

# AVANCES EN LA FORMACIÓN DE LINIEROS Y PROPUESTA DE UN SISTEMA EMULADOR PARA PRÁCTICAS DE ENTRENAMIENTO EN LÍNEA VIVA

**Ronal Douglas Bejarano Rodríguez**  
Estudiante de Ingeniería Eléctrica  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
rdbejaranor@correo.udistrital.edu.co  
Bogotá, Colombia

**Leidy Johanna Moreno Guevara**  
Estudiante de Ingeniería Eléctrica  
Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
ljmorenog@correo.udistrital.edu.co  
Bogotá, Colombia

**Tipo:** Artículo de reflexión

**Fecha de Recepción:** Julio 2 de 2013

**Fecha de Aceptación:** Agosto 6 de 2013

## ADVANCES IN THE FORMATION OF LINIERS AND PROPOSAL FOR AN EMULATOR SYSTEM FOR ONLINE TRAINING EXERCISES

### ABSTRACT

This article summarizes the State of the art about the spaces and methods used in specialized training for personnel responsible for executing the maintenance of electrical distribution networks, who are designated as liniers and include in their activities, practical work with tension. The current conditions of the electrical system make evident the need of searching strategies that permit to guarantee its permanent functionality, intervening with works that do not compromise the quality of power service, nor the security of those involved in it. As a result of this research, one gets a picture which shows the urgent need to innovate in the teaching tools used for the training of staff and support the complex procedures of recruitment.

**Key words:** line-live, lineman, maintenance, power distribution network, training.

### RESUMEN

Este artículo resume el estado del arte sobre los espacios y métodos utilizados en el entrenamiento especializado para operarios encargados de ejecutar el mantenimiento a las redes de distribución eléctrica, quienes son designados como linieros e incluyen en sus actividades, practicas de trabajo con tensión. Las condiciones actuales del sistema eléctrico, hacen evidente la necesidad de buscar estrategias que permitan garantizar su funcionalidad permanente, interviniéndolo por medio de trabajos que no comprometan la calidad del servicio de energía, ni la seguridad de quienes lo intervienen. Como resultado de la investigación, se obtiene un panorama que demuestra la urgente necesidad de innovar en las herramientas didácticas utilizadas para el entrenamiento del personal y apoyar los complejos procedimientos de reclutamiento. Por ello, se propone diseñar un sistema emulador, como herramienta pedagógica para las prácticas de capacitación y entrenamiento de línea viva a contacto, restringiendo así los riesgos.

**Palabras claves:** entrenamiento, línea viva, liniero, mantenimiento, redes de distribución eléctrica.

## 1. INTRODUCCIÓN

Los trabajos de mantenimiento en redes eléctricas para la distribución de energía, han evolucionado al ritmo de exigencias cada vez más estrictas, impuestas mundialmente por el competitivo mercado del sector eléctrico, que propone grandes retos a la ingeniería moderna [1].

Uno de los objetivos clave para el área técnica de las compañías de distribución en general, se centra en garantizar el buen funcionamiento de sus activos eléctricos sin comprometer la continuidad del servicio a los usuarios finales [2]. Con este objetivo transformado en una filosofía de trabajo, se da origen a las tareas de mantenimiento en Línea Viva, también conocido como Trabajos con Tensión (TcT), que son orientadas a la operación sobre las redes realizada por técnicos competentes, ejecutando maniobras de mantenimiento sin restringir el fluido eléctrico [3][4]. Aunque es un método encaminado a la eficiencia y confiabilidad del servicio, puede comprometer no solo la salud y vida de los operarios, también puede entrar en juego la vida útil de los equipos instalados en la red [5].

Actualmente, organismos internacionales han logrado construir estándares transversales a todos los sectores productivos de bienes y servicios, incluyendo temáticas de capacitación, seguridad y calidad. No obstante, en el caso puntual de los trabajos en Línea Viva el riesgo de accidentes es considerablemente alto, motivo por el cual algunos entes reguladores de seguridad ocupacional como la National Fire Protection Association (NFPA) en Estados Unidos o la British Standards Institution (BSI) en Reino Unido, se han interesado en el tema, emitiendo pautas normativas como condiciones especiales en el ámbito laboral del sector eléctrico, dirigido al personal operativo y aspirantes a ejercer en este campo [6].

En Colombia, a nivel general, los esfuerzos para la prevención de riesgos laborales, se ha mejorado tras la adaptación de estándares internacionales de seguridad y salud ocupacional a través de la Norma Técnica Colombiana NTC [7]. Adicionalmente, para las compañías en la

industria de la energía eléctrica, aplica el Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas (RETIE), el Código Eléctrico Colombiano (NTC 2050) y en particular la resolución 1348 de 2009 emitida por el Ministerio de la Protección Social que contiene directivas sobre los requisitos y condiciones para los trabajos con línea viva [8][9].

En este artículo se presenta inicialmente los antecedentes y el contexto global que enmarca la formación de linieros que llevan a cabo los trabajos de mantenimiento en redes de distribución. Luego, se describe el panorama contemporáneo sobre los métodos, espacios y herramientas de formación en competencias laborales relacionadas, como mitigación al riesgo que se ven expuestos los operarios en sus labores de mantenimiento a contacto de líneas energizadas en Media Tensión (MT). Posteriormente, se enuncian brevemente la normatividad internacional y nacional relacionada directamente con la capacitación de personal. Por último se detalla, la propuesta del diseño de un sistema emulador, adaptado a las condiciones de funcionamiento y uso de la red de MT disponible en el Centro de Entrenamiento Bosanova, propiedad de Endesa Colombia.

