



**UNIVERSIDAD
DE ANTIOQUIA**

**Conceptos de Seguridad Operacional aplicados a centros de
control de energía.**

Sergio Andrés Balcázar Restrepo

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica
Medellín, Colombia
2019**



Conceptos de Seguridad Operacional aplicados a centros de control de energía.

Sergio Andrés Balcázar Restrepo

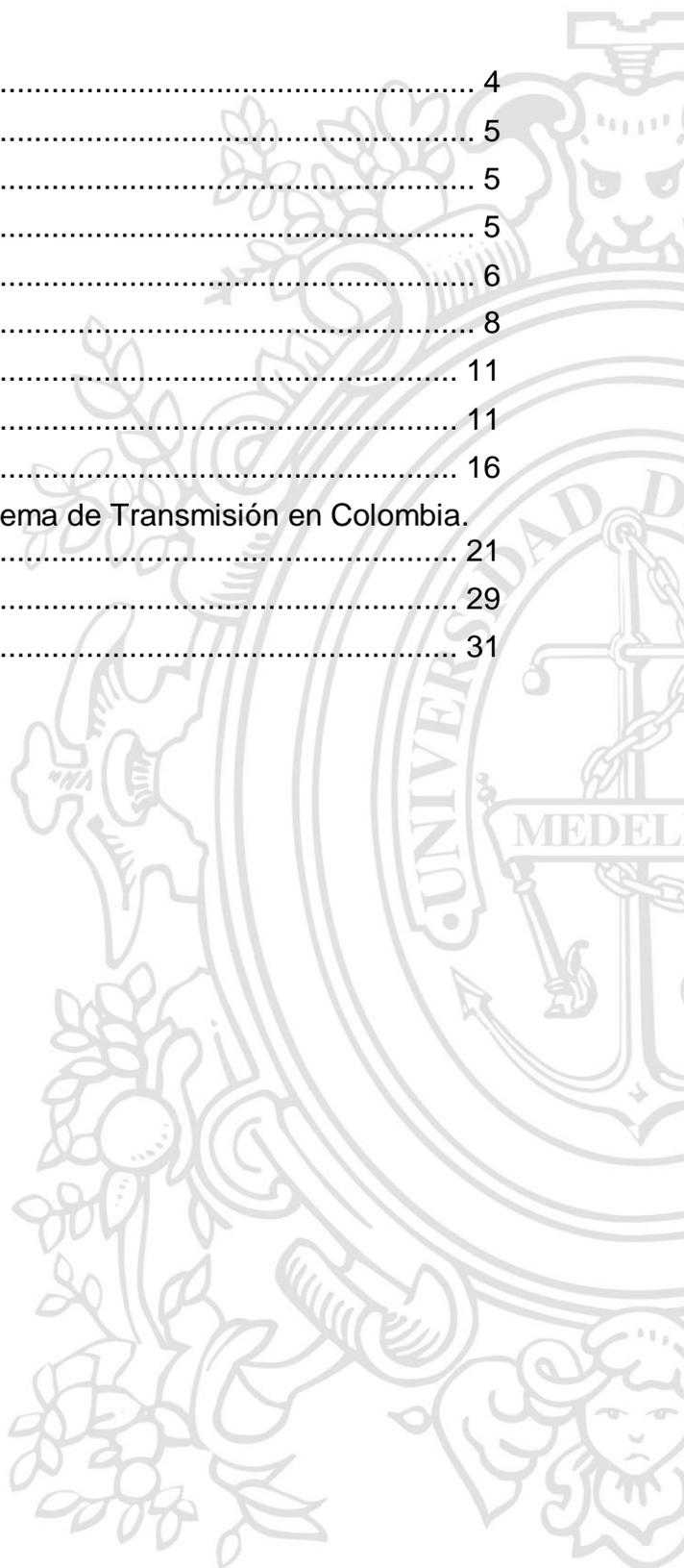
Tesis o trabajo de investigación presentada(o) como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero electricista

Asesores (a):
Fernando Villada Duque, Ingeniero electricista
Bertha Quintero Álzate, Psicóloga.

**Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Eléctrica.
Medellín, Colombia
2019**

Contenido

1. Introducción	4
2. Objetivos	5
2.1 Objetivo general	5
2.2 Objetivos específicos.....	5
3. Marco teórico	6
4. Metodología	8
5. Resultados y análisis	11
5.1 Aspectos de disposición de sala.....	11
5.2 Principios gráficos apropiados.....	16
5.3 Aspectos regulatorios para el SDL y Sistema de Transmisión en Colombia.	21
6. Conclusiones	29
7. Referencias bibliográficas	31



Conceptos de Seguridad Operacional aplicada a centros de control de energía.

1. Introducción

La seguridad operacional (SMS por sus siglas en inglés) es un estado en el cual la posibilidad de accidentes que afecten a las personas, equipos o instalaciones de una compañía es reducida a un nivel aceptable; que se alcanza mediante un análisis continuo y gestión de riesgos y peligros. Este concepto proviene del sector aeronáutico, donde entidades como la OACI (Organización de Aviación Civil Internacional) se encarga de formular normas y buenas prácticas que promuevan operaciones más seguras, eficientes, sostenibles económicamente y responsables con el medio ambiente [1].

Entre los años 1900 y 1960, los estudios y análisis de riesgos se enfocaron en identificar deficiencias en factores técnicos y fallas tecnológicas. Fruto de estos esfuerzos y de los avances tecnológicos la frecuencia de eventos indeseados disminuyó considerablemente, por lo que el siguiente paso fue involucrar los factores humanos, ya que se encontró que los errores de las personas jugaban un papel importante en la ocurrencia de incidentes. A partir de los años 90 se comenzó a considerar la importancia que tiene el entorno en el que se desenvuelven los seres humanos en su comportamiento, por lo que se pasó a tener una mirada más global y sistémica y se comenzó a evaluar la influencia de las políticas organizacionales y el ambiente de trabajo en el rendimiento de las personas [1]. Se introducen entonces conceptos tales como ergonomía cognitiva; la cual es una rama de los factores humanos, es la disciplina científica que estudia la interacción de los seres humanos con otras personas y las herramientas, sistemas y equipos que usan para desarrollar su trabajo (hardware, software, manuales de operación, entre otros) [2]. Todo este proceso de mejora continua a lo largo de la historia ha convertido a la aviación en un medio de transporte cada vez más seguro y confiable y en un referente en materia de seguridad; lo que ha llevado a empresas de otras industrias que conviven constantemente con los riesgos a dirigir su mirada a las buenas prácticas operacionales para adaptarlas a sus procesos.

En el caso específico del sector energético, incidentes como el “apagón” del año 2007 en Colombia o el de la central Hidroeléctrica en Guatapé en 2015, han llevado a algunas empresas a tomar medidas para evitar su ocurrencia y disminuir periodicidad de este tipo de eventos donde el factor contribuyente común es el error humano.

Se presenta entonces en este informe una propuesta para la implementación de buenas prácticas derivadas del sistema de seguridad operacional, con énfasis en los factores humanos, basada en los estándares de la OACI para centros de control de empresas de transmisión y distribución de energía eléctrica en Colombia.

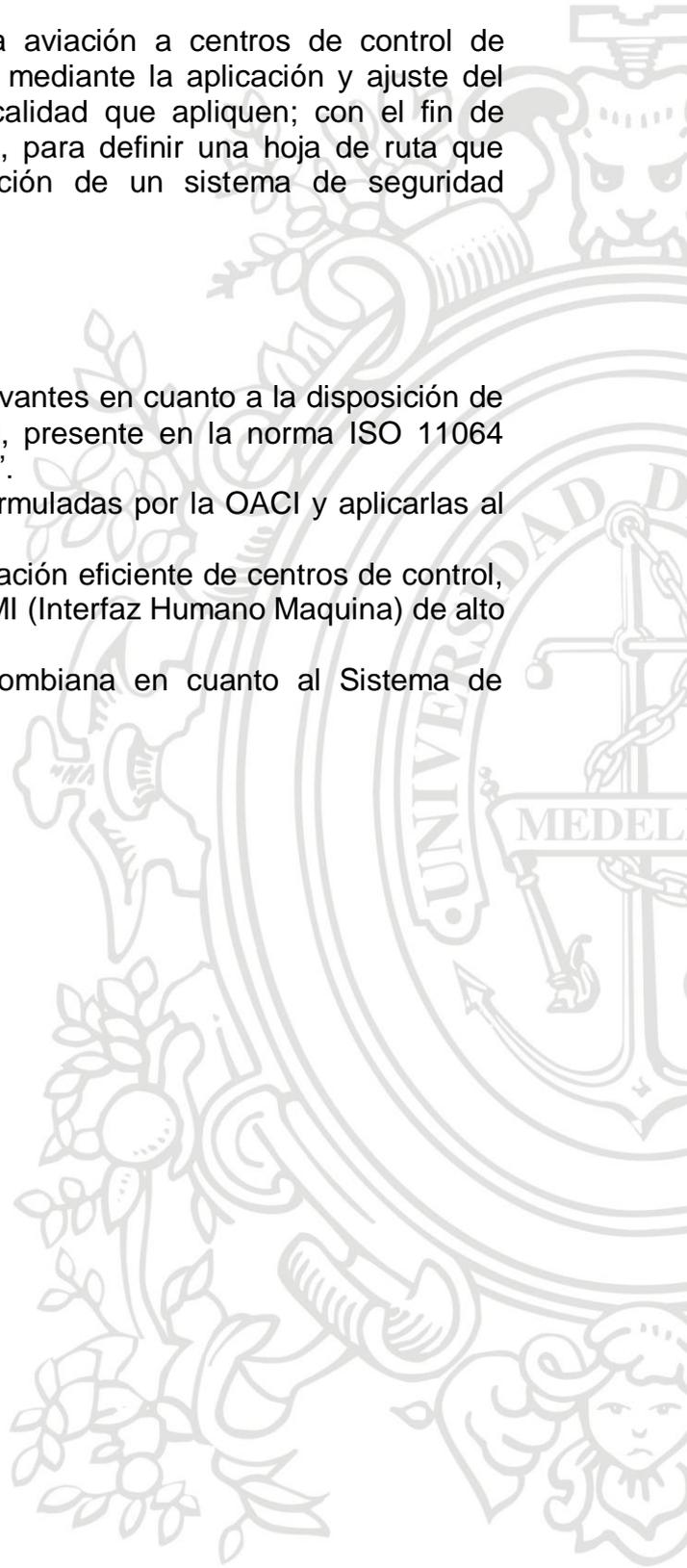
2. Objetivos

2.1 Objetivo general

Adaptar las normas y buenas prácticas de la aviación a centros de control de transmisión y distribución de energía eléctrica, mediante la aplicación y ajuste del estándar OACI y normas internacionales de calidad que apliquen; con el fin de identificar oportunidades de mejora y falencias, para definir una hoja de ruta que permita solventarlas mediante la implementación de un sistema de seguridad operacional.

