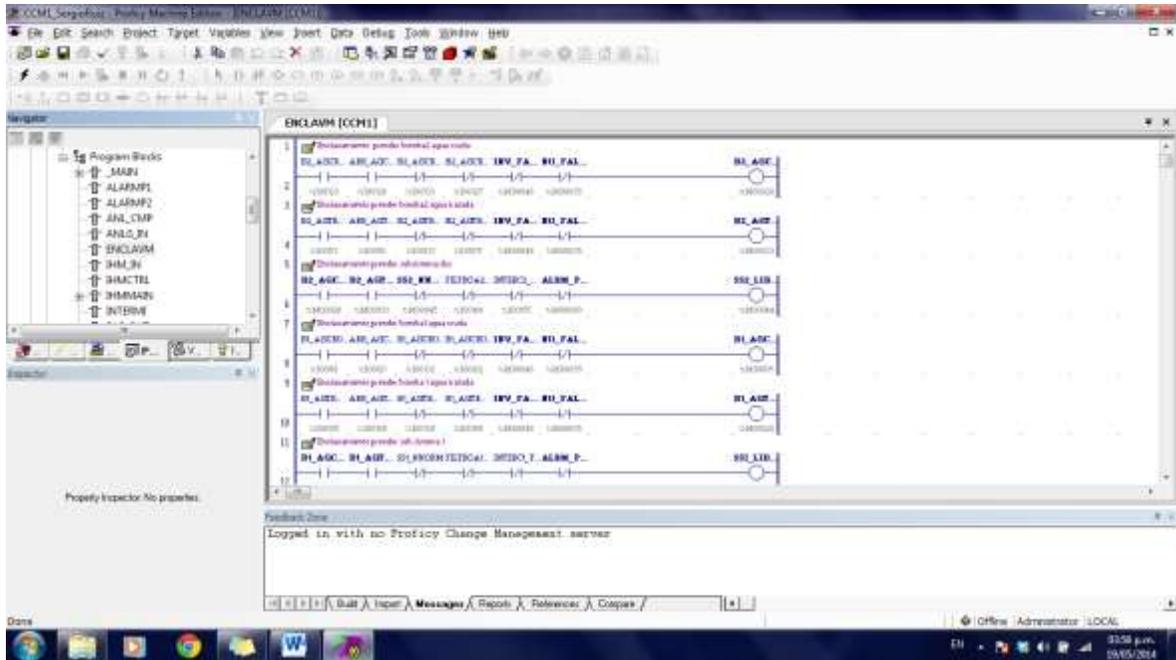


Ilustración 19 : Proficy Machine Edition v5.8

Después de definir el software en el que se iba a programar se eligió el lenguaje de programación. En pro de que el programa a desarrollar sea de fácil comprensión para todo el equipo de mantenimiento se optó por el lenguaje ladder. Este es el lenguaje común en todos los sistemas de control actualmente en Porce II y otras áreas de la gerencia de generación de energía.

El control actual se encuentra en una sola rutina de programación, además no se encuentra ningún tipo de descripción en el programa. Aparece toda la programación en lenguaje ladder de seguido sin saber bien que objetivo tiene cada variable. Estos puntos son esenciales a considerar en el desarrollo. Separar el programa en subrutinas permite un mejor entendimiento y facilita buscar errores en caso de haberlos. La propuesta para el CCM es dividirlos en los siguientes (los nombres recortados es debido a la limitación de 7 caracteres por nombre de subrutina):

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>66 de 103</b>

1. **\_MAIN**: Contiene la secuencia en la que se debe ejecutar las subrutinas, esta subrutina se encarga de llamar las demás subrutinas.
2. **ALARMP1**: Contiene los contactos para las alarmas que se visualizan en la pantalla 1 de la IHM.
3. **ALARMP2**: Contiene los contactos para las alarmas que se visualizan en la pantalla 2 de la IHM.
4. **ANL\_CMP**: (análogo\_comparaciones) En esta subrutina se encuentran todos los set points análogos que causan alarmas por valores análogos.
5. **ANL\_IN**: estandariza todas las señales análogas y las almacena en un registro del PLC.
6. **ENCLAVM**: aquí se encuentran todos los enclavamientos, las condiciones para las secuencias de las bombas y conocer los estados del sistema.
7. **IHM\_IN**: Todas las variables que se requieran visualizar en la IHM se pueden ver en esta subrutina.
8. **IHMCTRL**: Contiene contactos indispensables para el control de la IHM y para conocer los estados de las pantallas.
9. **IHMMAIN**: Se encarga de llamar las subrutinas de la IHM en orden para su correcto funcionamiento.
10. **INTERMI**: calcula un contacto intermitente que se utiliza para la señal lumínica y sirena.
11. **PLC\_OUT**: esta subrutina contiene las bobinas de salida (%Q).
12. **RST\_IN**: se encarga de limpiar los registros de la memoria al iniciar el programa.
13. **Secuencia**: contiene todo el GRAPHCET, esta es la subrutina principal ya que es la que se encarga del control de todo el subsistema.

La separación en subrutinas facilita la comprensión del subsistema, pero además de esto se incluye títulos a cada fila de contactos y una lista de variables con la descripción. Anteriormente solo se encontraba una lista de entradas y salidas, ahora se incluye marcas y variables globales. [VariablesCCM1.xlsx](#).



Ilustración 20 : IHM Pantalla 1 de alarmas CCM

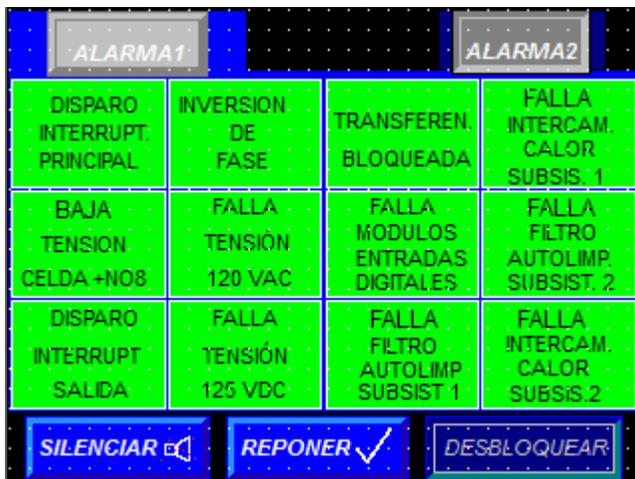


Ilustración 21 : IHM Pantalla 2 alarmas CCM

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>68 de 103</b>

#### 4.2.8 Pruebas funcionales al sistema

Para realizar las pruebas funcionales al sistema de refrigeración de la unidad, es necesario realizar un protocolo de pruebas. Este protocolo de pruebas se realizó con el asesoramiento de un conocedor del subsistema. En el caso de las pruebas funcionales al CCM se contó con el acompañamiento de dos operadores: Jorge Alberto Rodríguez y Carlos Gabriel Betancur.

El protocolo de pruebas funcionales trata de asegurar que el funcionamiento del subsistema sea correcto, en este caso que las bombas de refrigeración funcionen como deben y que el sistema principal este respaldado correctamente. El protocolo de pruebas se divide en: Entradas y salidas, Condiciones subsistema, Fallas, Arranque-Paro Subsistema 1, Arranque-Paro Subsistema 2, Transferencia x prioridad y Transferencia de subsistema por fallas. Este protocolo de pruebas se encuentra en dos archivos separados anexo a este informe con el nombre de [Protocolo Pruebas CCM1](#) y [Protocolo de pruebas para Transferencia por falla CCM1](#).



Ilustración 22 : Codillos para simular entradas digitales al PLC



Todas estas pruebas se realizaron en el laboratorio de instrumentación de casa maquinas Porce II. Se ensambló un rack provisional con todos los módulos del diseño. Para simular las señales de entrada digitales se utiliza codillos marcados con la dirección en memoria de la variable y su neumónico. Cada uno de los codillos está conectado a una fuente de 24 VDC. Estos codillos van conectados al módulo de entradas digitales MDL655 a través de un cable hecho por el estudiante de práctica. El cable se hizo con base al manual de especificaciones de módulos de entradas y salidas (Manual GFK-0898F).

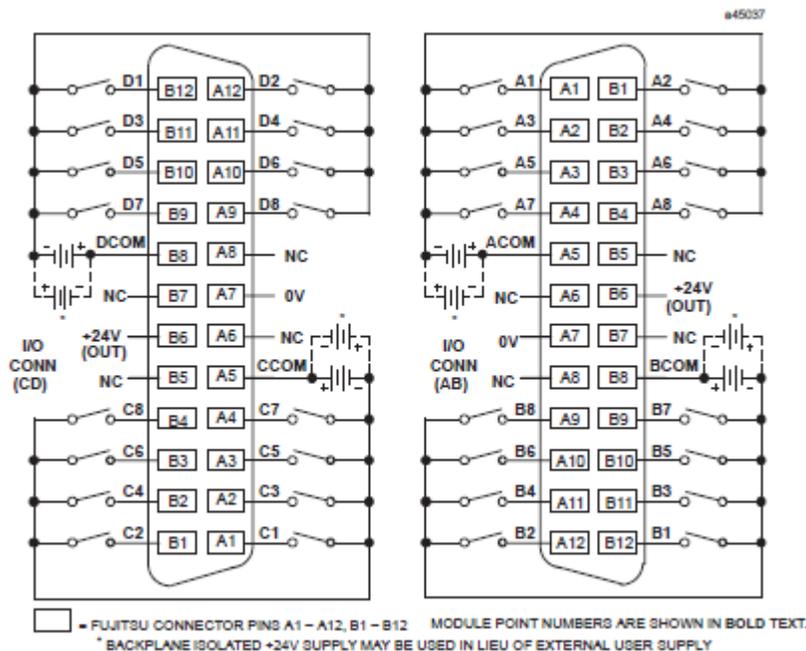


Ilustración 23 : Diagrama de cableado de campo de 24V para módulo de entradas discretas IC693MDL655<sup>32</sup>

La simulación de las señales analógicas es posible utilizando un calibrador de procesos (FLUKE Multifunction Process Calibrator 725). Este calibrador tiene una salida analógica de corriente de 0mA-20mA, estas señales se conectan al módulo de entradas analógicas ALG223.