## 2. CONTEXTO DE LA FORMACIÓN PARA EL MANTENIMIENTO DE REDES ELÉCTRICAS

### 2.1. Antecedentes

La electrificación de las ciudades y posteriormente las zonas rurales, promovió el desarrollo de los países y produjo una visible dependencia del sistema de energía eléctrica a finales del siglo XIX [10]. Para dar continuidad al servicio enfrentando una demanda de rápido crecimiento, fue necesario contar con la disponibilidad de personal en las emergentes compañías de energía, quienes se encargaban de construir el sistema eléctrico y repararlo en los casos de falla. Particularmente, esa situación se continúa presentando en la actualidad, ya que se requiere personal calificado encargado de garantizar la funcionalidad de las redes de distribución, para brindar a los clientes un servicio de ener-

gía eléctrica con calidad [2].

Sin embargo, en el año de 1890, los trabajadores de instalación y reparación de redes eléctricas al verse expuestos a un alto riesgo, conformaron sindicatos que velaron por la seguridad de las personas, apoyando en principio la creación de espacios especializados de aprendizaje. Igualmente, estas organizaciones buscaron la promulgación de normas y procedimientos útiles, para crear conciencia en los técnicos sobre la prevención de accidentes. Uno de los primeros sindicatos fue el International Brotherhood of Electrical Worker IBEW en Estados Unidos y Canadá [11].

Desde la década de 1930, se ha evidenciado la importancia de capacitar a los linieros con el propósito de mejorar sus destrezas y habilidades en controlar los peligros durante la ejecución de trabajos en terreno. Los cursos eran impartidos por técnicos retirados, quienes crearon escuelas de formación, para transmitir sus conocimientos a los jóvenes que veían en este campo laboral un futuro prometedor.

Esta alternativa logro reducir la tasa de mortalidad, que para los primeros años de masificación del uso de la electricidad, correspondía a una víctima cada dos personas contratadas [11]. Según el departamento de estadísticas laborales de los Estados Unidos, la tasa de mortalidad relacionada con trabajos sobre líneas eléctricas en el 2011 fue de 20,3 personas por cada 100.000 operarios, en este mismo año se presentaron 27 accidentes fatales en total [12]. Este número (0,0203%) es reducido comparado con la cifra del 25% que se presentaba a mediados del siglo XX [13].

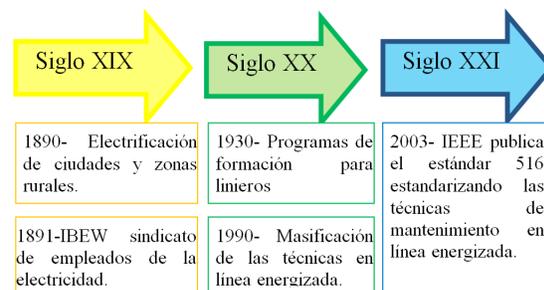
En conjunto, el proceso evolutivo se ha visto reflejado en la normatividad internacional asociada a la prevención de riesgos, uso de elementos de protección personal (EPP), exigencias en la fabricación de los equipos y herramientas especializadas utilizadas en las maniobras (como los estándares de American Society for Testing Materials - ASTM) [14].

Por otra parte, las empresas del sector eléctri-

co se han enfocado en garantizar el servicio de energía sin interrupciones, mediante el mantenimiento de su infraestructura con actividades que por su naturaleza, incluyen maniobras a cargo de personal capacitado y reconocido como “experto y competente” [15]. Por tal razón, las compañías participan fomentando la construcción de espacios de formación especializada, para desarrollar programas que incluyan instrucción teórica y práctica a sus empleados o contratistas [16]. La figura 1 describe una sencilla línea del tiempo, con algunos de los hitos más relevantes en los últimos tres siglos, encadenados a la formación de operarios en las técnicas de línea energizada.

## 2.2. Cambios en las técnicas de mantenimiento

El mantenimiento de redes ha evolucionado en los últimos 50 años [17], atravesando por tres generaciones marcadas primitivamente por el interés de mantener la funcionalidad técnica del sistema eléctrico, luego por la prevención y predicción de las fallas y finalmente dirigido a la viabilidad económica, regulación gubernamental e interacción con el mercado, incorporando las características de las generaciones anteriores [18].

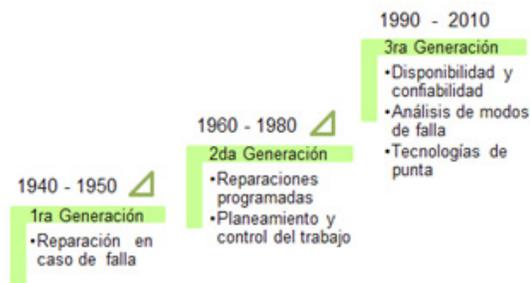


**Figura 1.** Hitos por siglo relacionados con la formación de linieros

La primera generación cubre el período de la década de 1930 hasta la Segunda Guerra Mundial (1945); se caracteriza por obviar los tiempos de falla y las rutinas de mantenimiento a los equipos. La segunda generación, comprende hasta la década de 1980; la industria cambia drásticamente y la demanda de todo tipo de bienes se incrementa, esto hace que los tiempos

cesantes en máquinas y equipos de producción sean mínimos, llevando a las empresas a prevenir las fallas y hacer reparaciones en intervalos regulares. La tercera generación, se destaca por la aplicación de nuevas técnicas y tecnologías de producción, dependientes en su mayoría de la energía eléctrica, la automatización brinda confiabilidad y se acompaña de métodos de mantenimiento, tal como el monitoreo de condición, muestreo e índices de funcionamiento de los activos eléctricos. En este caso, no solo la ausencia de energía detiene máquinas, también lo hacen eventos especiales que no implican cortes del suministro, afectando procesos complejos en sistemas de producción.

