

Diseño de un plan de gestión de calidad e inspección en la construcción de subestaciones eléctricas



Abstract

This document contains the design of a System of Quality Control and Inspection in the Construction of Electrical Substations for the Instituto Costarricense de Electricidad, especially for Strategic Business Unit Transmission of Electricity in its Expansion Process Network (UEN TE). The main objective of this work is to update and improve existing construction specifications and undertake the design of a system of quality control and inspection for the construction of electrical substations.

In order to achieve the stated objective, a series of interviews to engineering professionals were carried out, as well as field visits to the electricity substations throughout the country. This becomes the main source of information.

As a result of this work, the System of Quality Control and Inspection in the Construction of Electrical Substations was obtained, which consists of a series of documents such as Electrical Substations Construction Requirements, Aspects of Building Design of Electrical Substations and checklist for Building Electrical Substations.

With the design of System of Quality Control and Inspection it is ensured that the UEN TE has the necessary tools to control the quality of its electrical projects.

Keyword: System, control, quality, inspection, electrical substations, construction, checklist.

Resumen

El presente documento contiene el Diseño de un Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas para el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), especialmente para la Unidad Estratégica de Negocios Transporte de Electricidad en su Proceso de Expansión de la Red (UEN TE). El objetivo principal de dicho trabajo es actualizar y mejorar las especificaciones constructivas existentes y realizar el diseño de un plan de gestión de calidad e inspección para la construcción de subestaciones eléctricas.

Para lograr el objetivo planteado, se realiza una serie de entrevistas a diferentes profesionales en ingeniería, así como visitas de campo a subestaciones eléctricas del país. Lo anterior se convierte en la fuente principal de información.

Como resultado de dicho trabajo, se obtiene el Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas, el cual esta formado por una serie de documentos, los cuales son: Requerimientos Constructivos en Subestaciones Eléctricas, Aspectos de Diseño en la Construcción de Subestaciones Eléctricas y Listas de Verificación para la Construcción de Subestaciones Eléctricas

Con el diseño del Plan de Gestión de Calidad e Inspección, se garantiza que la UEN TE cuenta con las herramientas necesarias para controlar la calidad de sus proyectos eléctricos.

Palabras claves: Sistema, control, calidad, inspección, subestaciones eléctricas, construcción, listas de verificación.

Diseño de un plan de gestión de calidad e inspección en la construcción de subestaciones eléctricas

PEDRO LUIS SUÁREZ VARGAS

Proyecto final de graduación para optar por el grado de
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Diciembre del 2011

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

Prefacio.....	1
Resumen ejecutivo	3
Metodología.....	14
Resultados	18
Análisis de los resultados.....	38
Conclusiones	42
Recomendaciones	44
Apéndices.....	46
Anexos.....	51
Referencias	56

Prefacio

Cuando se adquiere un producto o servicio, se espera que el mismo logre satisfacer las expectativas y requisitos establecidos por la persona que lo adquiere. Cuando se logra lo anterior, se dice que se llega al nivel de calidad deseado por el cliente.

Para llegar a la calidad, se deben planificar y organizar las especificaciones del producto o servicio que se desea adquirir, por lo que sistemas de ejecución y control son de gran importancia para lograr cumplir con los requerimientos exigidos por el cliente.

Los planes de gestión de calidad, independientemente de la forma en que se estructuren, recopilan todos los requerimientos establecidos por el cliente de un proyecto y velan por su cumplimiento. En ellos se normalizan todos los intereses deseables en un producto. En los casos de proyectos constructivos o similares, se ha comprobado que cada uno tiene características particulares, por lo que su ejecución es variada.

Con la ayuda de la normalización y estandarización, se trata a toda costa, aunque entendiendo su heterogeneidad, de clasificar cada proyecto dentro de uno solo, logrando satisfacer los requerimientos exigidos por el dueño del proyecto, en cada uno de ellos por igual.

Aunque los aspectos de calidad de los clientes se consideran como de cumplimiento obligatorio, se necesitan herramientas eficientes en la comprobación de los mismos. Los sistemas de inspección cumplen con esta función, convirtiéndose en complemento de los planes de gestión de la calidad, cuando se habla de calidad se debe de pensar en la inspección, ya que son uno solo.