<sup>32</sup> [27] G. F. Automation,(Julio del 2000). Series 90-30 PLC I/O Specifications, Chapter 6 Discrete Input Modules [Portable Format Document .pdf]



Ilustración 24: Laboratorio PLC para pruebas funcionales

El protocolo de pruebas funcionales se llevó a cabo sin ningún percance y en las fechas designadas en el cronograma de actividades.

#### **4.2.9 Pruebas de comunicación con el SCADA de control**

Uno de los objetivos principales de esta reingeniería es dar de baja al SCADA antiguo e integrar todos los subsistemas al nuevo SCADA de control. Por este motivo también se ve la necesidad de probar esta comunicación.

El lazo de comunicación de la ilustración 17: Distribución red Ethernet de control Force 2, no se ha montado. Se utilizó el switch de la unidad modernizada (unidad numero 2) y un cable Ethernet provisional conectado al módulo CMM321 del PLC, de este modo, poder llevar a cabo la prueba de comunicación con el SCADA.

La comunicación con el SCADA requiere que la configuración tanto del PLC como en el SCADA sea muy precisa y simultánea esta configuración se hizo con ayuda del operador Carlos Gabriel Betancur. Para lograr visualizar las diferentes variables del subsistema desde la sala de control, deben coincidir las direcciones de memoria de las variables en ambos programas y una configuración correcta del



INFORME FINAL DE PRACTICA

Código: **F-PI-038**

Versión: **01**

Página **71 de 103**

protocolo ipv4.

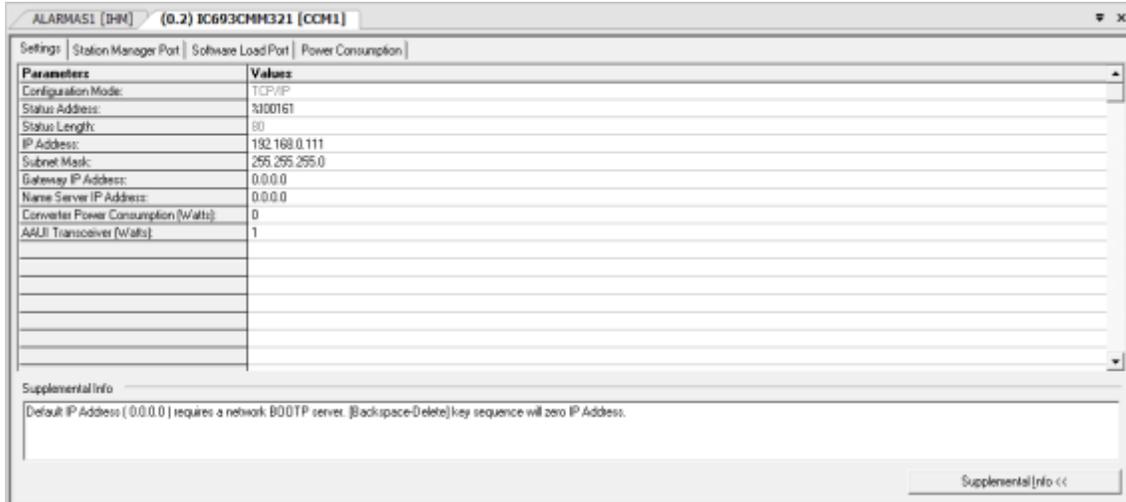


Ilustración 25 : Configuración del módulo de comunicación para el CCM (CMM321)

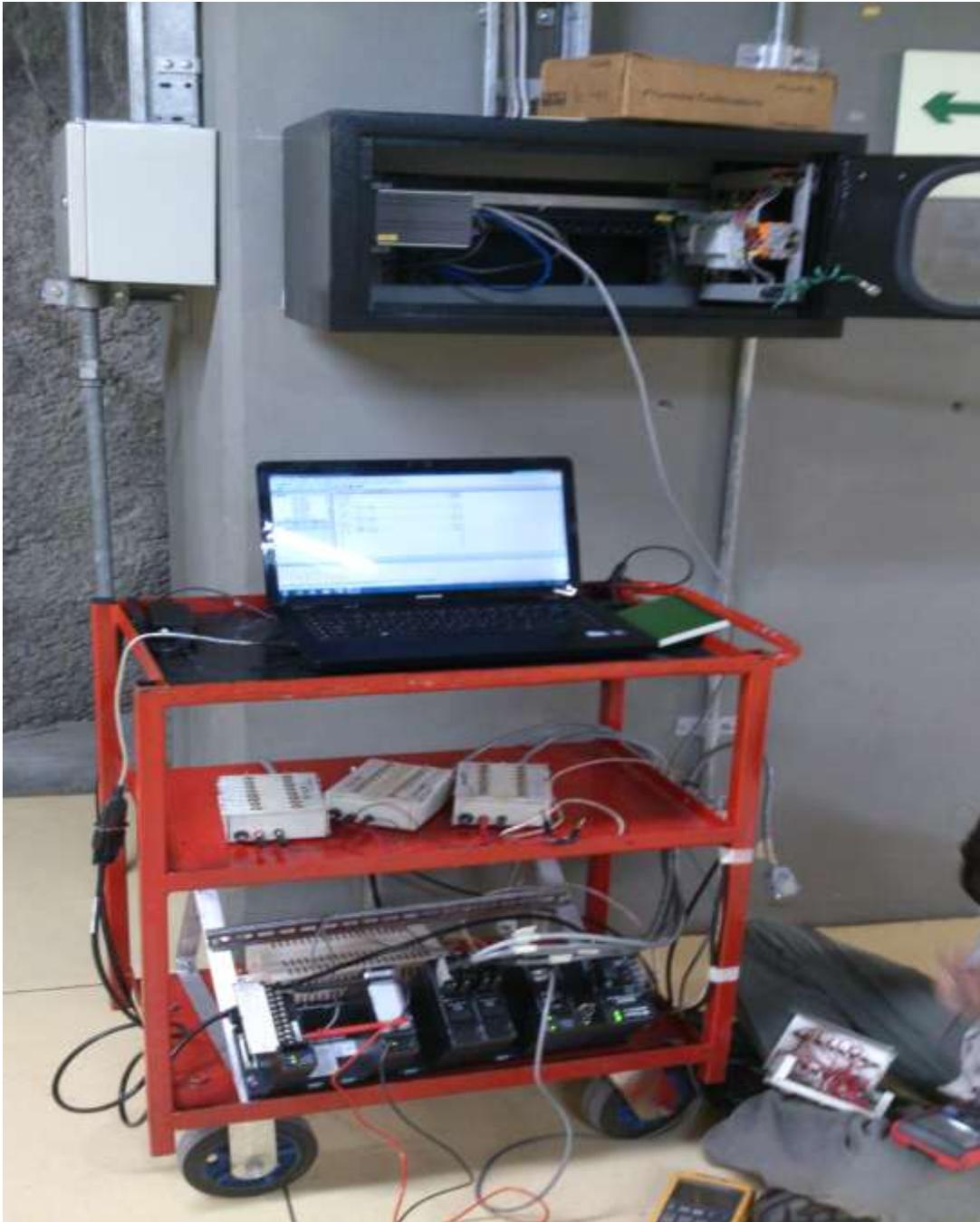


Ilustración 26 : Pruebas de comunicación con el SCADA

El objetivo de la prueba es comprobar que en el SCADA de control se visualice cuando una variable del subsistema cambie, entonces utilizando unos radios se hacía cambios en los codillos de las señales de entradas del PLC mientras el

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>73 de 103</b>

operador verificaba que ese cambio a la variable se visualizara desde la sala de control.

Al finalizar exitosamente ambas pruebas al subsistema, por sugerencia de ambos operadores se le efectuó pequeños cambios al programa en lenguaje Ladder y se le agrego a las entradas análogas del CCM las siguientes:

CCM1: Temperatura entrada Agua Cruda 1	%R171	TEMP_ACRUTIT1
CCM1: Temperatura Salida Agua Cruda 1	%R179	TEMP_ACRUTIT2
CCM1: Temperatura entrada Agua Cruda 2	%R187	TEMP_ACRUTIT3
CCM1: Temperatura entrada Agua Cruda 2	%R195	TEMP_ACRUTIT4
CCM1: Temperatura Salida Agua Tratada 1	%R171	TEMP_ATRATIT5
CCM1: Temperatura Entrada Agua Tratada 1	%R179	TEMP_ATRATIT7
CCM1: Temperatura Salida Agua Tratada 2	%R187	TEMP_ATRATIT6
CCM1: Temperatura Entrada Agua Tratada 2	%R195	TEMP_ATRATIT8
CCM1: Flujo Salida Agua Cruda 1	%R203	FLUJO_ACRUIPU1_1
CCM1: Flujo Salida Agua Cruda 2	%R211	FLUJO_ACRUIPU1_2

**Tabla 9 : Señales análogas adicionales del subsistema CCM**

#### **4.2.10 Implementación**

Esta última fase no se pudo llevar a cabo en el tiempo establecido, debido a factores externos al estudiante de práctica. Como sustento de esto, anexo se encuentra una carta dirigida al comité de trabajos de grado por parte del ingeniero Carlos David Montoya Escobar.

[Carta sobre Implementación por parte de EPM](#)

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>74 de 103</b>

### **4.3 Servicios Auxiliares de Maquina**

Los servicios auxiliares de la maquina es un subsistema que se hace a cargo de alimentar eléctricamente a todos aquellos subprocesos esenciales para la unidad de generación, tales como la lubricación forzada, la circulación de aceite por los cojinetes, la extracción de vapores, las bombas neumáticas de aplicación de sellos, los frenos, incluso la refrigeración (CCM) se alimenta desde este subsistema. La conducción eléctrica se hace por medio de dos interruptores inversos sincronizados; es decir cuando uno abre el otro cierra y vice-versa.<sup>33</sup>

El interruptor de respaldo viene alimentado desde la barra de 480V, un circuito que viene desde la subestación el tablón, todos los servicios auxiliares se alimentan por medio de este interruptor mientras las unidades de generación no cumplan que el voltaje sea mayor a 90% el voltaje nominal. En el instante que la unidad de generación esté en funcionamiento y se encuentre a mayor o igual al 90% del voltaje nominal entonces se abre el interruptor de respaldo y se cierra el interruptor principal, esto significa que todos los servicios auxiliares se alimentan de la misma unidad de generación.