En síntesis, la evolución de las técnicas de mantenimiento se ilustra en la figura 2, con las características para las filosofías de trabajo durante cada una de las generaciones.



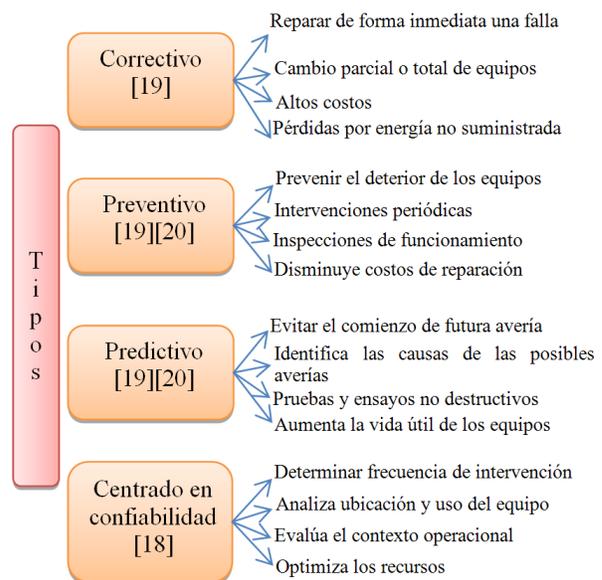
**Figura 2.** Cambios en las técnicas de mantenimiento por décadas

Actualmente, los factores de alto impacto en la administración del mantenimiento están encadenados al uso y la funcionalidad del activo eléctrico (componente funcional en la prestación del servicio de energía), lo cual indica el tipo y técnica de mantenimiento que se debe aplicar, para reducir las probabilidades de falla que afecte la continuidad del servicio a los clientes [18]. La figura 3 y Figura 4, presentan algunas de las cualidades de los tipos y técnicas de mantenimiento en las redes de distribución.

Los cuatro tipos de mantenimiento, se enmarcan en dos grandes grupos, línea viva (energizada) y línea muerta (desenergizada). Ambos son trabajos de alto riesgo, pues cada uno re-

quiere habilidades particulares de los operarios para ejecutar maniobras de forma segura [19][20]. Aunque los trabajos en línea viva, se muestran como el futuro del mantenimiento y fueron estandarizados por IEEE en 2003 a través del estándar 516 [21], no se puede descartar por completo los procedimientos de trabajo y todo el aprendizaje logrado en el pasado por los técnicos de línea desenergizada. Otro motivo para no determinar una estricta tendencia hacia una técnica, es la evaluación a las condiciones prácticas en el momento de ejecutar el mantenimiento, parámetro que finalmente otorga como resultado, la metodología de trabajo más eficiente y seguro [22].

Cabe resaltar, que las técnicas de trabajo han sido desarrolladas por los mismos operarios en sus labores cotidianas, quienes aportaron iniciativas para mejorar los trabajos de reparación con actividades como la creación de herramientas de mayor utilidad y facilidad de uso. Desde 1921 se tiene registro de herramientas construidas con materiales no conductivos, como la Plataforma Aislada [23]; años más tarde (1961) se fabricaron escaleras aisladas en fibra de vidrio y se utilizó la primera canasta para trabajo a potencial [24].



**Figura 3.** Tipos de mantenimiento.

Fuente: Los autores.

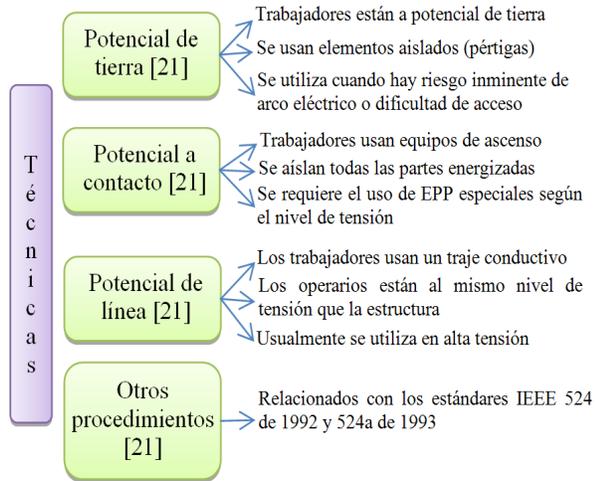


Figura 4. Técnicas de mantenimiento en línea energizada

### 3. CENTROS DE FORMACIÓN Y SUS HERRAMIENTAS PEDAGÓGICAS

Los espacios de formación, surgieron como una necesidad de prevenir accidentes fatales atribuidos a la corta experiencia de los trabajadores, que ejecutaban labores de construcción o reparación sobre líneas energizadas.

Las personas encargadas de capacitar a la nueva generación de linieros, generalmente han sido operarios veteranos. Con el tiempo se crearon instituciones dedicadas a brindar educación especializada en redes eléctricas a nivel técnico, tecnológico y profesional [25].