2.2 Objetivos específicos

- Traducir y presentar los aspectos más relevantes en cuanto a la disposición de elementos y equipos en sala de control, presente en la norma ISO 11064 “diseño ergonómico de centros de control”.
- Tomar como base las buenas prácticas formuladas por la OACI y aplicarlas al sector de la energía eléctrica.
- Reseñar las buenas prácticas para la operación eficiente de centros de control, tomando como base las tendencias en HMI (Interfaz Humano Maquina) de alto rendimiento.
- Revisar la regulación CREG vigente colombiana en cuanto al Sistema de Distribución Local de energía eléctrica.



3. Marco teórico

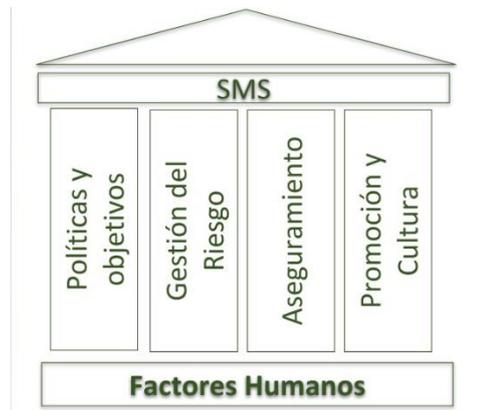


Figura 1: Pilares standard OACI (adaptación de [1], realizada por BQA consultorías).

La OACI es una agencia especializada de las naciones unidas, conformada en el año 1944, que se encarga de formular las normas y estándares que rigen la aviación civil a nivel internacional, con el fin de propiciar operaciones seguras, eficientes, económicamente sostenibles y responsables con el medio ambiente [3]. En la figura 1 se pueden observar los cuatro grupos o pilares en los que se divide las buenas prácticas. En Políticas y objetivos se definen los principios, procesos y métodos en la organización para lograr los objetivos deseados. La gestión del riesgo es el resultado de la evaluación de cada una de las consecuencias de un peligro. En aseguramiento se busca blindar el desempeño operacional a través de la detección de cambios o desviaciones que puedan generar riesgos de seguridad operacional emergentes o la degradación de los controles de riesgos existentes. El cuarto pilar es la promoción y cultura, donde se busca promover una cultura de la seguridad operacional a través de una estrategia de comunicación, educación y entrenamiento que oriente a la organización a una gestión proactiva del riesgo [1]. El quinto elemento que aparece en la base son los factores humanos, que es la disciplina que busca optimizar la adaptación entre las personas y los sistemas en los que estas trabajan, con el fin de mejorar la seguridad y el desempeño. En las empresas Colombianas existe un sistema de gestión de seguridad y salud en el trabajo, desde el cual se anticipa, reconoce, evalúa y controla los riesgos que pueden afectar la seguridad y salud en los espacios laborales [4]. Dicho de otra manera, desde el SST se busca gestionar los riesgos en el trabajo de tal manera que los equipos y herramientas que usan las personas no les produzcan afectaciones o lesiones. Por otro lado, desde la seguridad operacional se tiene una mirada más integral; pues se toma los análisis de riesgos levantados desde SST pero adicionalmente se analiza la afectación que puede tener el factor humano sobre los equipos, herramientas y sobre los procesos que se desarrollan en la empresa. Lo que se busca es reducir la probabilidad de afectación al proceso que provenga de un error humano.

La implementación de sistemas de seguridad operacional no deben sabotear los procesos ni convertirse en un obstáculo para la producción, al contrario, se debe conservar un equilibrio entre ambos conceptos como se muestra en la figura 2.

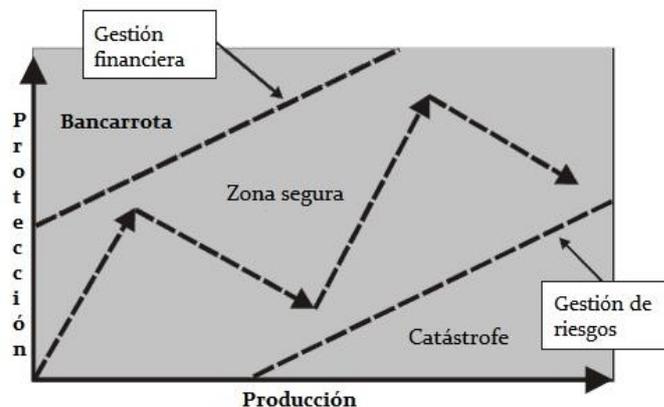


Figura 2: Equilibrio entre seguridad y producción en una compañía [1].

No se deben tener procesos tan inseguros que lleven a una catástrofe, pero tampoco se deben llevar los controles de seguridad al punto de conducir a la empresa a la bancarrota.

Otra herramienta importante para la adopción de medidas que mejoren la seguridad de los procesos de las empresas son las normas de calidad internacional, más específicamente la norma ISO 11064 referente al diseño ergonómico de centros de control. La ergonomía es un elemento perteneciente a los factores humanos que evalúa la correcta disposición de los espacios de trabajo para los operadores en aspectos como: temperatura, iluminación, comodidad, rutas de acceso, ergonomía física, ángulos y distancia de visión, despliegues apropiados en las pantallas, manejo adecuado de alarmas y en general, aspectos relacionados con las interfaces humano maquina (HMI por sus siglas en inglés) como la elección de la gama de colores, el color de fondo de los despliegues, la implementación de gráficos de tendencias de los parámetros más relevantes, la representación redundante de alarmas y la implementación de graficas en 2D sin detalles excesivos y distractores [5][6].

La interfaz humano-maquina (HMI), es el conjunto de pantallas, gráficas y dispositivos de control utilizados por el operador para monitorear e interactuar con el sistema de control (generalmente SCADA). El diseño de la HMI juega un papel fundamental en la determinación de la capacidad del operador para gestionar de manera efectiva la operación, en particular para detectar y resolver rápidamente una situación anormal, que es su tarea principal. Por varias razones, los diseños y capacidades actuales de la mayoría de los HMI están lejos de ser óptimos para ejecutar las operaciones complejas que se desarrollan en la industria.

Todos estos factores deben considerarse antes de implementar un centro de control de transmisión y distribución de energía eléctrica; con el objetivo principal de elevar

la conciencia situacional de los operadores y facilitar su proceso de toma de decisiones.

4. Metodología

Una vez planteado y presentado el marco teórico que contextualiza el presente trabajo, se presentan los pasos necesarios para cumplir con los objetivos planteados.

El primer paso fue definir los elementos necesarios para desarrollar el proyecto. Las fuentes principales de información fueron la norma internacional ISO-11064 “diseño ergonómico de centros de control”, el libro referencia para el diseño de interfaces humano máquina de alto rendimiento: “The high performance HMI handbook”, el manual de la IATA, IOSA versión 12 y el Documento 9859 versión 4 de la OACI.

Como herramienta de apoyo se usó la aplicación Mendeley para realizar el almacenamiento, clasificación, y referenciación de la información; tanto de material bibliográfico como de investigación realizada en páginas web.

La comunicación permanente con los asesores interno y externo de práctica fue fundamental para la consecución de los objetivos; razón por la cual se agendaron reuniones a lo largo del semestre con el fin de discutir avances, plantear dudas y discutir diferentes alternativas para solventarlas. Además la realización de reuniones internas con los consultores de la empresa y con el cliente tuvo un aporte significativo en el proceso de aprendizaje y entendimiento de conceptos claves que son nuevos para el campo de la ingeniería eléctrica; tales como factores humanos o seguridad operacional.

En cuanto a procedimientos propios de la empresa, la implementación de un sistema de seguridad operacional se realizó mediante un cronograma de actividades denominado línea base, el cual se divide en siete fases. En cada una de ellas se detallan las tareas realizadas durante el semestre de práctica:

- 1. Planificación.** Donde se definieron los instrumentos e insumos a utilizar. Entre estos instrumentos se utilizaron listas de chequeo, encuestas, cuestionarios, formatos para visitas de campo y entrevistas con el cliente, materiales didácticos para talleres con personal del cliente. Las tareas en esta fase consistieron en actualizar las buenas prácticas contenidas en la lista de chequeo de BQA, tomando como referencia la versión 12 del Manual IOSA y el Manual 9859 versión 4 de la OACI. Esta lista de chequeo se utilizó en fases posteriores del proyecto tales como, el análisis documental, la autoevaluación y las visitas de campo.
- 2. Análisis documental.** Se realizó un estudio de los documentos aportados por el cliente en cuanto a estructura interna y procesos de la empresa. En esta etapa se evaluó las prácticas que tiene la empresa documentadas a la luz del estándar de la OACI. Entre otros, se analizaron los manuales de gestión de calidad, documentos asociados a

la identificación y gestión de riesgos, políticas y lineamientos propios de la organización y manuales de operación. Las tareas en esta fase consistían en recibir, clasificar, distribuir entre los consultores la documentación aportada por el cliente y llevar la trazabilidad del envío de la misma. Adicionalmente, se realizó un estudio de la regulación vigente aplicable al proceso de distribución de energía eléctrica en Colombia, con el fin de evaluar el cumplimiento normativo y regulatorio por parte de la empresa. El contenido de algunas regulaciones de la CREG se presentan en el capítulo de análisis y resultados.