---

<sup>33</sup> [28] Equipo de Operación Porce II,(Febrero del 2013). Servicios auxiliares Porce II, [Hoja de cálculo de Microsoft Office Excel]

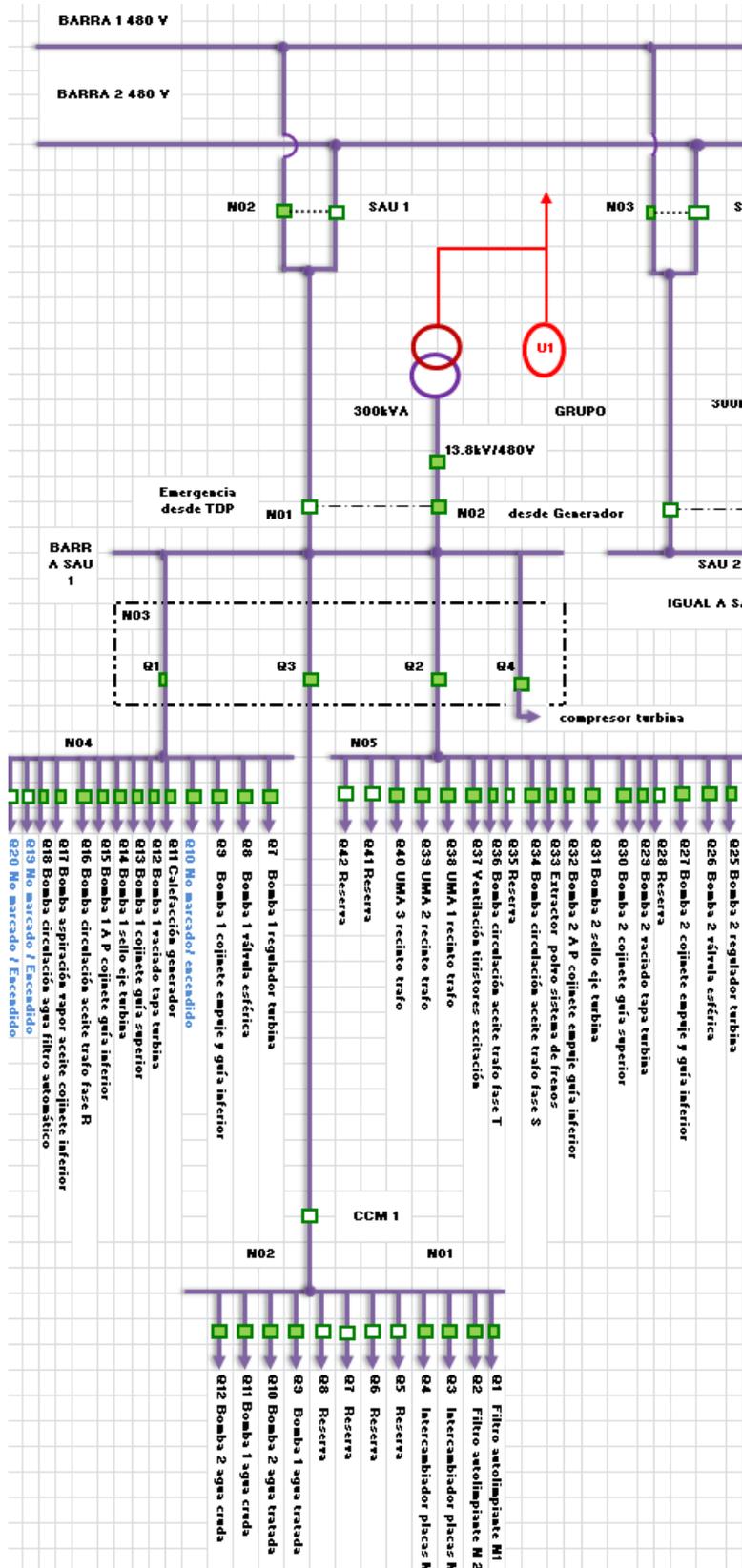


Ilustración 27 : Servicios Auxiliares Porce II (Unidad 1)

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>76 de 103</b>

#### 4.3.1 Elementos de control



misma los servicios auxiliares.

Sin embargo, también se monitorea la corriente, la corriente es la primera que avisa en caso de alguna falla en los servicios auxiliares, cualquier cambio brusco en ella puede ocasionar también una transferencia. Esto con el fin de proteger la unidad de generación.

Las variables de salida será los interruptores NO1 y NO2 de la Ilustración 27 : Servicios Auxiliares Porce II (Unidad 1), como se puede observar en la ilustración el interruptor NO2 dice desde generador, esto significa que el devanado principal del transformador que se encuentra encima de ste interruptor se excita cuando la unidad este en generación. Sin embargo, el interruptor NO1 se alimenta desde las barra 1 o 2 del sistema 480 proveniente desde la subestación el Tablon de EPM. El riesgo a considerar es que ambos interruptores se encuentren cerrados en mismo instante. De ocurrir esto se produciría un corto ya que dos potencias de diferente origen se encontrarían en un barraje. Los interruptores de este subsistema precisamente para evitar este tipo de situaciones contienen un enclavamiento mecánico que evita que esta situación se cumpla, mas sin embargo si hay un mal diseño en el software este seguro mecánico sufriría cada vez que se produzca una transferencia finalmente poniendo en peligro los funcionarios de la empresa.



# INFORME FINAL DE PRACTICA

Código: **F-PI-038**

Versión: **01**

Página **77 de 103**

Neumónico	Descripción	Dirección	Nuevo neumónico
SYM_122	SAU1 POLARIDAD MODULO 4	%I0097	POLMOD4
	SAU1 SEÑAL DE SINCRONISMO	%I0098	SEÑALSINCRO
SYM_156	SAU1 SELECTOR PLC AUTOMATICO	%I0099	SELPLCAUTO
	SAU1 SELECTOR PLC PRUEBA	%I0100	SELPLCPRU
	SAU1 SELECTOR PLC FUERA DE SERV	%I0101	SELPLCOUT
	SAU1 POLARIDAD MODULO SALIDAS	%I0102	POLMOD7SALID
SYM_103	SAU1 ALMTR PRINC INTPT SALTRANSF ABIERTO	%I0103	ALIMPPALINTSALTRFAB
SYM_137	SAU1 ALMTR PRIN INTPT SALTRANSF CERRADO	%I0104	ALIMPPALINTSALTRFCER
SYM_19	SAU1 ALMTR PRINCIPAL INTERRUPTOR ABIERTO	%I0105	ALIMPPALINTAB
SYM_95	SAU1 ALMTR PRINCIPAL INTERRUPTOR CERRADO	%I0106	ALIMPPALINTCER
SYM_96	SAU1 ALMTR PRINC INTPT CARRO EXTRAIDO	%I0107	ALIMPPALINTCAREXT
SYM_107	SAU1 ALMTR PRINC INTPT CARRO PRUEBA	%I0108	ALIMPPALINTCARPRU
SYM_106	SAU1 ALMTR PRINC INTPT CARRO CONECTADO	%I0109	ALIMPPALINTCARCON
SYM_109	SAU1 ALMTR PRINC SELECTOR INTPT MANUAL	%I0110	ALIMPPALSELINTMAN
SYM_110	SAU1 ALMTR PRINC SELECTOR INTPT FUERA DE SERVICIO	%I0111	ALIMPPALSELINTOUT
SYM_108	SAU1 ALMTR PRINC SELECTOR INTPT AUTO	%I0112	ALIMPPALSELINTAUTO
SYM_97	SAU1 ALMTR RESP INTERRUPTOR ABIERTO	%I0113	ALIMRESPINTAB
SYM_98	SAU1 ALMTR RESP INTERRUPTOR CERRADO	%I0114	ALIMRESPINTCERR
SYM_105	SAU1 ALMTR RESP INTPT CARRO EXTRAIDO	%I0115	ALIMRESPINTCAREXT
SYM_116	SAU1 ALMTR RESP INTPT CARRO PRUEBA	%I0116	ALIMRESPINTCARPRU
SYM_115	SAU1 ALMTR RESP INTPT CARRO CONECTADO	%I0117	ALIMRESPINTCARCON
SYM_118	SAU1 ALMTR RESP SELECTOR INTPT MANUAL	%I0118	ALIMRESPINTMAN
SYM_119	SAU1 ALMTR RESP SELECTOR INTPT FUERA DE SERVICIO	%I0119	ALIMRESPINTOUT
SYM_117	SAU1 ALMTR RESP SELECTOR INTPT AUTO	%I0120	ALIMRESPINTAUTO
SYM_123	SAU1 POLARIDAD MODULO 5	%I0129	POLMOD5
SYM_100	SAU1 SOBRE CORRIENTE TRAFODISPARO	%I0130	SCTRAFODISP
	SAU1 ALTA TEMP DEV TRAFODISPARO	%I0131	ALTTEMPDEVTRFDISP
SYM_102	SAU1 MUY ALTA TEMP DEV TRAFODISPARO	%I0132	MUYALTTEMPDEVTRFDISP
SYM_101	SAU1 INTERRUPTOR SALIDA TRAFODISPARO	%I0133	INTSALIDTRFDISP
SYM_113	SAU1 INTERRUPTOR PRINCIPAL DISPARO	%I0134	INTPPALDISP
SYM_104	SAU1 ALMTR PRINC RELE INVFASE ALARMA	%I0135	ALIMPPALRINVVALM
SYM_99	SAU1 ALMTR PRINC BAJA TENSION ALARMA	%I0136	ALIMPPALBAJTENSALM
SYM_112	SAU1 INTERRUPTOR RESPALDO DISPARO	%I0137	INTRESPDISP
SYM_133	SAU1 ALMTR RESP RELE INV FASE ALARMA	%I0138	ALIMRESINVFALM
SYM_132	SAU1 ALMTR RESP BAJA TENSION ALARMA	%I0139	ALIMRESPBAJTENSALM
SYM_129	SAU1 BAJA TENSION EN BARRA ALARMA	%I0140	BAJTENSBRRALM
SYM_25	SAU1 ALTA TENSION EN BARRA DISPARO	%I0141	ALTATENSBRRDDISP
SYM_27	SAU1 INTPT ALIMENTADOR CELDA N04 DISPARO	%I0142	INTALIMCELN04DISP
SYM_29	SAU1 INTPT ALIMENTADOR CELDA N05 DISPARO	%I0143	INTALIMCELN05DISP
SYM_31	SAU1 INTPT ALIMENTADOR CCM1 DISPARO	%I0144	INTALIMCCM1DISP
SYM_33	SAU1 INTPT ALIMENTADOR RESERVA DISPARO	%I0145	INTALIMRESDISP
SYM_35	SAU1 INTPT SALIDA CELDA +N04 DISPARO	%I0146	INTSALCELN04DISP
SYM_37	SAU1 INTPT SALIDA CELDA +N05 DISPARO	%I0147	INTSALCELN05DISP
SYM_39	SAU1 FALLA TENSION 120VAC ALARMA	%I0148	FALTENS120ACALM
SYM_41	SAU1 FALLA TENSION 125VDC ALARMA	%I0149	FALTENS125DCALM
SYM_43	SAU1 TRANSFERENCIA BLOQUEADA PRESENCIA	%I0150	TRANSFBLOQALM
SYM_47	SAU1 INTPT PRINCIPAL SOBRE I ALARMA	%I0151	INTPPALSCALM
SYM_49	SAU1 INTPT RESPALDO SOBRE I ALARMA	%I0152	INTRESPSCALM