Por otra parte, los aprendices se vinculaban a equipos de trabajo como ayudantes, de tal manera que repartían su tiempo entre el trabajo y los estudios. La carrera de liniero en las escuelas de Estados Unidos, tenía una duración de tres años; durante ese tiempo la persona debía aprender a escalar en los postes, manejar las herramientas, controlar sensaciones incómodas en alturas, conocer las medidas de prevención y evaluar las condiciones de riesgo. A medida que aprobaba distintos módulos de aprendizaje, ascendía de grado hasta obtener el título profesional [17].

Inicialmente la experiencia se concentraba en el género masculino, no obstante, esta situación ha cambiado con la participación de muje-

res en los equipos de trabajo. Actualmente, sin importar el género, las personas calificadas son miembros valiosos en las cuadrillas [2].

#### 3.1. Centros de entrenamiento

Generalmente las empresas del sector eléctrico (en especial las dedicadas a la transmisión y distribución de energía), disponen de espacios especiales para la formación de personal operativo, perteneciente a las áreas de trabajo sobre redes eléctricas. De igual manera, entidades de formación privadas imparten cursos intensivos a futuros linieros, orientados a competencias básicas o especializadas.

Algunas de las entidades se conforman como centros de entrenamiento, escuelas o sociedades de expertos que se limitan a prestar el servicio de capacitación en instalaciones externas. Entre las organizaciones dedicadas a la formación de linieros se destacan:

- Southeast Lineman Training Center – Trenton, GA – USA.
- Northwest Lineman College – Oroville, CA – USA.
- Lakeland Electric Energy Delivery Training Center - Lakeland, FL – USA.
- North American Lineman Training Center – McEwen, TN - USA.
- Trinidad State Junior College – Trinidad, CO – USA.
- Kleinburg Training Centre – Kleinburg, Ontario - Canada.
- Centro de formación Comisión Federal Eléctrica - México.
- Centro de formación de especialidades eléctrica ENS - Ciudad de Panamá - Panamá.
- Centro de Entrenamiento Bosanova – Bogotá D.C -Colombia.
- Centro de formación laboral Nueva Venezuela - Venezuela.
- Centro de entrenamiento Persist - Santiago – Chile.

#### 3.2. Generalidades en los procesos formativos

La formación de los técnicos, ha progresado de

forma paralela a la evolución de las técnicas de mantenimiento en los procesos de generación, transmisión, distribución y comercialización de energía eléctrica.

Los primeros linieros tuvieron una formación empírica, sectorizada por compañías y centrada en las tareas de mantenimiento con líneas desenergizadas. Todo el conocimiento se concentró en técnicos con amplia experiencia, cuyas lecciones aprendidas en terreno, tenían un alto costo para la integridad física de los operarios, a causa del alto riesgo al que se veían expuestos mientras experimentaban y ejecutaban sus labores cotidianas [26].

En tiempos modernos, el trabajo en redes de distribución se convirtió en una labor jerárquica y secuencial. Aunque la metodología pedagógica para linieros no contempla un programa de formación estandarizado o reconocido mundialmente, hay particularidades claras sobre las etapas de formación contemporánea, cuyos módulos contemplan nociones básicas de electricidad, teoría y práctica de distribución eléctrica, procedimientos en redes subterráneas, identificación y manipulación de equipos, identificación de redes y estructuras aéreas, prevención de riesgos laborales, normatividad legal, procedimientos de cubrimiento y métodos de maniobra mecánica [27][28].

Durante los programas de formación, se enfatiza la importancia que tiene la concentración del operario en la tarea asignada, el desarrollo de habilidades para manipular equipos, la tranquilidad al ejecutar labores complejas y la importancia del trabajo en equipo [29][30].

### 3.3. Métodos de formación

La formación en competencias laborales, es un tema de auge dentro del entorno laboral contemporáneo en Colombia, debido a su exigencia legal según la Resolución 1348 de 2009 y las políticas de seguridad de las empresas del sector eléctrico [31], las cuales cobijan a las personas que desempeñan labores especiales o de alto riesgo, como la realización de maniobras y mantenimiento de redes eléctricas con tensión.

Las competencias laborales se refieren a los conocimientos, habilidades y actitudes necesarias para que las personas jóvenes se integren con seguridad y tengan un desempeño eficaz en el mundo laboral [32]. Una metodología para lograr que la formación sea adecuada, se relaciona con el análisis de las etapas que recorre el aprendiz en su proceso pedagógico, donde existen diversas teorías aplicadas.

Entre las diversas teorías de formación profesional, existe una clasificación presentada por Noel Burch, ex empleado de Gordon Training International (compañía dedicada al entrenamiento del recurso humano en Solana Beach, California – USA); que plantea cuatro etapas secuenciales por las que cruza un empleado en su camino al desarrollo de una habilidad laboral [33]. Iniciando por un estado de incompetencia e inconciencia, es decir, la persona no reconoce que no tiene una noción ni una habilidad para desarrollar una tarea. Luego de alguna formación teórica básica y estímulos para el aprendizaje, se asciende a un estado incompetente y consciente, en donde el individuo reconoce que no aún no tiene los conocimientos necesarios para desempeñarse laboralmente en el área, pero reconoce los temas o puntos clave que aprenderá si continúa el proceso pedagógico.