Con la globalización de los últimos años, los temas de calidad, control, estandarización, inspección y otros, son aplicados y practicados por todo el mundo. Costa Rica no se encuentra exenta de aplicar estos conceptos en todos los productos que ofrece. Últimamente, han sido la

clave para llegar a ser competitivos a nivel mundial, por lo que muchas de las industrias, instituciones gubernamentales y no gubernamentales, han venido aplicando poco a poco esta práctica. El sistema anterior se ha convertido en la mejor forma de trabajar, dirigiendo a los participantes hacia objetivos y resultados comunes.

El Instituto Costarricense de Electricidad es una de las instituciones gubernamentales que se encuentra a la vanguardia. Esta ha venido trabajando bajo altos estándares de calidad, ya que sus productos son competitivos en todo el país y el mundo. La misma ha trabajado en la creación de planes de gestión de calidad e inspección de todas sus obras constructivas y administración de estas, logrando así, un lugar de importancia a nivel centroamericano y mundial.

La Unidad Estratégica de Negocios Transporte de Electricidad por medio del Proceso Expansión de la Red se encarga de planificar y desarrollar los proyectos que sean necesarios, para mantener la Red Nacional de Transporte de Electricidad en óptimas condiciones, por medio de la determinación de nuevas subestaciones eléctricas, las cuales son construidas por agentes externos o internos del ICE. Es aquí donde nace la importancia del diseño de un plan de gestión de calidad e inspección en la construcción de subestaciones, ya que esta entidad aunque no construye sus propios proyectos, sí vela por la buena ejecución de los mismos.

Es por esta razón, que los planes de gestión de calidad son de suma importancia para este departamento, donde además de planificar, es necesario tener una herramienta que dirija a los constructores de sus proyectos hacia el producto de calidad que la UEN necesita, para así asegurar el buen funcionamiento de la Red Nacional de Transporte de Electricidad. Pero además de marcar las pautas para obtener productos de calidad, esta requiere de un ágil sistema de inspección que logre verificar la calidad del producto, respaldando los trabajos

realizados. Es importante mencionar que estos planes de gestión deben ser eficientes, ágiles, sencillos y actualizados, ya que se necesita que vayan de la mano con la tecnología y las disposiciones del ICE, para que a través del tiempo no pasen a ser herramientas sin sentido y erróneas en la realización de nuevos proyectos.

Para poder realizar lo anteriormente citado, se tiene como objetivo principal del presente proyecto, la actualización y mejoramiento de las especificaciones constructivas existentes en la UEN Transporte de Electricidad y realizar el diseño de un plan de gestión de calidad e inspección para la construcción de subestaciones eléctricas en el Instituto Costarricense de Electricidad.

- Ing. Mario Valerio B.

También se agradece todos los profesores que forman parte de la Escuela de Ingeniería en Construcción, quienes me regalaron parte de su conocimiento durante toda la carrera.

Se agradece especialmente a los siguientes profesores que me ayudaron a trabajar este tema:

Ing. Ana Grettel Leandro Hernández, profesora guía del proyecto de graduación.

Ing. Miguel Artavia A, profesor lector del proyecto de graduación.

Agradecimiento

Agradezco primeramente a Dios y La Virgen de los Ángeles por permitirme concluir la Licenciatura de Ingeniería en Construcción, al ser pilares fundamentales en todos los años de estudio.

A toda mi familia y seres queridos que han sido parte importante de este logro, a todos ellos dedico esta gran meta.

A mis tutores del Instituto Costarricense de Electricidad que siempre estuvieron colaborando con la realización del proyecto, el Ing. José Carlos López Mora y el Ing. Juan Carlos Cárdenas Alvarado. Junto a ellos debo de agradecer a todo el grupo de trabajo del área de expansión de la red de la UEN Transporte de Electricidad.

Además, a los siguientes profesionales que formaron parte del desarrollo de este proyecto, los señores (as):

- Ing. Marco Calvo Araya.
- Ing. Guillermo Calderón Vega.
- Ing. Tony Méndez Parrales.
- Ing. Diego Rodríguez Solórzano.
- Ing. Silvio Pérez Águila.
- Tec. Edwin Molina Espinoza.
- Ing. Krissia Chavarría Vargas.
- Ing. Alberto Ramírez Alpízar.
- Tec. Carlos Oviedo Núñez.
- Ing. Marieta Garita Guzmán.
- Tec. Sergio Coto Camacho.
- Ing. Guillermo Arroyo Gutiérrez

Resumen ejecutivo

Hoy en día el área de la construcción se encuentra realizando grandes cambios en su forma típica y rígida de pensar, influenciada mayormente por la globalización de la época. Es por tal razón, que el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) no escapa de estos cambios, por lo que de igual manera, la Unidad Estratégica de Negocios Transporte de Electricidad en su Proceso de Expansión de la Red (UEN TE) como parte de esta misma institución, experimenta los mismos cambios en su interior. Según lo planteado anteriormente, se diseña para la UEN TE un Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas, como repuesta a los cambios constructivos y organizacionales.