3. **Entrevistas.** Se realizaron entrevistas al personal para hacer un diagnóstico de la percepción de este en temas referentes a seguridad operacional. De cada entrevista realizada por los consultores se realizaba un informe, el cual era remitido al practicante, el cual se encargaba de consolidarlo para la posterior revisión y aprobación por parte de la coordinadora del proyecto en BQA.
4. **Percepción del riesgo.** Se llevaron a cabo talleres de concientización al cliente sobre amenazas y peligros presentes en las operaciones y un análisis de la vulnerabilidad individual y colectiva ante dichas amenazas. Los resultados de estos talleres fueron tabulados y clasificados para agregar graficas de tendencias al informe final de la línea base.
5. **Autoevaluación.** El personal del cliente diligenció encuestas acerca de la seguridad operacional en la empresa. En cada taller el personal “calificaba” según su percepción la lista de chequeo con las buenas prácticas de seguridad operacional de BQA. La calificación consistía en responder si la práctica la tenían documentada e implementada, parcialmente documentada e implementada o no documentada ni implementada. Las tareas en estos talleres consistieron en tabular y clasificar los resultados de la calificación de la lista de chequeo, para adjuntar las gráficas de tendencias en el informe final de la línea base.
6. **Visitas de campo.** El equipo consultor realizó visitas de campo para verificar si las practicas documentadas estaban también implementadas y también observar en campo aquellas prácticas que sin estar documentadas se tienen implementadas en la operación. Se incluyó una visita al centro de control de Generación, Transmisión y Distribución de energía eléctrica de la compañía y a subestaciones de Distribución en el valle de Aburra. Las tareas en esta fase, consistieron en asistir a algunas visitas de campo para identificar falencias en términos de seguridad operacional, para luego consignarlas en los informes. Al final se realizó una consolidación del informe final del capítulo de visitas de campo, tomando como insumo los hallazgos realizados por el equipo consultor.
7. **Conclusiones.** Tomando como insumo los resultados de las fases anteriores del proyecto, se procedió a consolidar el informe con los hallazgos más significativos y las respectivas conclusiones. Una vez consolidados los resultados, se realizaron reuniones con el cliente para socializar los resultados y definir los pasos a seguir para la implementación del modelo de seguridad operacional en la organización. Uno de los capítulos del informe final consistió en una guía de despliegues operativos de SCADA, documento que contiene las buenas

prácticas asociadas a la implementación de HMI de alto rendimiento y su implementación en centros de control de energía.

Adicionalmente se realizaron actividades por fuera del proyecto línea base. La primera de ellas consistió en reuniones internas de gestión del conocimiento, con el fin de compartir con el equipo de consultores los temas investigados y trabajados durante la práctica. El tema concreto expuesto en las reuniones fue las buenas prácticas relacionadas con los HMI de alto rendimiento y su relación con la conciencia situacional y la ergonomía cognitiva. También se desarrolló una lista de chequeo para evaluar la implementación de buenas prácticas en centros de control de energía, a la luz de los factores humanos (ISO 11064 [7], “The high performance HMI handbook” [8] y la metodología CRIOP “Crisis Intervention and Operability Analysis” [9]). La evaluación consistió de socialización con el personal tanto directivo como de centro de control sobre la filosofía de HMI de alto rendimiento y los factores humanos; posteriormente se llevaron a cabo sesiones en las cuales el personal del centro de control diligenció la lista de chequeo para conocer su punto de vista en cuanto a las prácticas a evaluar; se consolidaron los resultados y se presentó un informe con los hallazgos. Posteriormente se realizaron visitas al centro de control para diligenciar los ítems de la lista de chequeo con el equipo consultor. Nuevamente se consolidaron los resultados y se presentó un informe con los comentarios, recomendaciones y pasos a seguir para formular un plan de trabajo que permita aplicar acciones de mejora encaminadas a elevar la conciencia situacional de los operadores y mejorar sus condiciones de trabajo a nivel de ergonomía física y cognitiva.

Por último, se participó en la implementación de un sistema de gestión de riesgos asociados a la fatiga para una empresa de aviación. En este proyecto se realizaron investigaciones de las regulaciones aéreas de países como Estados Unidos (FAA)¹, Australia (CASA)² y Europa (EASA)³, en temas referentes a gestión de turnos, estrategias para manejar la fatiga y reducir los efectos que esta tienen en el rendimiento de las personas, tiempos de servicio y disponibilidad, entre otros. La información obtenida se clasificó y se realizó un comparativo con la regulación de la Aeronáutica Civil de Colombia en el informe para el cliente. El informe presentado sirve como insumo a la empresa, ya que las estrategias derivadas de los sistemas de gestión de riesgos asociados a la fatiga del sector aeronáutico se están comenzando a implementar en los clientes de BQA del sector energía, específicamente en temas relacionados con salas de descanso en los centros de control, la gestión de turnos, alimentación en los turnos de la noche, realización de pausas activas, consumo de café y recuperaciones controladas (siestas entre 15 y 20 minutos), entre otros. Por último, se realizaron sesiones de referenciamiento entre el cliente de BQA y empresas

¹ Federal Aviation Administration (Administración Federal de Aviación)

² Civil Aviation Safety Authority (Autoridad de Seguridad Aérea Civil)

³ European Union Aviation Safety Agency (Agencia de Seguridad de Aviación de la Unión Europea)

del sector aeronáutico; esto con el fin de que ellos observaran en campo la implementación de las buenas prácticas de seguridad operacional propuestas por BQA.

5. Resultados y análisis

Como se mencionó en el capítulo 4 (Metodología), uno de los entregables del proyecto línea base fue una guía de despliegues, documento que contiene buenas prácticas para centros de control. Estas prácticas están enfocadas principalmente en dos frentes: disposición de la sala y los despliegues operativos. La disposición de la sala hace referencia a las prácticas que se deben implementar en un centro de control de energía desde el punto de vista de la ergonomía física, es decir contiene especificaciones de temperatura, iluminación, sillas, mesas y equipos utilizados para garantizar la comodidad de los operadores que desarrollan sus actividades en la sala. Para este conjunto de prácticas se tomó como referencia el estándar internacional ISO 11064. Aspectos relevantes de esta norma se presentan a continuación.

5.1 Aspectos de disposición de sala

Como condición previa para el diseño de una de sala de control, se deben realizar las siguientes actividades:

1. especificación de las funciones del sistema (la función de la planta construida);
2. asignación de funciones a operadores humanos o equipos e instrumentos;
3. definición global de los puestos de trabajo del personal operativo (es decir, rotación de puestos de trabajo, nivel de capacitación).

Estos tres pasos proporcionan la siguiente información como punto de partida para el diseño de la sala de control:

- una lista de funciones del sistema;
- las tareas de trabajo, sus relaciones, longitud, frecuencia y carga de trabajo;
- el trabajo de cada miembro del personal operativo, agrupando todas las tareas asignadas a una persona;
- Una descripción preliminar del equipo que se instalará en la sala de control

Para determinar una ubicación adecuada de la sala de control en un sitio, el usuario debe considerar, entre otras reglas, los siguientes aspectos ergonómicos interactivos:

- requisitos de visibilidad; en otras palabras, si es importante que un proceso o sitio / área sea visible para operadores particulares, esa área de trabajo debe ubicarse de manera tal que la inspección visual no esté obstruida;

- distancias entre la sala de control, unidades de proceso, salas de control locales y estaciones de trabajo locales;
- Control de accesibilidad de la sala y salidas de emergencia.
- propuestas de diseño de organización del trabajo y del trabajo, incluidos los requisitos relativos a la comunicación y las interacciones interpersonales;
- interacción de la tarea del usuario con el equipo;
- consideración del movimiento de operadores, otro personal y visitantes dentro de la sala de control;
- Consideración de espacio adecuado para actividades de servicio y mantenimiento.

5.1.1 Aspectos ambientales para tener en cuenta:

- luz adecuada y ventanas;
- control adecuado de la temperatura ambiente;
- Protección adecuada contra o evitando altos niveles de ruido;
- Protección adecuada contra o evitación de corrientes de aire, viento, polvo y tóxicos;
- Protección adecuada contra o evitando ambientes vibrantes;
- En el caso de campos electromagnéticos alternos de equipos externos (por ejemplo, radares, separadores electromagnéticos), los lugares de trabajo deben ubicarse de manera tal que minimicen su influencia, ya que los efectos en la salud humana aún no se comprenden suficientemente.

5.1.2 Aspectos técnicos para tener en cuenta:

- construcción civil de un edificio;
- relaciones entre unidades de proceso (procesos que interactúan), áreas a proteger y así sucesivamente;
- canalización de tuberías, cables y conductos;
- alojamiento para futuras ampliaciones.

5.1.3 Otros aspectos para considerar:

- algunos aspectos de seguridad de la sala de control, por ejemplo, edificios a prueba de explosiones o no, peligros tóxicos, si la sala de control se va a usar como refugio, etc.
- seguridad; acceso al público, controles especiales de seguridad y puertas;
- relaciones públicas (esto también se refiere al acceso al público);
- controlar la visibilidad de la sala por razones de seguridad o relaciones públicas;
- arquitectura; El edificio debe encajar en el entorno general.

Se realizará una descripción general de los requisitos de la zona de tareas para la sala de control.

La especificación debe incluir los siguientes factores:

- número de usuarios por habitación (incluida la variabilidad en los números);
- tamaños estimados de estaciones de trabajo totalmente equipadas por sala y sus requisitos de espacio estimados;
- requisitos para la entrega durante los cambios de turno y la sesión informativa del equipo;
- ubicación de las fuentes de ruido, como impresoras, teléfonos, señales de alarma y requisitos asociados;
- Permisos de espacio para futuras modificaciones y ampliaciones.