**Tabla 10 : Variables de Entrada SAU**

SYM_138	CM U1 AUTOVIGILANCIA PLC PRESENC	%Q0001	AUTOVIGILPLC
SYM_125	CM U1 INTERRUPTOR PRINCIPAL APERTURA	%Q0002	INTPPALAP
SYM_127	CM U1 INTERRUPTOR PRINCIPAL CIERRE	%Q0003	INTPPALCERR
SYM_126	CM U1 INTERRUPTOR RESPALDO APERTURA	%Q0004	INTRESPAP
SYM_128	CM U1 INTERRUPTOR RESPALDO CIERRE	%Q0005	INTRESPCERR
SYM_170	SAU1 TRANSFERENCIA BLOQUEO PRESENCIA	%Q0006	TRANSFERBLOQ

**Tabla 11 : Variables de salida SAU**





02L 1001AZ SERV. AUX U2 (IHR)										
01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	
CPU251	BEM340	BEM314	MDL655	MDL655						
RACK 0	CPU	PS 3075	PS 3075	PS 3075						

LI : Logical (discrete) Inputs  
LO : Logical (discrete) Outputs  
AI : Analog Inputs  
AO : Analog Outputs

02LKA001AZ SERV. AUX U2 (IHR)      INPUTS / OUTPUTS LIST      Sheet: 6

Ilustración 29 : Configuración del PLC IHR del SAU

### 4.3.3 Esquema lógico de Control

En grafcet se encuentra consignada la secuencia del programa SAU, en términos generales se cuentan con 3 secuencias diferentes.

- Transferir de interruptor de respaldo a principal.
- Transferir de interruptor de principal a respaldo
- Apertura de ambos interruptores.



SECUENCIAS LOGICA SERVICIOS AUXILIARES UNIDAD 1  
GRAFSET PRINCIPAL

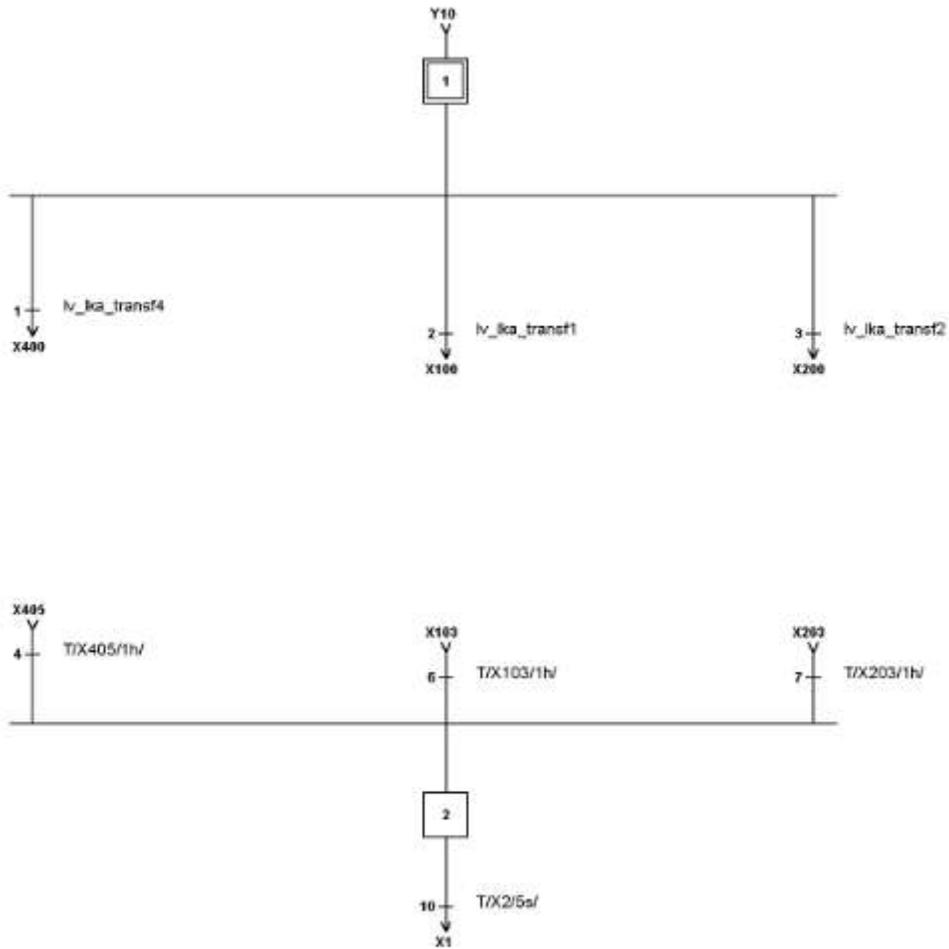


Ilustración 30 : Secuencia SAU en Grafset página 1.