El plan de gestión anterior viene a generar para la unidad una herramienta indispensable en la forma de supervisar los contratos de sus proyectos eléctricos. La UEN TE es una unidad que no construye sus propios proyectos, estos son desarrollados por agentes externos, por lo que el control de la calidad y la inspección de dichas obras son fundamentales para lograr los resultados deseados en sus infraestructuras.

Este Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas recopila todos los requerimientos que deben seguir las empresas constructoras para realizar los trabajos establecidos por la unidad. Además, el plan de gestión logra crear para la unidad, herramientas actuales e ingenieriles para inspeccionar y calificar a sus constructores.

El presente trabajo tiene como objetivo principal la actualización y el mejoramiento de las especificaciones constructivas existentes y realizar el diseño de un plan de gestión de calidad e inspección para la construcción de subestaciones eléctricas en el Instituto Costarricense de Electricidad.

Para lograr los objetivos planteados, se realiza una serie de entrevistas a profesionales

de diferentes áreas de la ingeniería (civil, mecánica y electrónica), así como la visita de campo a diferentes subestaciones, con el fin de revisar cada una de las consideraciones constructivas planteadas en el Manual de Construcción de Subestaciones, el cual era el único documento normativo vigente con que contaba la unidad para establecer ciertos parámetros constructivos. Para todo lo anterior, fue necesario seleccionar los entrevistados y lugares de visitas, debido a que esta unidad se divide en tres regiones principales que abarcan todo el país (Huetar Brunca, Chorotega y Central). La información obtenida en todas las entrevistas y visitas realizadas, es analizada y consultada con la UEN TE, ellos son los encargados de tomar la decisión de cuáles observaciones, comentarios y aportes son aceptados para colocarse dentro del nuevo plan de gestión.

Como resultado de todo el trabajo anterior, se crea una serie de documentos que forman del Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas, los cuales son: Requerimientos Constructivos en Subestaciones Eléctricas, Aspectos de Diseño en Subestaciones Eléctricas y Listas de Verificación para Subestaciones Eléctricas (ver sección de apéndices y anexos).

Como conclusión principal de este trabajo, se llega a determinar que el Plan de Gestión de Calidad e Inspección es de vital importancia para la UEN TE, ya que esta no contaba con un pilar de control de calidad e inspección que respondiera por las condiciones actuales de sus proyectos, lo cual generaba grandes problemas en la calidad de las subestaciones eléctricas.

Introducción

En la actualidad, el tema de la inspección de obras y la administración de contratos está de moda en muchas de las empresas nacionales e internacionales. La administración de un contrato, se realiza por múltiples modalidades, según las políticas y facilidades de cada empresa, pero en la mayoría de los casos, se separa la construcción, de la inspección y supervisión del proyecto. Cada una de las partes de un proyecto, defienden sus propios intereses y establecen sus objetivos.

La Unidad Estratégica de Negocios Transporte de Electricidad por medio del Proceso Expansión de la Red (UEN TE), es una unidad del Instituto Costarricense de Electricidad encargada de mantener el Sistema Eléctrico Nacional en óptimas condiciones, garantizando el transporte de la electricidad a cada uno de los abonados del país e incluso del extranjero. Esta unidad se encarga de planificar y mantener, pero no de construir; tiene la obligación de generar todas las contrataciones necesarias, para que terceros construyan a la UEN TE, toda subestación eléctrica y línea de transmisión necesaria para garantizar el servicio, pero como se dijo anteriormente, no tiene la potestad de construirlas, sino solo de supervisarlas.

Por lo anterior, la UEN TE contrata a otras unidades dentro de la misma institución o empresas constructoras privadas, para la construcción de sus subestaciones eléctricas y líneas de transmisión, convirtiéndose esta unidad en un cliente de su misma institución y aun más para los agentes externos.

Como cliente, esta unidad tiene bien definido el tipo de trabajo que necesita en sus proyectos, así como también, los requisitos necesarios para que sus edificaciones sean de calidad.

En la actualidad, esta unidad cuenta con un documento llamado Manual de Construcción de Subestaciones, el cual se creó en el año 2000 por un comité de la misma institución y fue modificado en el año 2006 por profesionales del

departamento. Este documento se considera como norma institucional y es aplicado en todos los contratos de subestaciones eléctricas del país, pero la realidad es que no es norma institucional, sino, normativa interna de la unidad.