Un enfoque útil es especificar una zona de tarea para cada tarea de trabajo. Estas zonas de tareas deben asignarse a las estaciones de trabajo de acuerdo con uno o varios de los siguientes principios:

- ciertas zonas de tareas se pueden organizar en una habitación. Por ejemplo, todas las zonas de tareas de control y supervisión (es decir, los escritorios del operador) y un área de descanso pueden estar en una habitación;
- las zonas de tareas pueden ser fusionadas. Por ejemplo: las zonas de tareas para las tareas de control y supervisión se pueden combinar con la zona de tareas para una tarea de administración (es decir, ambas tareas las realiza la misma persona en una estación de trabajo);
- una zona de tareas puede estar en una sala separada (excluyendo otras tareas).

El diseño funcional de la sala de control debe realizarse en base a la descripción general de las zonas de tareas y los requisitos de cada una de estas zonas.

Aspectos importantes para considerar son:

- tarea que requiere enlaces entre zonas de tarea;
- acceso a zonas de tareas;
- restricciones ambientales (por ejemplo: ventanas en relación con pantallas de ordenador);
- Principios arquitectónicos para el diseño general del edificio: forma, nivel (es) del piso, columnas o estructuras de acero, pasos de tránsito y servicio;
- Equipamiento de viviendas y accesos de mantenimiento.

El puesto de trabajo de los operadores de centro de control se conoce como consola; en ella tienen a su disposición las pantallas que les brindan la información del proceso, elementos de control y comunicación, computador, etc.

Para la disposición de las estaciones de control se debe tener en cuenta:

- Enlaces operacionales entre operadores, como comunicación oral o visual deben ser documentadas, utilizando tablas de asociación para de esta manera tener herramientas para decidir los arreglos de los puestos de trabajo más óptimos. En estas tablas se consignan los medios que usan los operadores para comunicarse.
- Cuando las salas de control de una empresa se encuentran en diferentes edificios o incluso ciudades, la disposición de los puestos de trabajo y el diseño general debe tener características iguales, con el fin de facilitar la transferencia de personal entre centros de control (minimizando errores y capacitaciones para el personal).
- La disposición de las salas de control deben considerar situaciones de operación normal y anormal de los sistemas. Por esto debe permitir medios de comunicación no electrónicos.
- Si los sistemas de ventilación, iluminación y las ventanas ya están instalados en la sala, se debe considerar el posicionamiento de los puestos de control con el fin de evitar corrientes de aire, deslumbramiento y reflejos en las pantallas.
- El agrupamiento de operadores debe permitir el contacto social dentro de la sala de control para que puedan darse conversaciones informales (aquellas que no tienen nada que ver con el funcionamiento de la sala de control) entre individuos sin comprometer la eficiencia del operador. En salas de control más grandes, se debe tener especial cuidado de que dichos enlaces informales puedan mantenerse cuando los niveles de personal se reducen durante períodos más tranquilos.
- Los diseños de las estaciones de trabajo deben proporcionar un entorno de trabajo que permita llevar a cabo las operaciones de manera fluida, tanto en situaciones de máximo y mínimo personal en sala.
- Los diseños de las estaciones de control deben permitir el almacenamiento y la visualización de toda la documentación de referencia necesaria que los operadores de la sala de control necesitan para acceder como parte de sus funciones, así como los elementos que pueden ser necesarios en emergencias.
- La disposición de los puestos de trabajo debe respetar el espacio íntimo de cada operador.
- Si bien el trabajo cercano ocasional puede ser aceptable, las posiciones de trabajo adoptadas por períodos prolongados deben evitar que los operadores de la sala de control tengan que entrometerse dentro de las zonas íntimas de cada uno.
- El espacio entre los operadores de la sala de control debe tener en cuenta el equipo compartido, donde se deben aplicar las zonas comunes de alcance o los posibles problemas de interferencia debidos al ruido.
- Para el dimensionamiento inicial de los espacios en la sala de control se deben considerar aspectos como, el tamaño de los equipos, pantallas, mesas, escritorios, sillas, sillas de ruedas, etc. Todas estas consideraciones deben ser revisadas antes de la construcción de la sala.

- Se debe considerar el espacio que ocupan los equipos que se usan en las sesiones de capacitación y entrenamiento de los operadores.
- Se debe dejar espacio para la realización de labores de mantenimiento y para el cambio de equipos.
- La disposición general de las estaciones de trabajo debe ser tal que se inhiba el flujo desde las áreas de circulación general. Sin embargo, no se recomienda el uso de barreras físicas reales para hacer esto.
- Las estaciones de trabajo deben colocarse de manera tal que se minimicen las vistas de entradas y salidas, para reducir la distracción visual, desde la posición normal de operación, a menos que los requisitos operativos lo exijan.

En la sala de control se tienen elementos por fuera de la consola de control. El más importante de ellos son las pantallas de visión general, video Wall o pantallas compartidas, las cuales se usan para presentar la visión general del proceso o instalación bajo control. Para este tipo de pantallas se debe garantizar que las pantallas por fuera de la consola de control estén visibles desde todos los puestos de trabajo relevantes.

5.1.4 Distancias de visión vertical y horizontal

En particular se debe tener en cuenta:

- Cuando se utilizan pantallas para despliegue de visión general de manera constante, esta debe estar preferiblemente al frente del operador o en un ángulo que le permita ver la información con solo el movimiento de los ojos (figura 7).
- Cuando no es necesario observar la pantalla de visión general mientras se opera desde la consola o de allí solo se obtiene información secundaria, la pantalla puede estar instalada en uno de los lados de la estación de trabajo, de tal manera que la información desplegada pueda ser vista por el operador con solo rotar la silla de su puesto de trabajo.
- Información importante presentada en la pantalla de visión general debe ser observada por el personal desde su posición normal de trabajo, teniendo en cuenta las dimensiones corporales de los operadores (se debe cubrir entre el 5 y 95 percentil. En caso de que la información desplegada en pantalla de visión general sea crítica, este rango debe ser más amplio).
- La información desplegada en la parte más baja de la pantalla debe ser visible para el 5to percentil del personal, sin que este esté de pie. Para realizar este cálculo se tiene la siguiente fórmula (figura 4) :

$$H_i = H_c - (D + d) \frac{H_e - H_c}{D_c + D}$$

Donde:

H_i Es la altura mínima a la cual se puede visualizar la información.

H_e Es la posición del ojo, medida desde el nivel del suelo hasta la parte superior del ojo; se debe aplicar el 5to percentil.

H_c Es la altura de la consola.

D Es la distancia horizontal entre la parte frontal de la consola y la superficie del panel de control.

D_c Es la profundidad de la consola.

d Es la distancia horizontal entre la posición del ojo y la parte frontal de la consola.

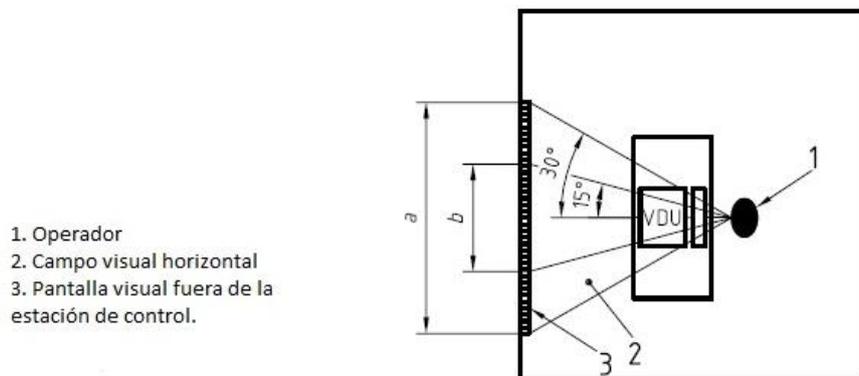


Figura 3: Ubicación recomendada de pantalla de visión general [7].

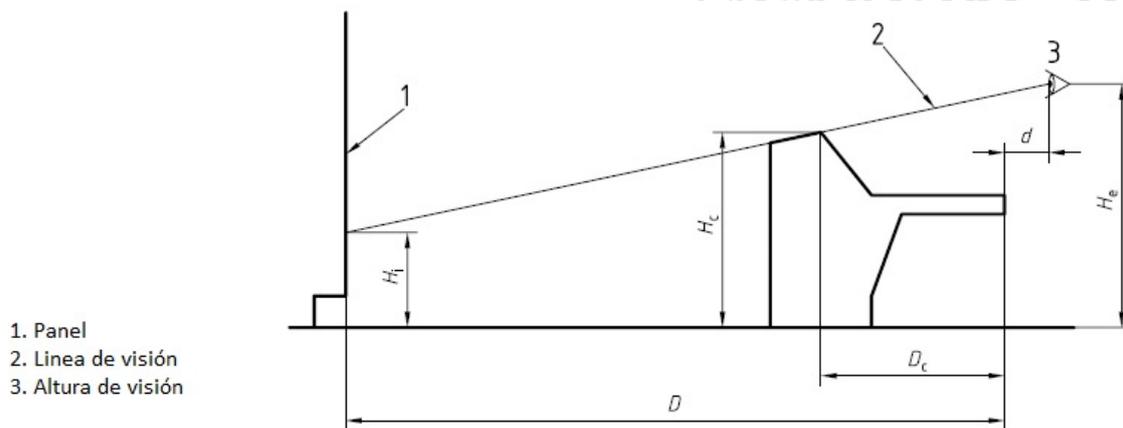


Figura 4: Altura de consola y visión [7].

5.2 Principios gráficos apropiados

Los despliegues operativos hacen referencia a la información que obtienen los operadores de la sala de los sistemas de control (típicamente SCADA). Se tratan entonces de gráficas de elementos, representación de alarmas y alertas, diagramas unifilares, información referente al despacho económico, rangos de variables como frecuencia, potencia, demanda, voltajes, corrientes, etc. Dada su importancia, se debe considerar la forma en que se presenta la información al operador, con el fin de elevar su conciencia situacional y facilitar la detección de situaciones anormales en la operación y la toma de decisiones. Estos principios se asemejan a aquellos utilizados durante el diseño de sistemas de iluminación. Es importante entonces a la hora de diseñar las gráficas presentes en las consolas de los operadores considerar las limitaciones y capacidades humanas. Este concepto no debe ser nuevo para los

ingenieros electricistas, pues se puede observar en el RETILAP⁴, como se define la luz como un componente esencial en cualquier ambiente, hace posible la visión del entorno y además, al interactuar con los objetos y el sistema visual de los usuarios, puede modificar la apariencia del espacio, influir sobre su estética y ambientación y afectar el rendimiento visual, el estado de ánimo y la motivación de las personas. El diseño de iluminación debe comprender la naturaleza física, fisiológica y psicológica de estas interacciones.