Para alcanzar el tercer nivel, es necesario comenzar a experimentar, y practicar los conocimientos teóricos, obtenidos en una primera etapa de formación, donde la persona es competente, pero no tiene experiencia suficiente para completar de forma hábil una tarea, es decir incurre en un esfuerzo físico y mental para lograr un objetivo; esta etapa se presenta generalmente al finalizar programas educativos estándar, en donde se examina una parte teórica y práctica por tiempo limitado. En la etapa final, la persona entrena constantemente, para ser competente por su formación y realizar sus labores de forma hábil, es decir, por toda su experiencia y práctica, el desarrollo de tareas laborales se vuelve algo automático y rápido, sin generar conflicto o un esfuerzo considerable [34]. La figura 5, ilustra las cuatro etapas de la formación expuestas por Burch en 1970.

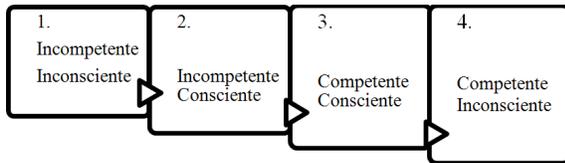


Figura 5. Etapas en el proceso de formación productiva

### 3.4. Clases de formación

Recopilando la información consultada en las referencias y entrevistas a profesionales del sector eléctrico, se identifican tres clases de formación:

#### 3.4.1. Formación empírica



Figura 6. Formación empírica. Fuente: Los autores

Se basa en la observación, y recibe sustento de los consejos entregados por compañeros de trabajo o jefe directo. El método científico se basa en la práctica iterativa de ensayo y error. La figura 6, representa el equilibrio que se debe conservar en esta clase, pues consiste en limitar

los riesgos de las tareas y no permitir el exceso de confianza que suele brindar la experiencia, pues si alguno de estos dos elementos se eleva, la línea central perderá estabilidad.

#### 3.4.2. Formación dirigida

Se basa en información transmitida por un tutor (instructor), usando herramientas pedagógicas como presentaciones, guías, documentación bibliográfica y charlas grupales. El aprendizaje se realiza de manera teórica y la práctica se ejecuta en estructuras des energizadas. Las evaluaciones son de índole teórico-prácticas y al final de la capacitación se hace un proceso de inmersión del alumno a cuadrillas o grupos de trabajo en campo.

#### 3.4.3. Formación virtual

Se basa en información disponible en plataformas computacionales, apoyada en el uso de un ordenador, donde se tienen software para utilizar como aplicación de simulación, realidad virtual y multimedia. Se considera un método de auto-aprendizaje, con la supervisión y seguimiento de un tutor. Las evaluaciones son teórico-prácticas y al final de la capacitación el tutor determina si la persona es competente.

Tabla 1. Herramientas de simulación dedicadas al entrenamiento, capacitación y formación de operarios

Año	PAÍS	Nombre	Aprendizaje
2011	México	ALEn3D	Capacitación y entrenamiento para mantenimiento de líneas de la red de distribución de la Comisión Federal de Electricidad (CFE) [26].
2008	Brasil	UGV- UHE	Formación de ingenieros y operarios de Hidroeléctrica Tucuruí Compañía de Energía Eléctrica del norte de Brasil en el estado de Pará [35][36].
2006	Corea	COS	Sistema de capacitación para trabajadores de línea viva [37].
2003	Singapur	V-Realism	Herramienta de formación para el entrenamiento en mantenimiento de bomba centrífuga [38].
1999	España	SVR	Entrenar personal relacionado con la operación manual de equipos de subestaciones eléctricas de Iberdrola [39].
1999	Canadá	SEDA-VRML	Formación de operarios de mantenimiento de transformadores de alta tensión Hydro-Quebec [40].
1995	Canadá	ESOPE-VR	Entrenamiento de trabajadores de centros de distribución Hydro-Quebec [41][42].
1993	Hungría	DTS	Entrenamiento de operarios del centro de despacho de la región norte de Hungría, Compañía de Electricidad (EMASZ KDSZ) [43].
1993	USA	DTS	Capacitación de operadores del centro de control de NY.[44].
1991	USA	OTS	Capacitación de operadores de centros de control (EPRI) [45].

La tabla 1, indica algunas de las herramientas de simulación propuestas por las universidades, organismos de investigación y compañías del sector eléctrico, para la capacitación de operarios en diferentes campos de trabajo. Todos los simuladores fueron desarrollados entre 1990 y 2012.

## 4. NORMATIVIDAD

Las normas y estándares internacionales, cumplen un papel fundamental en el cuidado de la salud y la vida de quienes participan en los trabajos de alto riesgo, como lo es el mantenimiento en línea viva a contacto. Algunas entidades que lideran el tema son: la Organización Internacional del Trabajo (OIT) y la Organización Internacional de Normas (ISO).

A continuación se describe brevemente la normatividad que tiene gran influencia en la capacitación de los trabajadores y sustentan la misión de los centros de formación.

### 4.1. Internacional

Las normas internacionales se refieren en general a contar con personal competente y tener programas de capacitación.

#### 4.1.1. ISO 9000:2000

Sistemas de gestión de calidad. En la sección 6.2 Gestión de los recursos humanos expresa que “el personal que realice trabajos que afecten la conformidad con los del producto debe ser competente con base en la educación, formación, habilidades y experiencias apropiadas” [46].