El documento anterior incluye todos los requerimientos exigidos por la UEN Transporte para asegurar la calidad en sus subestaciones eléctricas, tomando en cuenta los puntos civiles, eléctricos y mecánicos. El problema del documento se centra en su desactualización, además de contener consideraciones de diseño y hasta contractuales, las cuales no deberían de estar contempladas en un documento constructivo.

Otro problema es que las subestaciones eléctricas cuentan con una serie de equipos y sistemas eléctricos que cambian aceleradamente en sus tecnologías, modificando el diseño y la construcción de las subestaciones, con igual rapidez que los cambios tecnológicos.

Al ser el Manual de Construcciones de Subestaciones el único documento normativo aplicado a las empresas contratadas para construir subestaciones, es de vital importancia que el mismo sea completo, ágil, moderno y actualizado.

La necesidad de la UEN TE radica en contar con un plan de gestión de calidad e inspección eficiente y acorde con las necesidades actuales, ya que la normativa hasta ahora utilizada no es suficiente para conseguir la calidad deseada. Tanto las empresas privadas como las unidades de servicio de su propia institución, realizan construcciones ineficientes y de baja calidad para la UEN TE.

Al contar con una normativa pobre, desactualizada y poco clara, pero aplicada de forma obligatoria a los constructores de sus proyectos en los contratos, la unidad ha tenido muchos problemas al momento de administrar y supervisar sus construcciones. Lo que busca este departamento es eliminar de forma definitiva los

problemas con sus socios y aplicar los nuevos requerimientos de calidad deseados.

Con el desarrollo del presente trabajo, se logra crear para la UEN Transporte de Electricidad un plan de gestión de calidad y de inspección, dejando a la unidad provista de las herramientas necesarias para hacer frente a las contrataciones futuras, las cuales serán mejores cada día, al realizarse el control de calidad del proyecto de forma más eficiente por parte de los supervisores de la unidad.

Con la creación de una normativa institucional que estandarice los procesos constructivos en subestaciones y listas de verificación que garanticen una inspección ágil, ordenada y respaldada, se pretende dar solución al problema de calidad de la unidad. Los resultados anteriores vendrán a marcar la calidad de lo que se quiere en los productos, tratarán de ordenar y acomodar los procesos constructivos, desde el campo hasta su administración. Además, se busca crear un plan de gestión de calidad e inspección que respalde los trabajos realizados, para cuando la unidad tenga reclamos o se sienta disconforme con los resultados de los productos.

Cabe recalcar que este documento se desarrolló dentro del área de subestaciones eléctricas, la cual envuelve temas civiles, mecánicos y eléctricos, los cuales fueron estudiados e investigados en el trabajo.

El resultado fundamental de este trabajo fue la creación de un plan de gestión de calidad e inspección para la construcción de subestaciones eléctricas, conformado por especificaciones constructivas actualizadas y vigentes en las subestaciones, un documento que contiene específicamente criterios de diseño y un sistema de control de calidad específico para la construcción de subestaciones eléctricas.

El presente proyecto se realiza en el Instituto Costarricense de Electricidad, en la Unidad Estratégica de Negocios Transporte de Electricidad, en el Proceso de Expansión de la Red, en la modalidad de "Práctica Profesional Dirigida". El trabajo consiste en el Diseño de un Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas.

Para lograr desarrollar el trabajo planteado, se sigue el objetivo principal del proyecto, el cual es actualizar y mejorar las especificaciones constructivas existentes y realizar el diseño de un plan de gestión de

calidad e inspección para la construcción de subestaciones eléctricas en el Instituto Costarricense de Electricidad.

Los objetivos específicos planteados para tal trabajo son:

- Identificar los cambios necesarios para actualizar las especificaciones constructivas en subestaciones eléctricas.
- Determinar variaciones que se están implementando en los procesos constructivos, que no están contempladas en las especificaciones.
- Reconocer criterios de diseño en las especificaciones existentes para la construcción de subestaciones eléctricas y ubicarlos en un nuevo documento específico para diseño.
- Diseñar un plan de gestión de calidad e inspección que sirva para verificar el cumplimiento de las especificaciones constructivas en el campo.
- Establecer los procedimientos necesarios para convertir las especificaciones constructivas de subestaciones eléctricas en normativa de acatamiento obligatorio en el Instituto Costarricense de Electricidad.