Teniendo en cuenta lo anterior se enuncian algunas recomendaciones en cuanto a la elección del color de fondo, la gama de colores usada y la representación de elementos y alarmas.

Los gráficos diseñados de manera ineficaz presentan las siguientes características, entre otras:

- Una representación tipo P&ID⁵ (figura 5)
- Cantidad de números desplegados sin un contexto informativo
- Ausencia de tendencias
- Equipos con animaciones (bombas/compresores giratorios, transportadores móviles, llamas de calderas y elementos distractores similares)
- Representación de equipos en 3D con colores llamativos (figura 6)
- Detalles internos innecesarios de los equipos
- Inconsistencia en el uso de colores, incluyendo los relacionados con alarmas
- Niveles de líquidos de colores brillantes que muestran todo el ancho del recipiente.
- Colores brillantes sobre fondos oscuros
- Navegación limitada y sin un orden intuitivo
- Una falta de jerarquía de visualización
- El fondo de los despliegues es de color negro, facilitando que presenten reflejos en la pantalla y generando fatiga visual en los operadores.

En las figuras 5 y 6 se presentan ejemplos de este tipo de gráficas.

⁴ Reglamento Técnico de Iluminación y Alumbrado Público.

⁵ P&ID es un diagrama de tuberías e instrumentación que muestra el flujo del proceso en las tuberías, así como los equipos e instrumentos instalados [8]

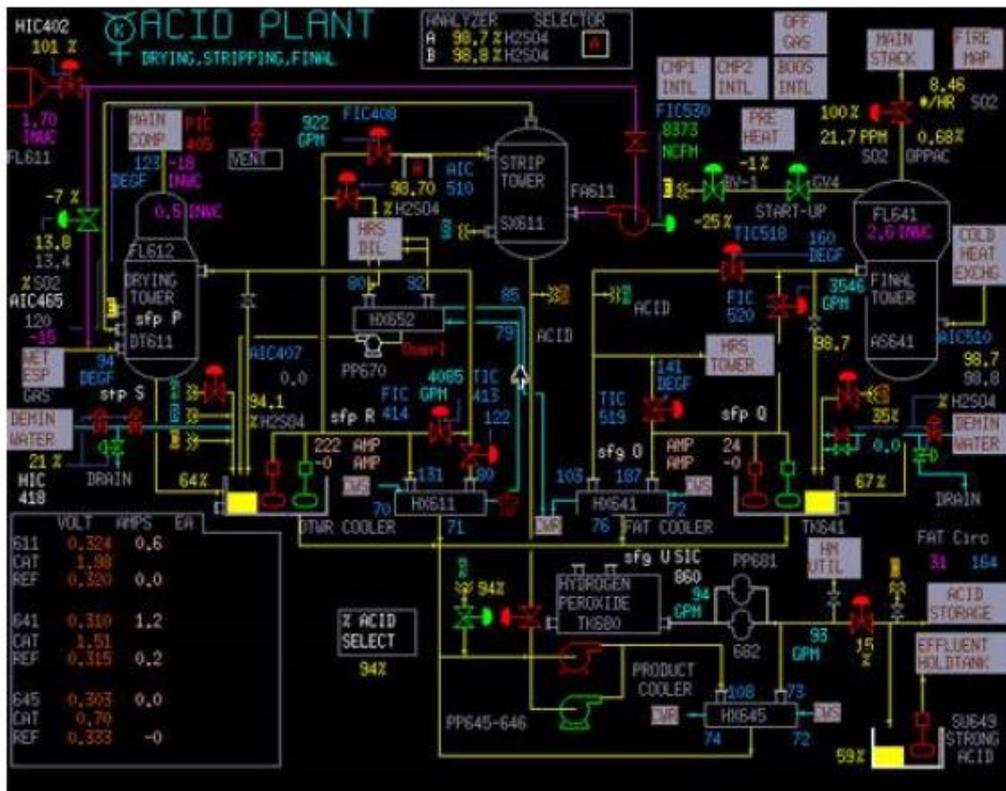


Figura 5: Grafica tipo P&ID típica [8].



Figura 6: Grafico con detalles llamativos y representación 3D [8].

En contraste, las HMI de alto rendimiento tienen estas características:

- Una representación no esquemática, sin detalles internos de los equipos, excepto cuando sea necesario.
- Uso limitado de colores, donde estos se usan de manera específica y consistente.
- Fondos grises para minimizar deslumbramiento, reflejos en pantalla y para prevenir la fatiga visual en los operadores del centro de control [10].
- No se usan animaciones. Estas se reservan para momentos de operación anormal, para hacer más evidente el mal funcionamiento de equipos o sistemas.
- Tendencias de parámetros importantes (figura 7).
- Representación análoga de mediciones importantes, que incluyen rangos de operación normal, anormal, alarmas y activación de enclavamientos
- Despliegue de información por jerarquías, donde se permite la exposición progresiva de información detallada según necesidad.
- Representación simple y en 2D de equipos.
- Información embebida en contexto, mediante menús desplegables mediante click derecho o métodos similares), como documentación y racionalización de alarmas, procedimientos operativos estándar, listas de chequeo, entre otros.
- Métodos de navegación lógicos y consistentes.
- Técnicas para minimizar los errores de entrada de datos por parte del operador
- Técnicas de validación y medidas de seguridad que eviten la activación errónea de controles.
- Representación redundante de alarmas que combine el uso de colores, texto, formas, sonidos, parpadeos; que permita claramente identificar la prioridad de la alarma, su origen y consecuencias y que evite confusión cuando se presente activación simultánea de alarmas en situaciones anormales. Con esta representación redundante se busca combatir algunas afectaciones que padezcan operadores de la sala de control, como por ejemplo el Daltonismo⁶. En general el sistema de alarmas debe estar diseñado de tal manera que se facilite la toma de decisiones y se disminuya la probabilidad de error humano en situaciones anormales, donde se requieren acciones por parte del personal.

En las figuras 7 y 8 se ilustran algunas de las características de las HMI de alto rendimiento.

⁶ El Daltonismo es una afección en la cual no se pueden ver los colores de manera normal. Generalmente la persona que la padece no puede distinguir entre ciertos colores [16]

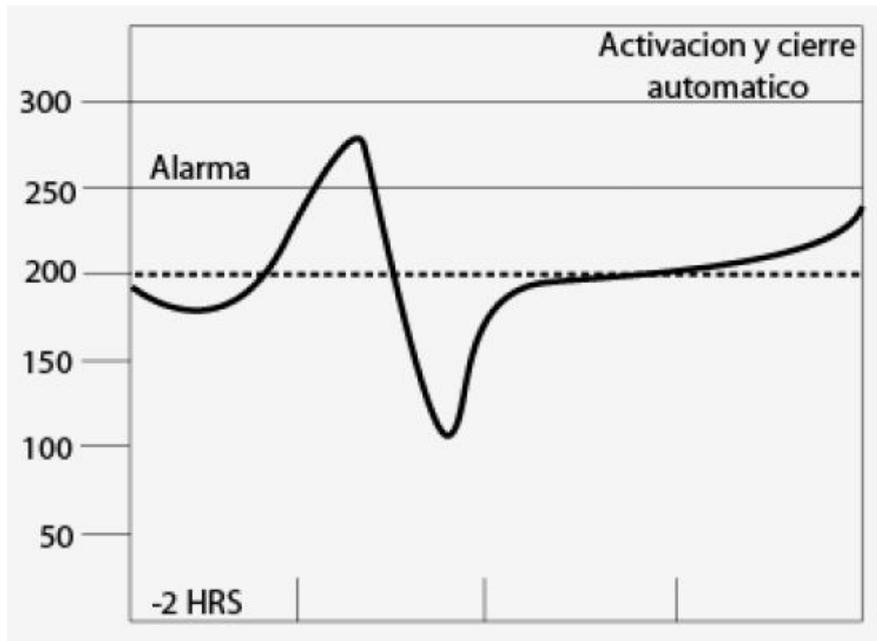


Figura 7: Ejemplo de tendencia para conocer el desarrollo de variables clave [11].

Las alarmas son necesarias para alertar al personal que realiza el monitoreo de la operación de que algo anda mal. Sin embargo no es suficiente tener un control que funcione bajo alarmas, ya que se está siendo reactivo, pues se toman las acciones de control una vez se presentan las alertas.

Desde la filosofía de HMI de alto rendimiento es una buena práctica implementar graficas de tendencias de parámetros y variables clave de la operación, ya que estas permiten observar la evolución en el tiempo de estas variables y permite hacer proyecciones que posibilitan tomar acciones preventivas de control de manera anticipada; antes de que se presenten situaciones que comprometan la continuidad, confiabilidad y seguridad de la operación.

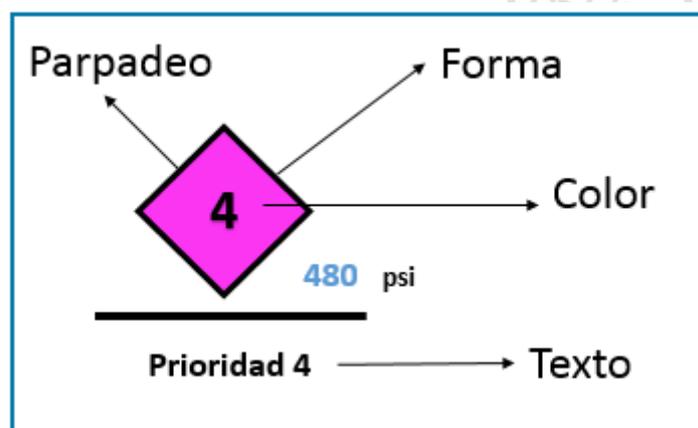


Figura 8: Ejemplo representación redundante de alarma.