SECUENCIAS LOGICA SERVICIOS AUXILIARES UNIDAD 1  
GRAFSET PRINCIPAL

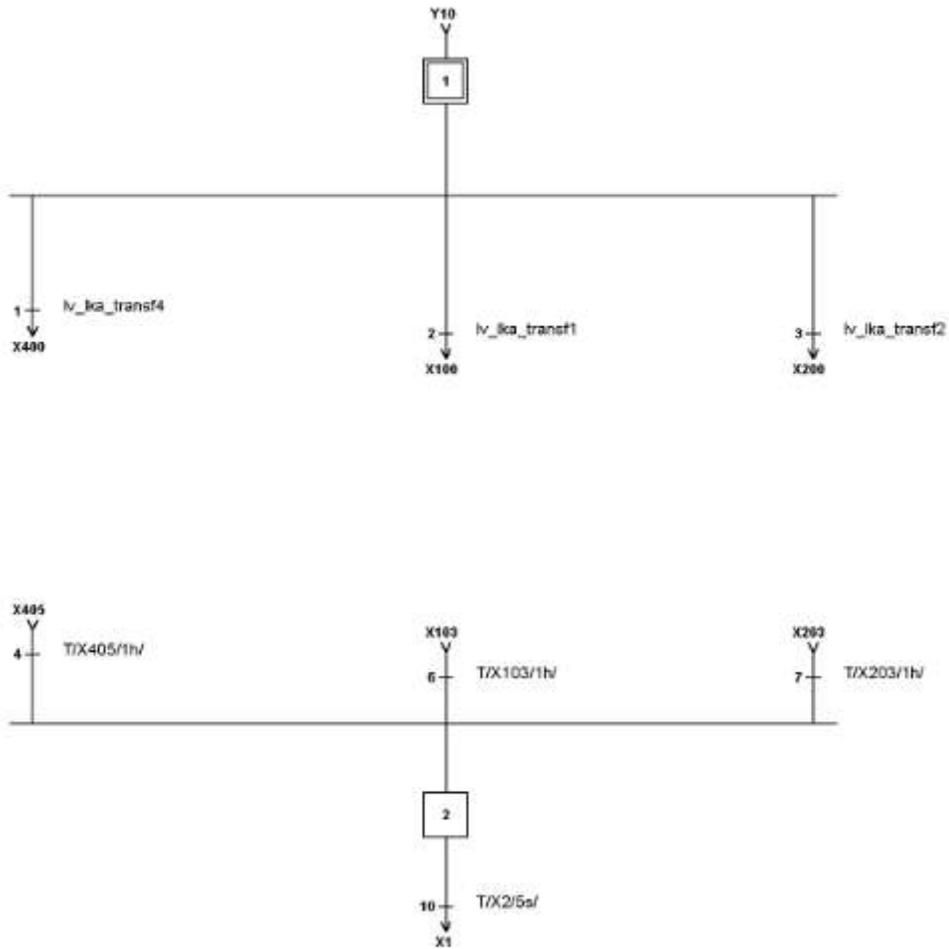


Ilustración 31 : Secuencia del SAU en Grafset página 2



**SECUENCIAS LOGICAS SERVICIOS AUXILIARES UNIDAD 1  
SECUENCIA TRANSFERIR ALIMENTACION RESPALDO A PRINCIPAL**

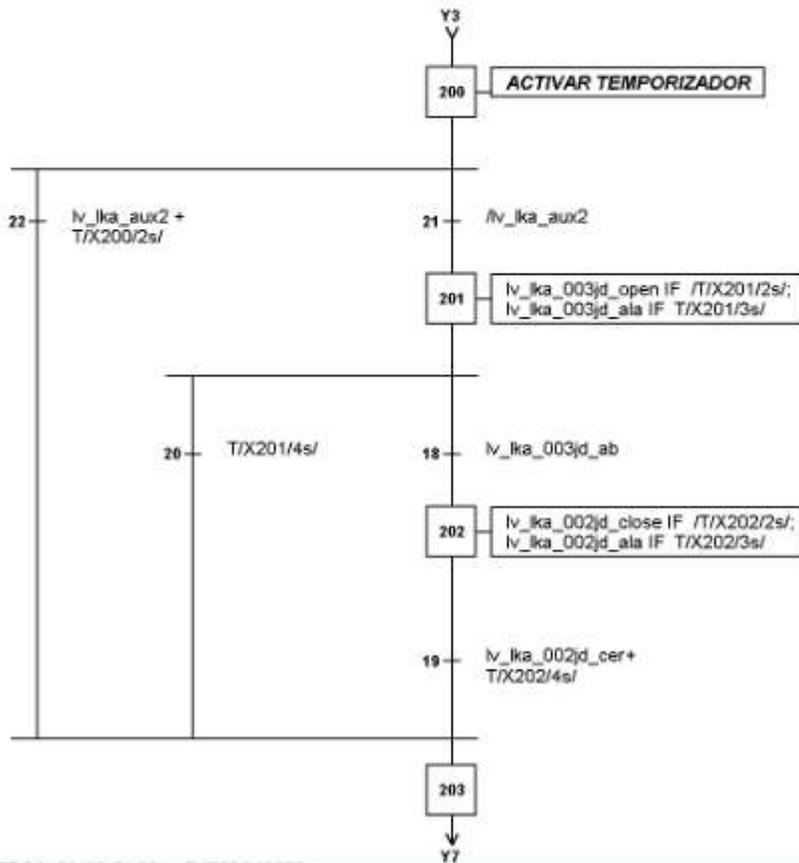


Ilustración 32 : Secuencia del SAU Grafcet página 3

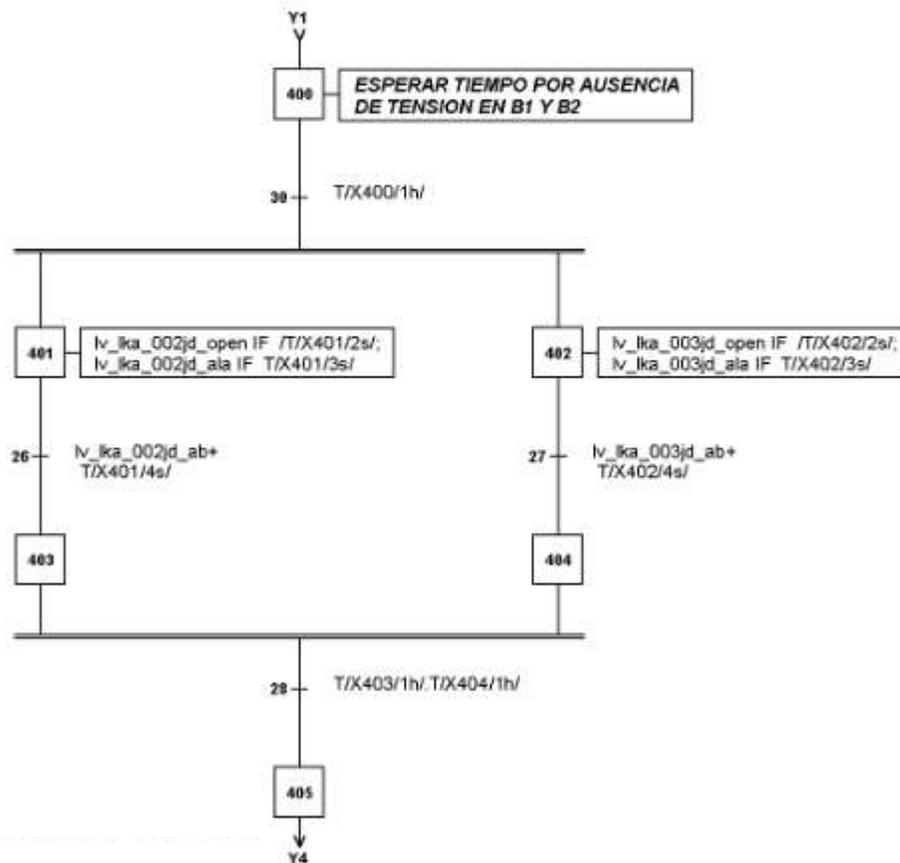
SECUENCIAS LOGICAS SERVICIOS AUXILIARES UNIDAD 1  
AUSENCIA DE TENSION EN BARRA 1 Y EN BARRA 2

Ilustración 33 : Secuencia del SAU en Grafcet página 4

Como se puede visualizar en las anteriores ilustraciones el programa de los servicios auxiliares es más extenso y esto conlleva a que se vea la necesidad de más tiempo en su diseño.

Para la reingeniería es importante anotar que este programa no tiene una alarma por señales análogas, si existe una baja tensión hay un dispositivo aparte del PLC que se encarga de crear una salida digital para el PLC.

#### 4.3.4 Diseño de la reingeniería SAU (Hardware)

En busca de que todos los subsistemas sean similares en su diseño de hardware la propuesta es utilizando los mismos módulos que se proponen en el CCM. Sin

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>84 de 103</b>

embargo, este subsistema tiene menos señales digitales de salida y por este motivo solo se necesita un MDL940 a diferencia de 2 que se necesitaban en el CCM.

PWR 330	CPU 351	CMM 321		MDL 655	MDL 655		MDL 940			ALG 223
Rack:IC693CHS391										

Ilustración 34 : Propuesta de configuración de SAU

La configuración de las señales análogas de este subsistema es de 0 a 20mA y la escalización es diferente pero hace parte del SCADA y no del controlador.

Referencia	Descripción	Total
IC693 CHS391	Base rack 10 slot	1
IC693 PWR330	Fuente de poder 24 VDC 30W Alta-Capacidad	1
IC693 CPU351	25 MHz, Entradas %I2048, %Q2048, %M4096 bits	1
IC693 CMM321	Interface Ethernet, Modbus/TCP	1
IC693 MDL655	32 entradas digitales 24 VDC	2
IC693 MDL940	16 Salida relé 2A	1
IC693 ALG223	16 entradas analogas	1

Tabla 12 : Modulos del diseño del SAU

#### 4.3.5 Diseño de la reingeniería del SAU (Software)

En vista que el programa original de los servicios auxiliares esta sin descripciones o divisiones que faciliten la comprensión, para esta reingeniería se divide el programa en las siguientes partes:

1. MAIN\_: Contiene la secuencia en la que se debe ejecutar las subrutinas, esta subrutina se encarga de llamar las demás subrutinas.

2. ANLG\_IN: Este subprograma se encarga de guardar en registros todas las señales análogas que vienen del módulo ALG223, aquí también se escalizán las variables necesarias.
3. CLR\_VLB: Se encarga de limpiar todos los registros cuando se inicia el programa por primera vez.
4. ENCLVM: aquí se encuentran todos los enclavamientos, las condiciones para las secuencias de las bombas y conocer los estados del sistema.
5. EST\_P1: Contiene los contactos para las alarmas que se visualizan en la pantalla 1 de la IHM.
6. EST\_P2: Contiene los contactos para las alarmas que se visualizan en la pantalla 2 de la IHM.
7. IHM\_IN: Todas las variables que se requieran visualizar en la IHM se pueden ver en esta subrutina.
8. IHM\_TMR: calcula un contacto intermitente que se utiliza para la señal lumínica y sirena.
9. IHMCTRL: Contiene contactos indispensables para el control de la IHM y para conocer los estados de las pantallas.
10. IHMMAIN: Se encarga de llamar las subrutinas de la IHM en orden para su correcto funcionamiento.
11. PLC\_OUT: esta subrutina contiene las bobinas de salida (%Q).
12. SECUENC: contiene todo el GRAPHCET, esta es la subrutina principal ya que es la que se encarga del control de todo el subsistema.

ALARMA1		ALARMA2	
TRAFO 300KVA ALTA TEMPERATURA	INTERRUPTOR EN CELDA TRAFO 300KVA DISPARADO	INTERRUPTOR ALIMENTACION PRINCIPAL DISPARADO	INTERRUPTOR ALIMENTACION RESPALDO DISPARADO
TRAFO 300KVA MUY ALTA TEMPERATURA	INTERRUPTOR ALIMENTACION PRINCIPAL SOBRE I (AMP)	INTERRUPTOR ALIMENTACION PRINCIPAL INVER. FASES	INTERRUPTOR ALIMENTACION RESPALDO INVER. FASES
DISPARO SOBRE I (AMP) TRAFO 300KVA	INTERRUPTOR ALIMENTACION RESPALDO SOBRE I (AMP)	INTERRUPTOR ALIMENTACION PRINCIPAL TENSION BAJA	INTERRUPTOR ALIMENTACION RESPALDO TENSION BAJA
SILENCIAR		REPONER	
DESBLOQUEAR			

Ilustración 35 : IHM pantalla 1 alarmas SAU



Ilustración 36 : IHM pantalla 2 alarmas SAU

#### 4.3.6 Pruebas funcionales al sistema

Las pruebas funcionales se realizaron mediante la creación de un protocolo de pruebas y la aplicación de este protocolo a un PLC provisional con los módulos propuestos en el diseño. Mediante codillos se simulan las señales de entrada digitales y utilizando el calibrador de procesos Fluke Multifunction process calibrator 725 se inyecta una señal análoga de corriente de 0mA->20mA al módulo de señales análogas.

El protocolo de pruebas se divide en dos archivos [Protocolos Pruebas SAU](#) y [Protocolo para abrir interruptores](#). En estos protocolos se encuentra diferentes pruebas:

La primera prueba se llama I/O y trata asegurar que todos los cambios realizados en las señales de entrada se reflejen en el software. Mediante los codillos se cambia de estado cada una de las señales análogas y salidas mirando que el tiempo de respuesta sea mínimo.

Luego se evalúa cada uno de los enclavamientos y condiciones, esto con el fin de buscar un posible error de contacto en el lenguaje ladder, esta prueba se encuentra bajo el nombre de condiciones interruptores, posterior a esta prueba se realizó una tercera prueba denominada fallas que busca hacer la misma verificación del programa pero con las fallas del subsistema.

Después de haber asegurado que todas las condiciones y enclavamientos estén en correcto funcionamiento se pone en prueba la secuencia del sistema, es decir la transferencia de principal a respaldo y respaldo a principal. Esta es la cuarta prueba que se encuentra en el protocolo. Para realizar bien el protocolo y la

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>87 de 103</b>

prueba se debe de conocer muy bien el proceso del subsistema ya que consta de causar fallas intencionales para mirar que el funcionamiento sea correcto.

Finalmente la última prueba es la de la tercera secuencia, la apertura de ambos interruptores, básicamente se inhabilita un interruptor por medio de cualquier falla y se pone en falla el interruptor que esté en funcionamiento, al detectar que no puede transferir se deben abrir ambos interruptores.