#### 4.1.2. OHSAS 18000: 2007

Sistemas de gestión de la Seguridad y Salud en el Trabajo (SST), Requisitos (Occupational health and safety management system- Specification). En su literal 4.4.2 sobre competencias, formación y toma de conciencia, establece que “la organización debe asegurarse de que cualquier persona que trabaje para ella y que realice tareas que puedan causar impactos en la

SST, sea competente tomando como base una educación, formación o experiencia adecuadas y deben mantener los registros asociados” [47].

## 4.2. Nacional (Colombia)

### 4.2.1. Resolución 1348 de 1009

Por la cual se adopta el reglamento de salud ocupacional en los procesos de generación, transmisión y distribución de energía eléctrica en las empresas del sector. En el capítulo I, artículo 7, especifica el perfil ocupacional del ejecutor de TcT, especifica los requerimientos que incluye el alto grado de habilidad manual, coordinación visual y motora, capacidad de concentración, sentido de responsabilidad, conocer los dispositivos, equipos y las normas. En el capítulo II se especifican los trabajos y se hace énfasis en la habilitación de personal (evaluación o acreditación de competencias laborales) [9].

### 4.2.2. Decreto 933 de 2003

Por delegación del gobierno nacional, “El Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), regulará, diseñará, normalizará y certificará las competencias laborales” [48]. Con base en este decreto el SENA, ha creado programas específicos para el sector eléctrico, en donde emite los certificados en las competencias laborales de “Mantenimiento en línea viva de redes aéreas de distribución de energía eléctrica”, “Supervisión del mantenimiento en línea viva de redes aéreas de distribución de energía eléctrica” y “Control de la ejecución del mantenimiento de redes aéreas de distribución de energía eléctrica niveles de tensión II y III” [49]; otorgados a técnicos en formación, para habilitar su desempeño en cargos que exigen el perfil ocupacional.

## 5. PROPUESTA DEL SISTEMA EMULADOR

En general, los documentos referenciados, (artículos de revistas, informes técnicos, trabajos de grado, normas y recomendaciones) y los profesionales de Endesa Colombia entrevistados durante la construcción del estado del arte que trata este artículo, coinciden en la impor-

tancia de los centros de formación y el uso de herramientas didácticas para la capacitación y entrenamiento del personal técnico, con el fin de brindar un ambiente en el que los operarios puedan desarrollar las habilidades mediante la inmersión en espacios de práctica seguros y realistas.

De allí, surge la idea de proponer el diseño de un sistema emulador para ser implementado en el Centro de Entrenamiento Bosanova, sobre la red de MT normalizada por Codensa S.A E.S.P; con un sistema acondicionado para la detección de errores y que permita almacenar el registro visual de las tareas desarrolladas por el aprendiz en tiempo real. Una visión de lo que debe incluir el diseño se resume en la figura 7.

Existen diversas limitaciones técnicas y legales que brindan parámetros de referencia para el diseño y la protección de la salud de los usuarios. Entre ellas es reglamentario el cumplimiento de los estándares establecidos en la NTC 4120 (Efectos de la corriente sobre los seres humanos y los animales domésticos. Parte 1, aspectos generales) [50] para exposición de los usuarios a la corriente eléctrica, pues este es el riesgo más importante a limitar desde la etapa de diseño.

Adicionalmente, los parámetros de diseño y especificación de los equipos que componen el sistema, deben respetar los umbrales impuestos en los códigos eléctricos aplicables (NTC, RETIE, etc.), para garantizar una operación segura dentro de un ambiente pedagógico, sin limitar el realismo ni crear condiciones extraordinarias de cualquier tipo de riesgo.

Al concatenar las restricciones técnicas de funcionamiento en el Centro de Entrenamiento, junto a las normativas regulatorias en seguridad, se plantea desarrollar la propuesta de diseño del sistema emulador, con una metodología dividida en cuatro etapas (figura 8) y un alcance orientado directamente a documentos de guía para su futura implementación, contruidos a partir del análisis de los parámetros actuales de la red, las consideraciones técnicas y normativas mencionadas anteriormente, si-

mulaciones del sistema eléctrico a implementar, y una proyección técnica y presupuestal de insumos y obras indispensables para la ejecución del simulador (figura 7).

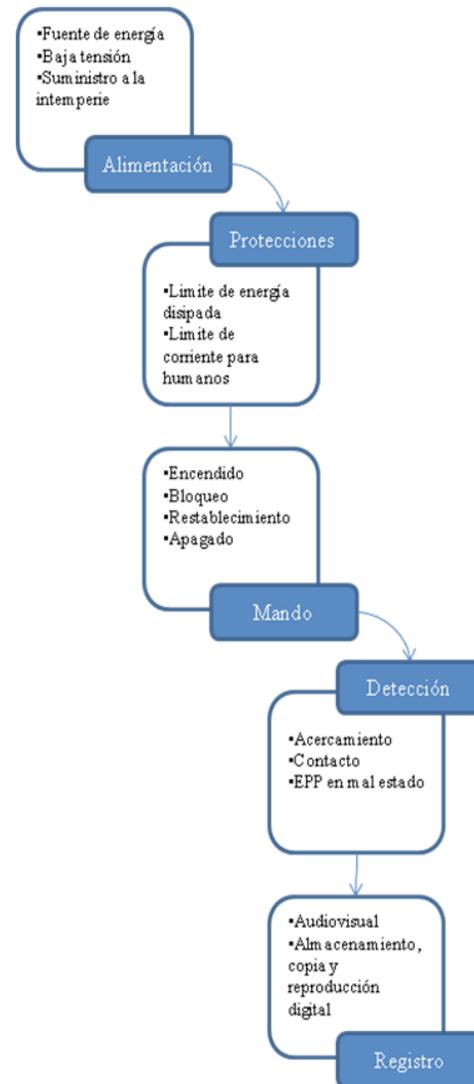


Figura 7. Diagrama de funcionamiento del sistema emulador

Como producto final, se estima el aumento de disponibilidad del recurso humano apto para trabajar en línea viva sobre las redes de distribución eléctrica, propiedad de las compañías del grupo Endesa en Colombia, por medio de una mejora significativa en los procesos de inducción, capacitación y entrenamiento de técnicos y supervisores, además de fortalecer el