En la figura 9 se resumen algunas de las buenas prácticas que se proponen desde las HMI de alto rendimiento, tales como: fondo gris, uso de graficas de tendencias, información jerarquizada, representación redundante de alarmas, uso de indicadores análogos, colores llamativos reservados para alarmas.

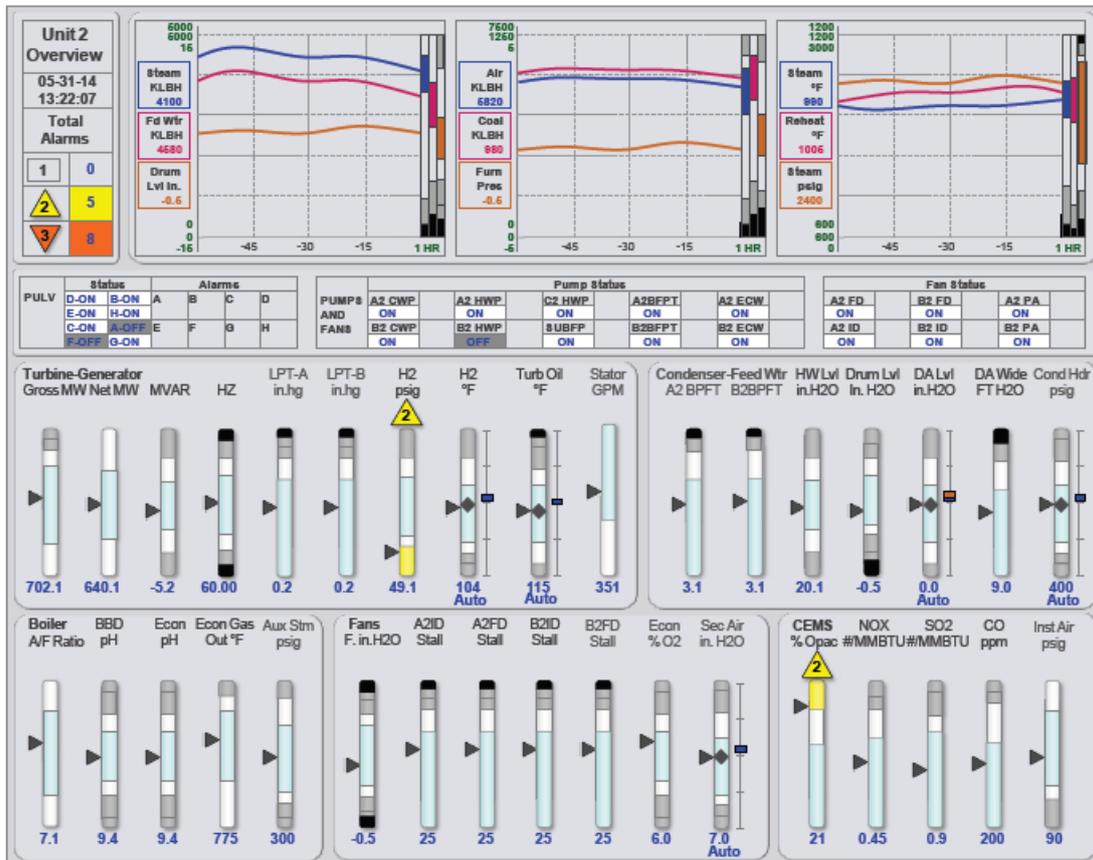


Figura 9: Ejemplo de grafica en un HMI de alto rendimiento [8].

Por último se enuncian algunas resoluciones de la CREG referentes a la distribución de energía eléctrica en Colombia.

5.3 Aspectos regulatorios para el SDL y Sistema de Transmisión en Colombia.

En la seguridad operacional se busca instalar barreras que eviten la materialización de riesgos que terminen generando accidentes e incidentes que afectan a la persona, el medio ambiente, la infraestructura y el proceso como tal. La primera barrera es el factor humano, el elemento más vulnerable de la cadena. Es deber de la organización por tanto brindarle las herramientas al personal para que lleve a cabo sus labores de manera segura, eficaz y eficiente; por esto se deben incluir las demás barreras que son la documentación, el entrenamiento y la tecnología.

El pilar de aseguramiento se encarga de garantizar que se tengan implementadas las barreras de defensa del proceso tales como procedimientos, lineamientos, manuales de operación, listas de chequeo, políticas organizacionales, entre otros; para dar cumplimiento a los requisitos legales, regulatorios, financieros, técnicos, de clientes o ambientales. En este sentido es importante para las organizaciones mantener el normograma actualizado, con el fin de hacer seguimiento a los cambios regulatorios que puedan afectar la operación.

Durante la fase de análisis documental del proyecto línea base, se realizó un estudio de las resoluciones CREG vigentes para el sistema de distribución local en Colombia, con el fin de validar que en la organización se contara con un normograma actualizado. A continuación se presenta un breve resumen de las dos últimas resoluciones de la CREG para el SDL.

5.3.1 Resolución CREG 095 de 1995 [12].

Código de Redes **Código de operación** **Coordinación de maniobras**

Las maniobras en equipos del STN, son coordinadas por el CND mediante las instrucciones empresas transportadoras en forma directa o a través del correspondiente CRD⁷ según cobertura.

El CND coordina a través de los CRDs las maniobras en equipos de los Sistemas de Transmisión Regional y de los Sistemas de Distribución Local, cuando estas afectan el límite de intercambio de áreas operativas o implican variaciones de generación en plantas hidráulicas o unidades térmicas centralmente despachadas.

- Cualquier comunicación entre el personal del CND, CRDs y los agentes transportadores y generadores debe contener, en forma explícita, la siguiente información: el nombre de la persona que emite la comunicación, la identificación del equipo al cual se le va a modificar alguna de sus condiciones operativas, la instrucción operativa, la hora en la cual se imparte la instrucción y la hora en la cual se debe ejecutar la misma. La persona que recibe la instrucción repetirá la misma para asegurar a quien la emitió que ella fue entendida claramente. Toda información operativa se emitirá a través de teléfono con grabación permanente o del que quede una constancia escrita.

Esta resolución es de gran relevancia, ya que en ella se define el protocolo de comunicaciones que se debe utilizar en la comunicación entre el CND⁸ y los demás agentes del SIN⁹. Desde la perspectiva de la seguridad operacional, es muy importante mantener una comunicación estándar y regulada entre los diferentes agentes que intervengan los activos; esto con el fin de evitar que se presenten errores de comunicación o confusiones que puedan afectar la operación correcta del sistema interconectado nacional. Este tipo de buenas prácticas deben extenderse para la comunicación que se lleve a cabo, por ejemplo entre los operadores de centro de control y las cuadrillas de mantenimiento en campo.

⁷ Centro Regional de Despacho. Es un centro de supervisión y control de la operación de las redes, subestaciones y centrales de generación en una misma región, cuya función es la de coordinar la operación y maniobras de esas instalaciones con sujeción a las instrucciones impartidas por el Centro Nacional de Despacho [12].

⁸ Centro Nacional de Despacho. Es el encargado de la planeación, supervisión y control de la operación integrada de los recursos de generación, interconexión y transmisión del sistema interconectado nacional.

⁹ Sistema Interconectado Nacional.

En el protocolo de comunicaciones se observa la interacción que hay entre los pilares que conforman la seguridad operacional. Desde políticas y objetivos se definen los lineamientos para la comunicación y se documentan, de esta manera se está implementando un control para gestionar los riesgos que se pueden presentar en la operación y mantenimiento de los activos del sistema eléctrico. Desde el aseguramiento se debe monitorear el cumplimiento de los lineamientos establecidos por la organización en cuanto a la comunicación entre personal de campo y centro de control y por último desde promoción y cultura, se debe hacer una divulgación del protocolo adoptado y se deben implementar planes de entrenamiento para que el personal se capacite y entienda la importancia de cumplir el protocolo de comunicaciones.

Un claro ejemplo de lo que puede salir mal si no se tiene una comunicación clara entre las partes es el incidente de la central hidroeléctrica de Guatapé. Según el informe de la contraloría de Medellín [13], el evento se presentó por “descoordinación y/o falta de claridad y entendimiento entre el personal experto encargado de reparación (contratista extranjero), y el personal de EPM, debido a que ambas partes interpretaron de forma diferente el término “normalizar el sistema”, pues mientras para los expertos, “normalizar” implicaba evaluar el estado del circuito hidráulico y realizar las tareas necesarias para corregir cualquier eventual anomalía, para luego proceder a energizar y entrar en operación, para el personal de EPM, “normalizar” significa realizar las maniobras de conexión y energización para entrar en operación. Esto último fue lo que sucedió y por tanto, se energizó el sistema de cables sin percatarse que durante el procedimiento de corrección de falla, había ingresado aire y pérdida de presión de aceite en el circuito hidráulico, lo que originó la explosión y posterior cortocircuito, iniciando el incendio del sistema de cables a 230 KV de la central de Guatapé”. Se observa entonces como un error en la interpretación en la comunicación fue uno de los factores contribuyentes para que se presentara el incidente.

5.3.2 Resolución CREG 015 2018 [14].

Por la cual se establece la metodología para la remuneración de la actividad de distribución de energía eléctrica en el sistema interconectado nacional.

Calidad del servicio en los SDL

La calidad del servicio brindada por un operador de red será medida en términos de la duración y la frecuencia de los eventos que perciban los usuarios conectados a sus redes. Para el efecto se adoptan indicadores para establecer la calidad media del SDL del operador de red, así como para establecer la calidad individual que perciba cada uno de sus usuarios.

Exclusión de eventos

Para el cálculo de los indicadores de calidad promedio y calidad individual no se tendrán en cuenta los siguientes eventos:

- a) Los menores o iguales a tres (3) minutos.