Es importante tener en cuenta el riesgo que se define desde los elementos de control, si ambos interruptores se cierran teniendo en cuenta que vienen desde diferentes fuentes. Una de las fuentes es la unidad de generación, si se produce un corto circuito toda la unidad se puede ver afectado, y al otro lado está la alimentación desde barra 1 o 2 de los servicios de 480V que viene de subestación, un corto podría no solo deshabilitar la unidad sino todos los servicios que comparten la misma barra. Por este motivo además de las pruebas con el PLC se adaptan dos interruptores que simulen los reales y se asegura que en toda transferencia o apertura no haya un corto.

#### **4.3.7 Pruebas de comunicación con el SCADA de control**

Al trasladar todo el laboratorio de prueba que se utilizó para las pruebas funcionales hacia el switch de la unidad 2 se comienza las pruebas de comunicación con el SCADA de control en sala de operación. Utilizando los codillos se varían las señales y se evalúa el estado que toman los gráficos del SCADA. Para lograr comunicar el PLC se debe configurar el módulo CMM321 con una dirección IP estática y la máscara de subred como se puede ver en Ilustración 37 : Configuración del módulo de comunicación para el SAU (CMM321). También se evalúa la escalización de señales análogas en el SCADA al inyectar una señal análoga al PLC y mirar los valores en los indicadores del SCADA.





#### **4.4 Centro Control Motores 4 (bombas de drenaje)**

El centro control motores cuatro se encarga de manejar las bombas de drenaje del pozo húmedo de Porce 2. Este pozo se encuentra debajo de casa máquinas y es donde se capta todas las fugas de agua provenientes de las 3 unidades. Como este pozo se encuentra debajo de la casa de máquinas, el nivel puede subir hasta inundar el piso inferior de la planta, por este motivo este pozo se drena constantemente por 4 bombas. 2 bombas grandes y 2 bombas pequeñas. El funcionamiento de estas bombas se controla teniendo en cuenta el nivel de agua en el pozo.



Ilustración 38 : Bombas de drenaje

Las bombas pequeñas tienen el nombre VPI1 y VPI2, y las bombas grandes tienen el nombre de VTA1 VTA2. Este subsistema maneja 7 alertas de nivel la base del control de este subsistema es una reacción a estos niveles.

- Nivel 1: es el nivel más bajo de agua y en este nivel ninguna de las bombas se encuentran encendidas.
- Nivel 2: Arranca la bomba VPI que este como prioridad.
- Nivel 3: Arranca la segunda bomba VPI.
- Nivel 4: se muestra alarma en el control por alto nivel
- Nivel 5: Arranca la bomba VTA que este como prioridad.
- Nivel 6: Arranca la segunda bomba VTA.
- Nivel 7: Disparo de toda la planta.



Este pozo recibe todo el agua que atraviesa las turbinas y además toda las aguas residuales de la planta, lo que hacen las bombas es llevar esta agua a la almenara aguas abajo, donde se reduce la presión para luego sacarla de nuevo al cauce del rio Porce.



Ilustración 39 : Tablero CCM4

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>91 de 103</b>

#### 4.4.1 Elementos de control

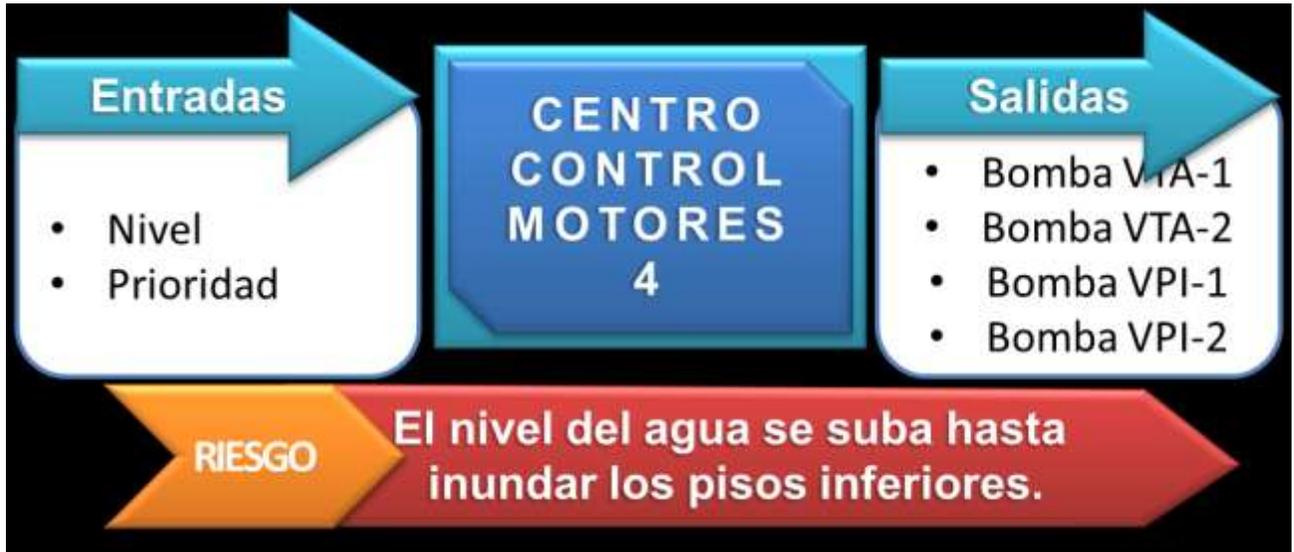


Ilustración 40 : Esquema de control CCM4

Todas las indicaciones de nivel están distribuidas en varias señales digitales, provenientes de sensores de nivel en el pozo. Además a las señales de nivel también están las de monitoreo de tensión del PLC y los selectores de prioridad. Los selectores de prioridad son quienes definen que bomba se enciende primero tanto para las grandes como para las pequeñas. Estas prioridades se cambian regularmente para no desgastar únicamente una bomba y en caso de mantenimiento también son útiles.

Este es un subsistema esencial para la planta y es de los más importante, precisamente por el riesgo que contiene, si el sistema falla y no se alcanza a evacuar el agua de este pozo, la casa de máquinas se puede inundar y causar una evacuación de emergencia y finalmente un siniestro en la planta. Obviamente este sistema tiene un respaldo manual mediante una válvula de aspiración, sin embargo no alivia la importancia de este sistema.

Las variables de salida son el arranque y paro de cada una de las bombas y unos indicadores de fallas para el control. Cada bomba tiene asignada una salida digital y esta define si la bomba está encendida o apagada. Como variables de entrada análogas únicamente tenemos un monitoreo de la tensión en barra del TDP (Tablero de Distribución de Potencia) que es de donde viene alimentado eléctricamente todo el subsistema. [variablesCCM4.xlsx](#)



INFORME FINAL DE PRACTICA

Código: **F-PI-038**

Versión: **01**

Página **92 de 103**

Dirección	Neumónico	Descripción	Nuevo Neumónico
%I0097	li_lkc_101iu_validez	CCM4 POLARI	VALID_MOD4
%I0103	li_lkc_001po_vpi1_func	CCM4 BOMB	VPI1_FUNC
%I0104	li_lkc_001po_vpi1_para	CCM4 BOMB	VPI1_PARADA
%I0105	li_lkc_001se_vpi1_nor	CCM4 SELEC	VPI1_NORMAL
%I0108	li_lkc_001dm_vpi1_con	CCM4 ARRAN	VPI1_CONECTAR
%I0110	li_lkc_003se_vpi1_princ	CCM4 SEL	VPI1_PRINCIPAL
%I0111	li_lkc_003se_vpi2_princ	CCM4 SEL	VPI2_PRINCIPAL
%I0113	li_lkc_002po_vpi2_func	CCM4 BOMB	VPI2_FUNC
%I0114	li_lkc_002po_vpi2_para	CCM4 BOMB	VPI2_PARADA
%I0115	li_lkc_002se_vpi2_nor	CCM4 SELEC	VPI2_NORMAL
%I0118	li_lkc_002dm_vpi2_con	CCM4 ARRAN	VPI2_CONECTAR
%I0120	li_lkc_001po_vta1_func	CCM4 BOMB	VTA1_FUNC
%I0121	li_lkc_001po_vta1_para	CCM4 BOMB	VTA1_PARADA
%I0122	li_lkc_004se_vta1_nor	CCM4 SELEC	VTA1_NORMAL
%I0125	li_lkc_006se_vta1_princ	CCM4 SEL	VTA1_PRINCIPAL
%I0126	li_lkc_006se_vta2_princ	CCM4 SEL	VTA2_PRINCIPAL
%I0129	li_lkc_102iu_validez	CCM4 POLARI	VALID_MOD5
%I0130	li_lkc_002po_vta2_func	CCM4 BOMB	VTA2_FUNC
%I0131	li_lkc_002po_vta2_para	CCM4 BOMB	VTA2_PARADA
%I0132	li_lkc_005se_vta2_nor	CCM4 SELEC	VTA2_NORMAL
%I0135	li_lkc_001sn_s1_pre	CCM4 NIVEL 1	NIVEL_1
%I0136	li_lkc_002sn_s2_pre	CCM4 NIVEL 2	NIVEL_2
%I0137	li_lkc_003sn_s3_pre	CCM4 NIVEL 3	NIVEL_3
%I0138	li_lkc_005sn_s5_pre	CCM4 NIVEL 5	NIVEL_5
%I0139	li_lkc_006sn_s6_pre	CCM4 NIVEL 6	NIVEL_6
%I0161	li_lkc_103iu_validez	CCM4 POLARI	VALID_MOD6
%I0162	li_lkc_001jd_dis	CCM4 INTERRUPTO	INT1_DISPARADO
%I0163	li_lkc_002jd_dis	CCM4 INTERRUPTO	INT2_DISPARADO
%I0164	li_lkc_001po_vpi_fa	CCM4 BOMBA V	FALLA_VPI1
%I0165	li_lkc_002po_vpi_fa	CCM4 BOMBA V	FALLA_VPI2
%I0166	li_lkc_001po_vta_fa	CCM4 BOMBA V	FALLA_VTA1
%I0167	li_lkc_002po_vta_fa	CCM4 BOMBA V	FALLA_VTA2
%I0168	li_lkc_001yu_ba	CCM4 RELE BAJA T	BAJA_TENS_1
%I0169	li_lkc_001xj_pre	CCM4 RELE INV F	INV_FASE_1
%I0170	li_lkc_002yu_ba	CCM4 RELE BAJA T	BAJA_TENS_2
%I0171	li_lkc_002xj_pre	CCM4 RELE INV F	INV_FASE_2
%I0172	li_lkc_004sn_s4_pre	CCM4 NIV FOS	NIVEL_4
%I0173	li_lkc_007sn_s7_pre	CCM4 NIV FOS	NIVEL_7