proceso de entrenamiento, con la posibilidad abierta de documentar visualmente las practicas de los empleados, como evidencia de su desempeño, acreditando la competencia laboral útil para su labor diaria (figura 8 y 9).



Figura 8. Metodología de desarrollo de la propuesta



Figura 9. Estructura y alcance de la propuesta

## 6. CONCLUSIONES

El recurso humano de las compañías es un capital valioso e indispensable, pues hace parte del dinamismo del mercado del sector eléctrico. Los técnicos, operarios y todo el personal rela-

cionado con el funcionamiento de los sistemas cumple una función vital y es la de garantizar la operatividad y disponibilidad de los sistemas. Por otra parte, los operarios son el punto clave para cumplir con los índices de calidad de la prestación del servicio, mientras se enfrentan a condiciones climáticas, de emergencia o de mantenimiento con periodicidad aleatoria en el sistema. No obstante, muchas de las actividades que ejecutan los linieros, resultan altamente riesgosas, razón por la cual es primordial una excelente capacitación, formación y entrenamiento de todo el personal operativo, de tal forma que sean personas competentes y tengan habilidades altamente desarrolladas para maniobrar los equipos, trabajar en grupo y tomar decisiones adecuadas acorde a las diferentes circunstancias que se puedan presentar (de acuerdo a la teoría de Burch).

Los avances tanto tecnológicos como pedagógicos, permiten un enlace positivo entre el trabajador y los procedimientos normalizados, permitiendo a los aprendices o auxiliares, realizar tareas habituales dentro de las actividades de capacitación. En la actualidad no se cuenta con un grado suficiente de realismo, producto de la máxima limitación del riesgo durante la formación. Sin embargo, los métodos convencionales no abarcan todas las expectativas del sector eléctrico para la contratación del personal novato, en el campo de mantenimiento.

Los centros de entrenamiento, permiten transmitir los conocimientos de personal veterano, incluir nuevos conceptos, aplicar nuevos métodos de aprendizaje, evaluar las capacidades, el comportamiento, el nivel de concentración y las competencias tanto de alumnos como de tutores, con el fin de aprender a través de la práctica. El ciclo expuesto, se complementa con las actualizaciones periódicas programadas por la compañía y por supuesto, con los mismos aportes del personal operativo, quienes perciben las oportunidades, debilidades y amenazas de su ambiente de trabajo.

Al entrelazar estos factores, se evidencia la conveniencia de realizar un trabajo colaborativo entre la universidad y Endesa Colombia,

con el propósito de desarrollar ideas innovadoras guiadas por profesionales experimentados y conocedores de las necesidades actuales en materia de protección a la vida y la salud de los trabajadores, mantenimiento del sistema, calidad de servicio, entre otras; las cuales hacen parte de los retos de la ingeniería moderna.

### Referencias Bibliográficas

- [1] [S. Zhang, J. Ge; study on generation and transmission maintenance scheduling under electricity market, IEEE, Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), pp 1-4, Asia-Pacific, 2010.
- [2] D. Stiles; Working live, Utility Engineering, pp 12 - 14, 2009.
- [3] International Electrotechnical Commission IEC, International Electrotechnical Vocabulary- IEC 60050-651 Live working, 1999.
- [4] G. Jhonson; Workers coin original phrases as short cuts in giving orders or in describing features of their jobs, Popular Science, pp 36, 1933.
- [5] T. Shoemaker, J. Mack; The lineman's and cableman's fiel manual, editorial McGraw Hill, pp 150-153, 2009.
- [6] National Fire Proteccion Associaton NFPA, NPFA 70E, norma para los requerimientos de seguridad eléctrica de los empleados en los lugares de trabajo. Quincy, MA, 2000.
- [7] J. Sánchez; Seguridad en el manejo de la energía eléctrica: línea viva, España, 2006.
- [8] Ministerio de Minas y Energía, Resolución 181294 - Reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas RETIE, Colombia, 2008.
- [9] Ministerio de la Protección Social, Resolución 1348- Reglamento de Salud Ocupacional en los Procesos de Generación Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica en las Empresas del Sector Eléctrico, 2009.
- [10] J. Benavides, Redes Eléctricas, Trabajo de grado, España, 2004.
- [11] International Brotherhood of Electrical Worker IBEW, Carrying the IBEW, Dream into the 21st Century, 2005.
- [12] Bureau of Labor Statistics, Census of fatal occupational injuries charts (1990 - 2011), Washington , 2012.
- [13] M. Watkins; Electrical linemen risk life and limb, The Ledger, 2010.
- [14] F. Bertranou, G. Pérez; Normas internacionales del trabajo, seguridad social y pensiones, 2006.
- [15] Schneider Electric, Technical training in electrical distribution , 2012.
- [16] Elektra Noroeste S.A (ENSA), Primer Centro de Formacion de Especialidades Electricas en Centroamerica, 2012.
- [17] G. Waltz; How linemen handle hot wires and stay alive, Popular Science, pp 144 -149, 1949.
- [18] John Mitchell Moubray, Mantenimiento centrado en confiabilidad, California, 2004.
- [19] L. Poyón, Técnicas e mantenimiento, conversiones y mejoras, en líneas eléctricas distribución de media tensión 13,8 kV y 34,5 kV en vivo, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, Guatemala, 2009.
- [20] Internaciona Electrotechnical Commission IEC, International Electrotechnical Vocabulary IEC 60050-191 Dependability and quality of service, 1990.
- [21] Institute of Electric and Electronics Engineers (IEEE), Guide for maintenance methods on energized power lines. New York, 2003.
- [22] H.Andrade; Mantenimiento en línea viva,