- b) Los debidos a racionamiento programado o racionamiento de emergencia del sistema eléctrico nacional debido a insuficiencia en la generación nacional o por otros eventos en generación, siempre y cuando así hayan sido definidas por el CND.
- c) Los causados por eventos de activos pertenecientes al STN o al STR. El CND mantendrá disponible información relacionada con los eventos citados anteriormente.
- d) Los eventos requeridos por seguridad ciudadana, solicitados por organismos de socorro o autoridades competentes. El OR debe mantener constancia de las solicitudes para la validación de las exclusiones.
- e) Cuando se daña un activo de nivel de tensión 1¹⁰ de propiedad de un usuario y el usuario informa al OR sobre su decisión de reponerlo, durante el tiempo que transcurra entre el aviso de falla y la reposición.
- f) Cuando se daña un activo de nivel de tensión 1 de propiedad de un usuario y el OR lo debe reponer, durante el tiempo que transcurra entre el aviso de falla y la reposición.
- g) Los debidos a catástrofes naturales
- h) Los debidos a actos de terrorismo. El OR debe mantener el soporte dado por la autoridad competente que declaró esta situación para la validación de las exclusiones.
- i) Los ocurridos fuera de las horas correspondientes a “los periodos de continuidad” acordados en las zonas especiales. El OR debe mantener constancia de los acuerdos para la validación de las exclusiones durante el proceso de verificación de información.
- j) Para efectos contabilizar la calidad del servicio al usuario de alumbrado público, los que lo afecten entre las 6 am y las 6 pm
- k) Las suspensiones o cortes de servicio por incumplimiento del contrato de servicios públicos por parte del usuario.
- l) Las suspensiones o cortes de servicio por programas de limitación del suministro al comercializador.
- m) Eventos originados en exigencias de traslados y adecuaciones de la infraestructura eléctrica por parte de entidades distritales, municipales, departamentales, organismos estatales competentes en temas de infraestructura y medio ambiente, o demás autoridades, o por proyectos de desarrollo en concordancia con los planes de ordenamiento territorial.
- n) Los eventos debidos a trabajos de reposición o modernización en subestaciones, siempre que estos trabajos estén incluidos en el plan de inversiones aprobado por la CREG de acuerdo con lo establecido en el capítulo 7.

Calidad media del sistema

La calidad media del sistema se refiere a la cantidad y duración de los eventos que en promedio afectan a todos los usuarios conectados a las redes de un OR. Se mide a través de los indicadores que se definen a continuación.

Indicadores de calidad media

¹⁰ Sistemas con tensión nominal menor a 1 KV [17]

La calidad media anual del OR se mide a través de los indicadores de duración y frecuencia de los eventos sucedidos en los SDL.

El indicador SAIDI representa la duración total en horas de los eventos que en promedio percibe cada usuario del SDL de un OR, hayan sido o no afectados por un evento, en un periodo anual. Se establece mediante la siguiente expresión

$$SAIDI_{j,t} = \sum_{m=1}^{12} \frac{\sum_{i=1}^n (D_{i,u,m} * NU_{i,u,m})}{UT_{j,m}} / 60$$

Donde:

SAIDI_{j,t}: Indicador de duración promedio por usuario, de los eventos sucedidos en el SDL del OR *j*, durante el año *t*, medido en horas al año.

D_{i,u,m}: Duración en minutos del evento *i*, sucedido durante el mes *m*, que afectó al activo *u* perteneciente al SDL del OR *j*

NU_{i,u,m} Número de usuarios que fueron afectados por el evento *i* sucedido durante el mes *m*, conectados al activo *u*.

UT_{j,m} Número total de usuarios conectados al SDL del OR *j* en el mes *m*.

m Mes del año *t*, con enero=1, ..., diciembre=12.

El indicador SAIFI representa la cantidad total de los eventos que en promedio perciben todos los usuarios del SDL de un OR, hayan sido o no afectados por un evento, en un periodo anual. Se establece mediante la siguiente expresión:

$$SAIFI_{j,t} = \sum_{m=1}^{12} \frac{\sum_{i=1}^n NU_{i,u,m}}{UT_{j,m}}$$

Donde:

SAIFI_{j,t}: Indicador de frecuencia promedio por usuario, de los eventos sucedidos en el SDL del OR *j*, durante el año *t*, medido en cantidad al año.

NU_{i,u,m}: Número de usuarios que fueron afectados por el evento *i* sucedido durante el mes *m*

$UT_{j,m}$: Número total de usuarios conectados al SDL del OR j en el mes m .

m Mes del año t , con enero=1, ..., diciembre=12.

5.3.4 Resolución CREG 030 de 2018 [15]

Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el sistema interconectado nacional.

Artículo 2

Esta resolución aplica a los autogeneradores a pequeña escala y a los generadores distribuidos conectados al SIN, a los comercializadores que los atienden, a los operadores de red y transmisores nacionales. También aplica a las conexiones de los autogeneradores a gran escala mayores a 1 MW y menores o iguales a 5 MW. Esta resolución no aplica para sistemas de suministro de energía de emergencia, existentes o nuevos.

Título II. Integración a la red de la autogeneración y la generación distribuida

Capítulo 1 Condiciones para la integración

Artículo 5. Estándares técnicos de disponibilidad del sistema en el nivel de tensión 1.

Con anterioridad a efectuar una solicitud de conexión de un GD¹¹ o un AGPE¹² a un SDL en el nivel de tensión 1, el solicitante deberá verificar, en la página web del OR, que la red a la cual desea conectarse tenga disponibilidad para ello y cumpla con los siguientes parámetros:

- a) La sumatoria de la potencia instalada de los GD o AGPE que entregan energía a la red debe ser igual o menor al 15% de la capacidad nominal del circuito, transformador o subestación donde se solicita el punto de conexión. La capacidad nominal de una red está determinada por la capacidad del transformador.
- b) La cantidad de energía en una hora que pueden entregar los GD o AGPE que entregan energía a la red, cuyo sistema de producción de energía sea distinto al compuesto por fotovoltaico sin capacidad de almacenamiento, conectados al mismo circuito o transformador de nivel de tensión 1, no debe superar el 50% de promedio anual de la horas de mínima demanda diaria de energía registradas para el año anterior al de solicitud de conexión.

¹¹ Generador Distribuido. Persona jurídica que genera energía eléctrica cerca de los centros de consumo, y está conectado al SDL y con potencia instalada menor o igual a 0,1 MW [15]

¹² Auto Generador a Pequeña Escala. Autogenerador con potencia instalada igual o inferior a 1 MW [18]

- c) La cantidad de energía en una hora que pueden entregar los GD o AGPE que entregan energía a la red, cuyo sistema de producción de energía sea el compuesto fotovoltaico sin capacidad de almacenamiento, conectados al mismo circuito o transformador de nivel de tensión 1, no debe superar el 50% de promedio anual de las horas de mínima demanda diaria de energía registradas para el año anterior al de solicitud de conexión en la franja horaria comprendida entre las 6 am y 6 pm.

Artículo 6. Información de disponibilidad de red

Los OR deben disponer de información suficiente para que un potencial AGPE o GD pueda conocer el estado de la red.

Con base en la identificación de la cuenta, código de circuito o transformador al que pertenece el usuario, se deberá desplegar la información asociada:

- a) Ubicación georreferenciada.
- b) Voltaje nominal de la subestación, transformador o red de baja tensión del punto de conexión del usuario.
- c) Capacidad nominal de la subestación, transformador o red de baja tensión al que pertenece el punto de conexión del usuario.
- d) Sumatoria de la capacidad nominal de AGPE o GD instalada en el mismo circuito o transformador, clasificada en colores en función de la capacidad nominal del circuito o transformador, así:
 - Color verde cuando la relación sea igual o inferior al 9%
 - Color amarillo cuando la relación se encuentre en el rango entre 9% y 12% incluido.
 - Color naranja cuando la relación se encuentre en el rango entre 12% y 15% incluido.
 - Color rojo cuando la relación sea superior a 15%.
- e) Sumatoria de la cantidad de energía que pueden entregar los AGPE o GD conectados al mismo circuito o transformador, clasificada en colores en función de la cantidad mínima de energía horaria acorde con lo establecido en los literales b) o c) del Artículo 5, así:
 - Color verde cuando la relación sea igual o inferior a 30%
 - Color amarillo cuando la relación se encuentre en el rango entre 30% y 40% incluido.
 - Color naranja cuando la relación se encuentre en el rango entre 40% y 50% incluido.
 - Color rojo cuando la relación sea superior a 50%.

Capítulo 2.

Artículo 7. Condición para conectarse como AGPE o GD

Cualquier usuario conectado a la red y que quiera convertirse en un AGPE lo podrá hacer una vez cumpla con los requisitos establecidos en la resolución y se verifique la disponibilidad técnica del sistema al cual se va a conectar.

Artículo 10. Procedimiento simplificado de conexión al STR o SDL del AGPE con potencia instalada menor o igual a 0,1 MW y GD.