Tabla 13 : Variables de Entrada CCM4



%Q0001	lo_20lkc_001ad_pre	CCM4 AUTOVIGI	AUTOVIGILANCIA
%Q0002	lo_20lkc_001po_dre_pren	CCM4 BOM	VPI1_OUT
%Q0003	lo_20lkc_002po_dre_pren	CCM4 BOM	VPI2_OUT
%Q0004	lo_20lkc_001po_va_pren	CCM4 BOMB	VTA1_OUT
%Q0005	lo_20lkc_002po_va_pren	CCM4 BOMB	VTA2_OUT
%Q0006	lo_20lkc_001po_vpi_alar	CCM4 FAL	VPI1_ALARM
%Q0007	lo_20lkc_002po_vpi_alar	CCM4 FAL	VPI2_ALARM
%Q0008	lo_20lkc_001po_vta_alar	CCM4 FAL	VTA1_ALARM
%Q0009	lo_20lkc_002po_vta_alar	CCM4 FAL	VTA2_ALARM
%Q0010	lo_20lkc_101po_u01_alar	CCM4 ALA	BARRA1_ALARM
%Q0011	lo_20lkc_102po_u01_alar	CCM4 ALA	BARRA2_ALARM

Tabla 14 : Variables de Salida CCM4

#### 4.4.2 Configuración del PLC

El control de las bombas de drenaje esta soportado sobre tres PLC:

- IHR: este PLC se encarga de recibir todas las señales de campo y pasarlas al PLC principal.
- Principal: contiene toda la programación del subsistema, procesa las señales de entrada y produce las señales de salida.
- PLC anunciador de alarmas: se encarga de la IHM y las señales lumínicas y sonoras de alarma.



AI : Analog Inputs  
 AO : Analog Outputs  
 LI : Logical (discrete) Inputs  
 LO : Logical (discrete) Outputs

Ilustración 41 : Configuración del PLC IHR del CCM4

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>94 de 103</b>

		K002AZ (SUB PLC)									
		01	02	03	04	05	06	07	08	09	10
RACK 0	CP1211	MEM324	MEM324		MEM128						ALG223
	PS	24V	24V		24V						24V
	PS	24V	24V		24V						24V

LI : Logical (discrete) Inputs  
 LO : Logical (discrete) Outputs  
 AI : Analog Inputs  
 AO : Analog Outputs

K002AZ (SUB PLC)

INPUTS / OUTPUTS LIST

Sheet 3

Ilustración 42 : Configuración del PLC Principal del CCM4<sup>35</sup>

#### 4.4.3 Esquema lógico de control

El esquema lógico en Grafcet de este subsistema es de los más extensos en la planta y debido a esto, está dividido en dos partes G3 y G5, G3 tiene toda la secuencia de las bombas de drenaje grandes y la G5 de las bombas de menos tamaño.

Lo que podemos encontrar en estas secuencias es respuestas a cada una de las tipos de alarmas de nivel. La secuencia reacciona cada vez que el nivel del pozo cambia y con esta señal busca la bomba prioritaria y la enciende o la apaga. Debido a lo extenso que es este programa se dividirá en dos archivos adjuntos [G3](#) y [G5](#).

#### 4.4.4 Diseño de la reingeniería CCM4 (Hardware)

La configuración de hardware de este subsistema requiere más señales de entrada digitales, lo que exige entonces un modulo mas de entradas pero de igual manera se utiliza las mismas referencias que los dos subsistemas anteriores.

<sup>35</sup> [30] CEGELEC COLOMBIA, *CENTRO CONTROL MOTORES 4* vol. 3, 2001.

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>95 de 103</b>

PWR 330	CPU 351	CMM 321		MDL 655	MDL 655	MDL 655		MDL 940		ALG 223
Rack:IC693CHS391										

Ilustración 43 : Propuesta de configuración CCM4

Referencia	Descripción	Total
IC693 CHS391	Base rack 10 slot	1
IC693 PWR330	Fuente de poder 24 VDC 30W Alta-Capacidad	1
IC693 CPU351	25 MHz, Entradas %I2048, %Q2048, %M4096 bits	1
IC693 CMM321	Interface Ethernet, Modbus/TCP	1
IC693 MDL655	32 entradas digitales 24 VDC	3
IC693 MDL940	16 Salida relé 2A	1
IC693 ALG223	16 entradas analogas	1

Tabla 15 : Módulos de diseño del CCM4

#### 4.4.5 Diseño de la reingeniería CCM4 (Software)

Para el diseño de la parte de software se propone al igual que en los programas anteriores dividir el programa en subprogramas:

1. MAIN\_: Contiene la secuencia en la que se debe ejecutar las subrutinas, esta subrutina se encarga de llamar las demás subrutinas.
2. ANLG\_IN: Este subprograma se encarga de guardar en registros todas las señales análogas que vienen del módulo ALG223, aquí también se escalizán las variables necesarias.
3. CLR\_VLB: Se encarga de limpiar todos los registros cuando se inicia el programa por primera vez.
4. ENCLVM: aquí se encuentran todos los enclavamientos, las condiciones para las secuencias de las bombas y conocer los estados del sistema.
5. EST\_P1: Contiene los contactos para las alarmas que se visualizan en la pantalla 1 de la IHM.

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>96 de 103</b>

6. EST\_P2: Contiene los contactos para las alarmas que se visualizan en la pantalla 2 de la IHM.
7. IHM\_IN: Todas las variables que se requieran visualizar en la IHM se pueden ver en esta subrutina.
8. IHM\_TMR: calcula un contacto intermitente que se utiliza para la señal lumínica y sirena.
9. IHMCTRL: Contiene contactos indispensables para el control de la IHM y para conocer los estados de las pantallas.
10. IHMMAIN: Se encarga de llamar las subrutinas de la IHM en orden para su correcto funcionamiento.
11. PLC\_OUT: esta subrutina contiene las bobinas de salida (%Q).
12. G3: Contiene todo el GRAPHCET de la parte de las bombas VTA , esta es la primera parte de la subrutina principal.
13. G5: Contiene todo el GRAPHCET de la partes de las bombas VPI, esta es la segunda parte de la subrutina principal.

#### **4.4.6 Pruebas funcionales al sistema**

Si se mira detalladamente el cronograma de actividades propuesto todo el proyecto se encuentra en la etapa de crear el protocolo de pruebas por este motivo no se encuentra adjunto el protocolo de pruebas del CCM4 terminado y revisado. Sin embargo, por el alto riesgo que maneja el control de este subsistema de antemano se conoce que deben ser unas pruebas muy rigurosas y la propuesta es montar un laboratorio de bombas para simularlo de forma más cercano a la realidad posible.

#### **4.4.7 Pruebas de comunicación con el SCADA de control**

Para poder realizar estas pruebas primero se debe crear la pestaña de bombas de drenaje en el nuevo SCADA. Como inicialmente este subsistema no hacia parte de la modernización en Porce II, no hay ninguna variable mapeada en el SCADA y ningún despliegue visual de ello. Esto requiere de la intervención de otra persona y por este motivo estas pruebas serán realizadas posteriormente.

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>97 de 103</b>

## **5 INCONVENIENTES EN EL DESARROLLO DE LA PRÁCTICA.**

Al iniciar las prácticas empresariales yo estaba en el semestre ocho de la Universidad, La materia que mas necesitaba para este proyecto aun no la había cursado (PLC), sin embargo con la ayuda de manuales, el equipo de mantenimiento de EPM y cursos gratis en línea de PLC, genere un espacio autodidacta con el cual fue posibles desarrollar el proyecto satisfactoriamente.

La fase de implementación, hasta la fecha que se entrega este informe final, no se pudo llevar a cabo por agentes externos y de mayor peso. La etapa de implementación no podrá ser llevada a cabo debido a las modificaciones del plan integrado de mantenimiento de la planta Porce II, pues debido a los compromisos comerciales, al pronóstico de un posible fenómeno del niño y a las solicitudes del administrador del mercado de energía, se ha modificado las intervenciones de las unidades de generación aplazándolas hasta posiblemente Junio. La implementación requiere que la máquina de generación este indisponible y pedir este permiso con la actual situación del mercado es muy improbable que lo otorguen. Sin embargo en el tiempo restante de practica (Junio, Julio) se espera poder llevar a cabo esta etapa.

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>98 de 103</b>

## 6 CONCLUSIONES

- La reingeniería al sistema de control de los sistemas auxiliares de la unidad de generación, incluyendo el centro control motores (sistema de refrigeración de la unidad) y además el sistema de drenaje de la planta de generación hidroeléctrica de Empresas Públicas de Medellín; Porce II, tendrá un aporte significativo que permitirá dar mayor confiabilidad a la planta y cumplir con la garantía de energía que estipula EPM en su declaración de calidad. Este proceso se terminara en etapas posteriores en EPM.
- La reingeniería realizada al lazo de comunicación, cambiando el antiguo protocolo embebido (/n80 y F900) por un protocolo abierto (MODBUS/TCP), otorga mayor versatilidad al momento de adquirir nuevos instrumentos de control para la planta de generación, además es un protocolo del cual se encuentra gran cantidad de información, facilitando la adaptación de esté a las necesidades de la empresa.
- La modificación al soporte en hardware de cada subsistema reduce en gran medida los puntos de falla, al reducir el número de racks (1 en vez de 3) y de módulos aproximadamente a la mitad, la posibilidad de que el subsistema falle por algún modulo del PLC se reduce considerablemente además de que reduce la necesidad de grandes cantidades de repuestos.
- La migración del software Logicmaster 90-30 a Proficy Machine Edition puso a disposición del personal un software amigable y de fácil comprensión, el control de estos subsistemas esta al conocimiento del equipo de mantenimiento ya que pueden visualizar y modificar fácilmente la secuencia, los enclavamientos y alarmas de cada subsistema.
- La reingeniería que se llevo a cabo, abrió las puertas a reproducir estos resultados en los demás subsistemas de la planta, al tomar como base la metodología creada y apoyándose sobre este documento se puede lograr integrar todos los subsistemas de la central Hidroeléctrica Porce II al nuevo SCADA de control.