### 7. AGRADECIMIENTOS

Endesa Colombia, Subgerencia de Prevención de Riesgos Laborales, Calidad y Procesos. Global Business Service, División de Gestión Laboral de Contratistas, Departamento Mantenimiento Líneas.

- España, 2009.
- [23] P. Schwarzbach; Protection from the live wires by special apparatus, Popular Science, pp 31, 1921.
- [24] American Electric Power; No fear of shock, Popular Science, pp 71, 1961.
- [25] International Correspondence School; Popular Science, p. 5, New York, 1961.
- [26] I. Bobadilla, M. Pérez, A. Ayal; Sistema para la capacitación y entrenamiento para el mantenimiento de líneas de la red de distribución, ALEn3D, boletín 03, Instituto de Investigaciones Electricas (IIE), Comisión Federal de Electricidad de México, pp 117 - 125, 2011.
- [27] Southeast Lineman Training Center; 2013 -2014 Catalog, Washington, 2012.
- [28] Trinidad State Junior College; Advising Sheet - Line Technician, 2009.
- [29] Coopser; Instructivos para trabajos a contacto en líneas con tensión, 2010.
- [30] M. Ramos; Proceso de selección, capacitación y habilitación de personal para TCT, CIER, no. 61, pp 55-63, 2011.
- [31] D. Acosta; Gestión y desarrollo de colaboradores, Bogotá, 2012.
- [32] Ministerio de Educacion Nacional, Republica de Colombia. Competencias Laborales - Colombia Aprende. [En línea], consultado en Agosto 4 de 2012, disponible en: <http://www.colombiaprende.edu.co/html/home/1592/article-228189.html>
- [33] Alan Chapman. Businessball. [En línea], consultado en Agosto 11 de 2012, disponible en: <http://www.businessballs.com/consciouscompetencelearningmodel.htm>
- [34] Gordon training International. learning a new skill is easier said than done - Gordon Training International. [En línea], consultado en Octubre 9 de 2012, disponible en: <http://www.gordontraining.com/free-workplace-articles/learning-a-new-skill-is-easier-said-than-done/>
- [35] M. Alves, M. Filho, F. Vaz; Maintenance and assembly training in a hydroelectric unit of energy using virtual reality desktop, IEEE Latin America Transactions, vol. 6, no. 5, pp 484 - 491, 2008.
- [36] M. Alves, M. Filho, M. Nunes; Maintenance and operation of a hydroelectric unit of energy in a power, ELSEVIER, vol. 32, pp 599 - 606, 2010.
- [37] C. Park, G. Jang, Y. Chai, "Development of a virtual reality training system, International journal of human-computer interaction, vol. 20, no. 3, pp 285- 303, 2006.
- [38] R. Li, P. Khoo, S. Beng; Desktop virtual reality for maintenance training: an object oriented prototype system (V-REALISM), ELSEVIER, vol. 52, no. 2, pp 109-125, 2003.
- [39] E. Arroyo, J. Los Arcos; SRV: a virtual reality application to electrical substations operation training," IEEE, pp 835-839, 1999.
- [40] E. Tam, F. Badra, R. Marceau; A web-based virtual environment for operator training, IEEE Transaction on Power System, vol. 14, no. 3, pp 802 - 808, 1999.
- [41] E. Garant, A. Daigle, P. Desbiens; A virtual reality training system for power-utility personnel, IEEE, pp 296-299, 1995.
- [42] E. Garant, A. Daigle, P. Desbiens; Design and operation of a virtual reality operator-ikaining system, IEEE, vol. 11, no. 3, pp 1585-1591, 1996.
- [43] D. Szendy, C. Demjén; An integrated dispatcher training simulator for use in a regional electricity distribution centre, Special Feature, pp 66-70, 1994.
- [44] G. Miller, S. Vadari, K. Brewer; Experiences using the dispatcher training simulator as a training tool, IEEE, vol. 8, no. 3, pp 1126-1132, 1993.
- [45] Electric Power Research Institute EPRI, Operator training simulator, 1991.
- [46] International Organization for Standadization ISO, Norma Internacional ISO 9001, 2008.
- [47] Asociación Española de Normalización y Certificación AENOR, Traducción del estándar OHSAS 18001:2007, 2007.
- [48] Ministerio de la Protección Social, República de Colombia, Decreto 933, 2003.
- [49] Servicio Nacional de Aprendizaje SENA, Norma de competencia laboral , Colombia, 2010.
- [50] Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación ICONTEC, Norma técnica Colombiana NTC 4120, 1997.