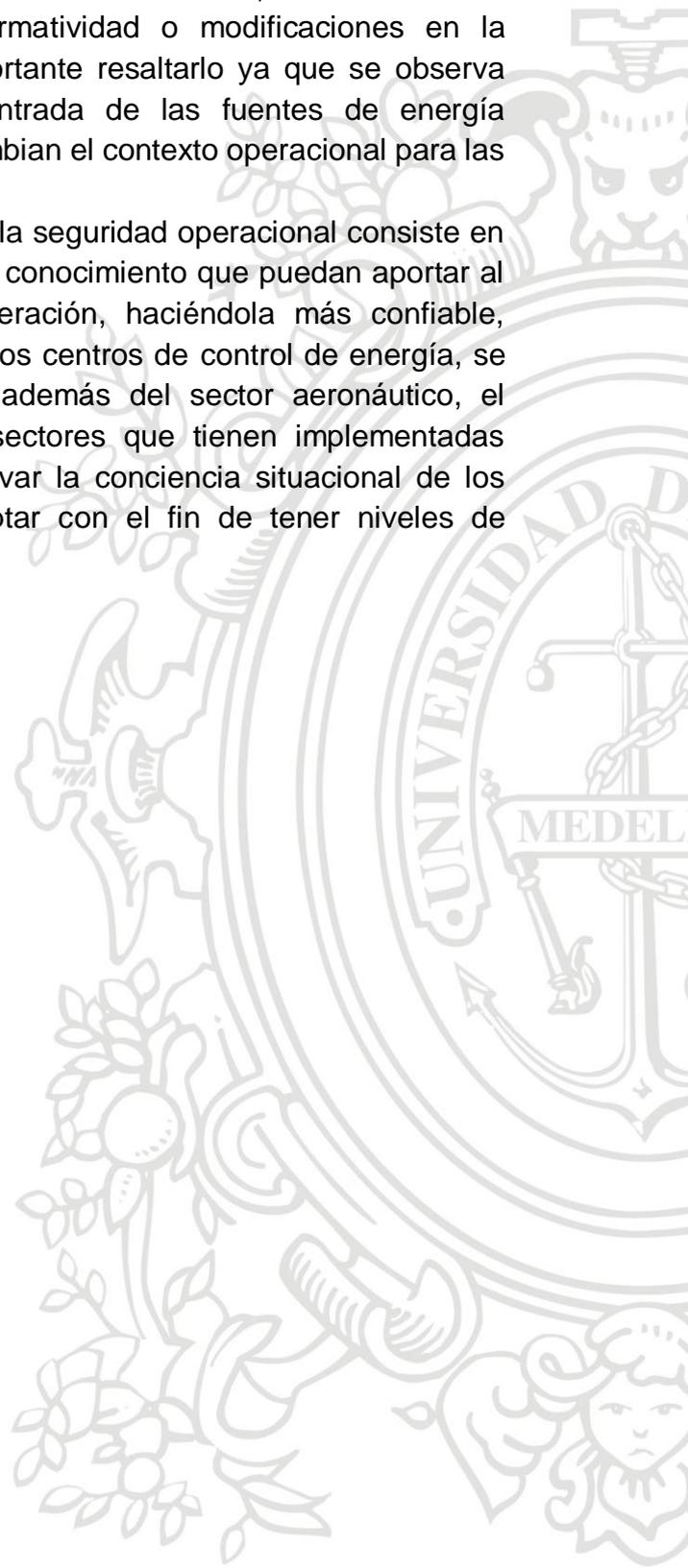
Posterior a la revisión de disponibilidad de red, el procedimiento simplificado de conexión tiene las siguientes etapas:

- a) Diligenciamiento de la información del formulario de solicitud de conexión simplificada en la página web del OR.
- b) Respuesta del OR a la solicitud. El OR tendrá cinco (5) días hábiles contados a partir del día siguiente al recibo de la solicitud en la página web para emitir concepto sobre viabilidad técnica de la conexión.
- c) Posterior a la aprobación de la conexión, el OR dispondrá de dos (2) días hábiles anteriores a la fecha prevista para la entrada en operación informada por el usuario, para verificar los parámetros declarados y efectuar pruebas requeridas. El OR deberá informar la fecha de la visita con antelación dos (2) días hábiles.
- d) Luego de la verificación de parámetros y efectuadas las pruebas pertinentes, el OR dispondrá de dos (2) días hábiles para efectuar la conexión.
- e) El OR podrá verificar las condiciones de la conexión en cualquier momento con posterioridad a la fecha de entrada en operación. En caso que no se cumpla alguna de las características contenidas en la solicitud de conexión o que se incumpla la regulación de calidad de la potencia, el OR procederá a deshabilitar la conexión del AGPE o GD hasta que sea subsanada la anomalía encontrada.

6. Conclusiones

- Las empresas del sector eléctrico en Colombia, cuentan con un sistema de Seguridad y Salud en el trabajo, las cuales se encargan de velar por la seguridad del trabajador, mitigando los riesgos que se pueden materializar y generar accidentes e incidentes incapacitantes; sin embargo falta la mirada de la Seguridad Operacional, la cual cierra el ciclo y busca brindarle las herramientas a las personas para que la probabilidad de error que afecte al proceso, la infraestructura, los activos, el medio ambiente, y por supuesto, la persona en sí, se reduzcan a niveles aceptables, definidos por la misma organización.
- Por regulación de la CREG, se observa el cumplimiento del protocolo de comunicaciones entre el CND y los agentes que intervienen los activos del SIN; sin embargo es recomendable extender el uso del protocolo para comunicación entre el centro de control y el personal que labora en campo, con el fin de evitar errores y confusiones que desencadenen accidentes e incidentes.
- El diseño de los elementos gráficos implementados para realizar las tareas de monitoreo y control de los sistemas eléctricos desde el centro de control, deben considerar las capacidades y limitaciones humanas; esto con el fin de facilitar la identificación de situaciones anormales o de emergencia durante la operación.
- A los requerimientos de ergonomía física en los centros de control de energía se les busca dar cumplimiento desde el Sistema de Seguridad y Trabajo de las empresas; sin embargo los requerimientos de ergonomía cognitiva (información legible, con una fraseología clara, no se evidencia que sean evaluados en las empresas del sector eléctrico.
- Los centros de control de energía, por la naturaleza de su trabajo tienen turnos 24x7, esto puede generar fatiga en el personal y aumentar los riesgos de accidentes o incidentes con la fatiga como factor contribuyente; por tanto estrategias tomadas de los sistemas de gestión de riesgos asociados a la fatiga en el sector aviación pueden ayudar a tener una operación más segura, confiable y permite que las personas eleven su rendimiento laboral y mejore su calidad de vida.
- Se observa en las investigaciones de accidentes e incidentes en el sector como se clasifica entre los factores contribuyentes el error humano; sin embargo no se evidencia un análisis más detallado, que permita identificar las causas que llevan a la persona involucrada a cometer una equivocación. Estas causas pueden ser falta de entrenamiento inicial y recurrente, ausencia de procedimientos escritos actualizados, en un lenguaje claro, con una fraseología adecuada, simples, tareas asignadas que no son acordes con el perfil psicofísico de la persona, entre otras.

- Para mantener un nivel de seguridad operacional aceptable es necesario brindar capacitación y entrenamiento al personal cuando se presenten cambios que afecten la operación tales como, actualizaciones tecnológicas, cambios en la normatividad o modificaciones en la topología de la red. Esto es importante resaltarlo ya que se observa desde la regulación como la entrada de las fuentes de energía renovables no convencionales cambian el contexto operacional para las empresas del sector energía.
- Una práctica recomendada desde la seguridad operacional consiste en referenciarse en otros campos del conocimiento que puedan aportar al mejoramiento continuo de la operación, haciéndola más confiable, segura y eficiente. En el caso de los centros de control de energía, se pueden tomar como referentes, además del sector aeronáutico, el petrolero o la energía nuclear; sectores que tienen implementadas buenas practicas que buscan elevar la conciencia situacional de los operadores que se pueden adaptar con el fin de tener niveles de seguridad operacional aceptables.



7. Referencias bibliográficas

- [1] I. C. Av, *Safety Management Manual (SMM)*. 2013.
- [2] "Definition and Domains of Ergonomics | IEA Website." [Online]. Available: <https://www.iea.cc/whats/index.html>. [Accessed: 25-Feb-2019].
- [3] Organización de Aviación Civil Internacional (OACI), "Sobre la OACI." [Online]. Available: https://www.icao.int/about-icao/pages/es/default_es.aspx. [Accessed: 24-Feb-2019].
- [4] "Sistema de Gestión de Seguridad y Salud en el Trabajo - Ministerio del trabajo." [Online]. Available: <http://www.mintrabajo.gov.co/relaciones-laborales/riesgos-laborales/sistema-de-gestion-de-seguridad-y-salud-en-el-trabajo>. [Accessed: 18-Aug-2019].
- [5] G. Salvendy, *Handbook of human factors and ergonomics*. Wiley, 1997.
- [6] W. E. Woodson, *Human factors design handbook : information and guidelines for the design of systems, facilities, equipment, and products for human use*. McGraw-Hill, 1981.
- [7] S. I. S. Enany, H. Medical, S. Ab, and S. Bertling, "International Standard ISO 11064," vol. 2004, 2010.
- [8] B. R. Hollifield and hector R. Perez, "The high performance HMI handbook," 2015.
- [9] S. O. Johnsen, C. Bjørkli, and T. S. Sintef, *Sintef report. CRIOP: A Scenario Method for Crisis Intervention and Operability analysis*. 2011.
- [10] P. T. Bullemer, D. V. C. Reising, and J. C. Laberge, "Why Gray Backgrounds for DCS Operating Displays ? The Human Factors Rationale for an ASM Consortium Recommended Practice," pp. 1–3, 2008.
- [11] J. E. Rodriguez de Avila, "Buenas prácticas para el diseño de HMI de alto rendimiento," *Univ. tecnológica Boliv.*, pp. 1–46, 2012.
- [12] CREG, "Resolución No 025 de 1995," p. 141, 1995.
- [13] L. Contralor, I. Especial, C. Hidroel, and C. Hidroel, "La Contraloría General de Medellín entrega conclusiones del Informe Especial frente al evento ocurrido en la Central Hidroeléctrica de Guatapé el 15 de febrero de 2016," no. 20, 2016.
- [14] Comisión de Regulación de Energía y Gas CREG, "Resolución No. 15 de enero de 2018." p. 239, 2018.
- [15] Ministerio de Minas y Energía, "Resolución CREG 030: Por la cual se regulan las actividades de autogeneración a pequeña escala y de generación distribuida en el Sistema Interconectado Nacional." p. 27, 2018.
- [16] "¿Qué es el daltonismo? - American Academy of Ophthalmology." [Online]. Available: <https://www.aao.org/salud-ocular/enfermedades/daltonismo>. [Accessed: 18-Aug-2019].
- [17] Comisión de Regulación de Energía y Gas, "Resolución 097 de septiembre 26 de 2008." 2008.
- [18] U. de P. M. E. UPME, "Resolución No. 281 5 de junio de 2015," vol. 2015, no. 49. 2015.



Visto bueno del asesor interno y asesor externo

Como asesor conozco la propuesta y avalo el contenido de la misma.

Nombre del asesor interno

Firma del asesor interno

C.C.

Nombre del asesor externo
C.C.

Firma del asesor externo