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>99 de 103</b>

- Las pruebas que se realizaron a cada uno de los programas fueron satisfactorias en la medida de que cumplieron completamente con el protocolo de pruebas creado y sus dificultades fueron resueltas a partir de la experiencia de los funcionarios de la empresa y el conocimiento adquirido desde la universidad en ciencias básicas, procesos de control y lenguaje de programación.
- El proceso realizado, tanto en la recopilación de la información, como en la conversión del lenguaje ladder y la implementación del hardware y software en el PLC de la planta de generación de Porce II, apporto en mi proceso de formación como ingeniero electrónico, debido al que se pudo aplicar, aprender y retroalimentar los conocimientos adquiridos durante varios semestres, teniendo un aporte profesional y personal dentro de una empresa de tanto prestigio.

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>100</b> de <b>103</b>

## 7 EXPERIENCIA EN LA PRÁCTICA PROFESIONAL

La oportunidad de realizar mis prácticas en una empresa como Empresas Públicas de Medellín, declarada la segunda empresa más grande de Colombia con un reconocimiento global, ha aportado de forma significativa a mi vida tanto personal como profesional, permitiéndome adquirir un aprendizaje integral durante el periodo de prácticas. Además, desde el área de selección de talento de humano se contó con el apoyo y evaluación constante del proceso de práctica.

En el proceso realizado, tanto en la recopilación de la información, como en la conversión del lenguaje ladder y el diseño del hardware y software en el PLC de la planta de generación de Porce II, apporto a mi proceso de formación como ingeniero electrónico, debido a que se pude aplicar, aprender y retroalimentar los conocimientos adquiridos durante varios semestres, brindando un aporte a una empresa de tan alto prestigio.

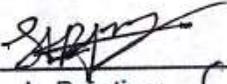
Teniendo en cuenta, que no solo desde el proyecto hubo grandes aportes, la experiencia también estuvo orientada desde la participación en otros proyectos como el programa de calidad de energía, los mantenimientos generales a las unidades de generación (overhaul), el apoyo a la labor técnica de instrumentación y el diseño del lazo de comunicación de Porce II. En todas estas actividades pude aprender el perfil que ocupa un ingeniero, sus responsabilidades, lo valioso que es el conocimiento técnico y la adquisición de esa experiencia indispensable administrativa.

Desde el área de selección de talento evaluaban cinco competencias corporativas: Orientación al logro, disposición al cambio, orientación al servicio, comunicación efectiva y trabajo en equipo. Durante todo el proceso de práctica se proporcionaron los espacios para fortalecer estas competencias para luego ser evaluadas trimestralmente. En esta evaluación se vio el crecimiento constante, pero más que la valoración que me dieron, en mí ser notó ese crecimiento. Desde el inicio hice parte de la cuadrilla de electrónicos y de allí extraje la forma de fortalecer el trabajo en equipo y la comunicación efectiva, la reingeniería a efectuar en mi proyecto fue mi sustento principal para trabajar la orientación al logro y mi disposición al cambio, a aprender a enfrentar inconvenientes, resolver problemas, proponer y escuchar sugerencias de las personas con más experiencia en el área. Finalmente al formar parte de los ingenieros del área pude aportar a muchos

	INFORME FINAL DE PRACTICA	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>101</b> de <b>103</b>

procesos diferentes fueran mecánicos, informáticos, eléctricos, de idiomas o electrónicos y de esta manera tuve la posibilidad de pulir mi competencia de orientación al servicio.

La experiencia de realizar mis prácticas en lejanía, es decir en Guadalupe Antioquia, aproximado 120 km de la ciudad de Medellín, fue de lo más a portante a mi persona. Personalmente siempre he sido una persona muy dependiente de mi familia pero el hecho de tener que vivir en el campamento los cedros de EPM me obligo a adquirir independendencia, a adaptarme a diferentes personas con quien compartiría a diario diferentes espacios y de uno u otra forma desarrollar un ambiente familiar con personas que apenas estoy conociendo. Me llevo un aprendizaje valioso de cada una de la persona que directo o indirectamente participaron en este proceso.

Firma del estudiante:   
 Firma del jefe en el Centro de Practica: Carlos D Montoya

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>102</b> de <b>103</b>

## 8 BIBLIOGRAFIA

- [1] colaboradores de Wikipedia, "GRAF CET," in *Wikipedia, La enciclopedia libre*, L. e. I. Wikipedia, Ed., ed.
- [2] E. Montoya(2007). recuperado el día (2013, 15 de Octubre). *EPM.COM.CO*. desde: <https://www.epm.com.co/site/>
- [3] EPM, "Contrato de aprendiz PDF," *Obligaciones aprendiz*, 2013.
- [4] A. M. Ospina, Re: Preguntas practicante Guadalupe 19 de Septiembre del 2013, [Consultado: 23 de Septiembre del 2013]. Disponible en correo:Sergio.Ruiz@epm.com.co
- [5] A. Moreno,(28 de Agosto del 2007). PRESENTACION PERSONAL NUEVO, [Presentación de Powerpoint]
- [6] O. Arango,(13 de Agosto del 2012). Integrantes Equipo Electrónico, [Presentación PowerPoint]
- [7] F. Martín(2009). recuperado el día (2013, 31 de Octubre). *Metodologia*. desde: [http://www.edukando.es/mediatecaweb/data/zip/940/page\\_12.htm](http://www.edukando.es/mediatecaweb/data/zip/940/page_12.htm)
- [8] M. Gross(2010). recuperado el día (2013, 31 de Octubre). *manuelgross.blingoo.com*. desde: <http://manuelgross.blingoo.com/conozca-3-tipos-de-investigacion-descriptica-explorativa-y-explicativa>
- [9] G. Gralneg(2004). recuperado el día (2013, 31 de Octubre). desde: [http://catarina.udlap.mx/u\\_dl\\_a/tales/documentos/lco/talavera\\_i\\_a/capitulo3.pdf](http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lco/talavera_i_a/capitulo3.pdf)
- [10] Comisión de Regulación de Energía y Gas(2006). recuperado el día (2014, 22 de Abril). *Cargo por Confiabilidad*. desde: <http://www.xm.com.co/Promocin%20Primera%20Subasta%20de%20Energia%20Firme/abc2.pdf>
- [11] Comisión de Regulación de Energía y Gas(2008). recuperado el día. *Obligacion de energia firme*. desde: [http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/obligacion\\_energia\\_firme/obligacion\\_energia\\_firme.htm](http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/obligacion_energia_firme/obligacion_energia_firme.htm)
- [12] Comisión de Regulación de Energía y Gas(2008). recuperado el día (2014, 23 de Abril). *ENFICC Plantas Hidráulicas*. desde: [http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/enficc/plantas\\_hidraulicas.htm](http://www.creg.gov.co/cxc/secciones/enficc/plantas_hidraulicas.htm)
- [13] J. A. H. Quintero, RE: Información para proyecto Porce II 25 de Abril del 2014, [Consultado: 28 de Abril del 2014]. Disponible en correo:Sergio.Ruiz@epm.com.co
- [14] Endesa(2012). recuperado el día (2014, 4 de Abril). *Operación*. desde: <http://www.endesa.com/es/conoceendesa/lineasnegocio/Electricidad/Generacion>
- [15] L. A. C. Pérez(2008). recuperado el día (2014, 25 de Abril). *¿Que es el mantenimiento?* desde: [http://www.unalmed.edu.co/tmp/curso\\_concurso/area3/QUE\\_ES\\_EL\\_MANTENIMIENTO\\_MECANICO.pdf](http://www.unalmed.edu.co/tmp/curso_concurso/area3/QUE_ES_EL_MANTENIMIENTO_MECANICO.pdf)
- [16] K. Bonsor(2001). recuperado el día (2014, 25 de Abril). *How Hydropower Plants work*. desde: <http://science.howstuffworks.com/environmental/energy/hydropower-plant1.htm>
- [17] n. d., "turbina," in *Diccionario Enciclopédico Vox 1*, ed, 2009.

	<b>INFORME FINAL DE PRACTICA</b>	Código: <b>F-PI-038</b>
		Versión: <b>01</b>
		Página <b>103</b> de <b>103</b>

- [18] H. Perlman(2014). recuperado el día (2014, 25 de Abril). *Hydroelectric power: How it works*. desde: <https://water.usgs.gov/edu/hyhowworks.html>
- [19] C. D. Montoya,(24 de Julio del 2008). Presentacion Porce II, [Shockwave Flash]
- [20] Dirección de Informatica Corporativa,(16 de Septiembre del 2013). secuencia de arranque, [Hoja de cálculo de Microsoft Office Excel]
- [21] Engineering toolbox(2014). recuperado el día (2014, 5 de Abril). *Convective Heat Transfer*. desde: [http://www.engineeringtoolbox.com/convective-heat-transfer-d\\_430.html](http://www.engineeringtoolbox.com/convective-heat-transfer-d_430.html)
- [22] S. A. Ruiz,(10 de Septiembre del 2013). VariablesCCM1, [Hoja de cálculo de Microsoft Office Excel]
- [23] CEGELEC COLOMBIA, *CONTROLADOR CENTRO CONTROL MOTORES 1-2-3* vol. 3, 2001.
- [24] Microsoft(2013). recuperado el día (2013, 15 de Noviembre). *Definición de las siete capas del modelo OSI y explicación de las funciones*. desde: <http://www.support.microsoft.com/kb/103884/es>
- [25] J. c. Fero(2013). recuperado el día (2013, 18 de Noviembre). *Modbus TCP*. desde: <http://uhu.es/antonio.barragan/content/modbus-tcp>
- [26] GE Fanuc Automation,(Agosto del 2002). Series 90-30 PLC Installation and Hardware Manual GFK-0356Q, IC693 CMM321Ethernet Interface Module [Portable document format .PDF]
- [27] G. F. Automation,(Julio del 2000). Series 90-30 PLC I/O Specifications, Chapter 6 Discrete Input Modules [Portable Format Document .pdf]
- [28] Equipo de Operación Porce II,(Febrero del 2013). Servicios auxiliares Porce II, [Hoja de cálculo de Microsoft Office Excel]
- [29] CEGELEC COLOMBIA, *SERVICIOS AUXILIARES DE MAQUINA PORCE II* vol. 4, 2001.
- [30] CEGELEC COLOMBIA, *CENTRO CONTROL MOTORES 4* vol. 3, 2001.