➤ Se debe especificar que el último objetivo específico no pudo ser abarcado. En este tema, solo se llega a redactar el documento en formato establecido por la institución para ser aceptado como norma. El problema presente en este objetivo, radica en que los resultados deben ser evaluados por un comité a definir a nivel institucional. Después de ser evaluado y corregido por el comité, se aceptará como norma. Por influencia del tiempo establecido para desarrollar el proyecto, no se puede realizar todo este trabajo de normalización.

En la realización de este trabajo, se presentaron una serie de factores que influyeron en el resultado final del documento. Las delimitaciones presentadas, se plantearán a continuación:

- *No implementación del Plan de Gestión de calidad e Inspección:* debido al periodo de

desarrollo del presente trabajo, no se contó con proyectos que reunieran las características necesarias para implementar el resultado, ya que los proyectos con que cuenta la UEN TE en el momento del trabajo, se encuentran finalizando.

- *Asimilar el área electromecánica de una subestación:* la construcción de subestaciones eléctricas implica una serie de procesos que engloban una serie de equipos de orden electromecánico, los cuales en ocasiones se encuentran lejos de la formación civil de un ingeniero en Construcción. El trabajo aquí presente, se basa en el control de calidad e inspección de estos proyectos, por lo que no se puede dejar de lado esta parte electromecánica, ya que se debe entender para poder aplicar criterios civiles, pensando en los efectos que se tendrán en esa parte electromecánica, pues ambas conforman un producto.
- *Cancelación de visitas y entrevistas:* la fuente principal de información para realizar este trabajo, se encuentra en las visitas de campo a subestaciones de las diferentes regiones, además de las entrevistas con profesionales sobre el tema. Para las entrevistas y citas con los diferentes profesionales encargados tanto de la parte civil como mecánica o eléctrica, se vio la limitante en cuanto al tiempo disponible de los mismos para reuniones en las que se iban a tratar temas de la obra, por lo que fueron canceladas o pospuestas.
- *Diferencias constructivas de las tres regiones del país:* la UEN TE se divide en tres regiones, la Huetar Brunca, Central y Región Chorotega. Por la falta de normalización y estandarización, las tres regiones tienen diferente forma de construir las subestaciones, por lo que su calidad es variada según la Región. Esto genera una dificultad, ya que se debe buscar el punto de equilibrio en lo que cada región específica para las subestaciones. Además, el traslado a las diferentes regiones del país es una limitante para recopilar información con los interesados.
- *Información protegida:* en las organizaciones externas, no pertenecientes a la UEN TE, no se recibe la adecuada colaboración, relacionada con las visitas realizadas a las

mismas, ya que estas tratan de salvaguardar sus intereses.

- *Desconocimiento de normativa existente por parte de profesionales consultados:* uno de los objetivos planteados para el proyecto trata sobre la actualización de la normativa constructiva ya existente, porque al momento de realizar entrevistas y visitas a muchos profesionales, estos desconocen de alguna normativa. Esta limitación hace que las visitas y entrevistas sean más complicadas de realizar y se consuma más tiempo de lo establecido.
- *Diferencia de criterios profesionales:* en las visitas y entrevistas realizadas a profesionales del tema, se obtiene información valiosa, la cual se considera en el desarrollo del presente trabajo, pero en muchos de los casos, se tienen diferencias de criterios sobre un mismo tema. Como solución del problema anterior, se debe buscar el equilibrio en cada aspecto de calidad e inspección aportado por los entrevistados, para plasmarlos en los documentos que conforman el plan de gestión de calidad e inspección.
- *Explicación general de los detalles constructivos:* debido a la gran cantidad de procesos constructivos e instalación de equipos y sistemas que conforman el desarrollo de una subestación eléctrica, se trata de describir un proceso constructivo o instalación de equipo, desde los puntos básicos de calidad deseables, ya que es difícil poder plasmar por escrito, todos los detalles a considerar en los trabajos. Otro factor importante para no llegar a los grandes detalles, es dejar una pequeña puerta para que las personas tengan libertad a la hora de ejecutar algunos trabajos, sin salirse del parámetro de calidad, pero que se puedan seguir mejorando los procesos.
- *No se considera la parte ambiental y de seguridad en subestaciones eléctricas:* los temas ambientales y de seguridad no se contemplan en el trabajo, ni se plasman en el documento de Especificaciones Constructivas de Subestaciones Eléctricas, ya que en el caso ambiental, este tema es muy estudiado y analizado por los profesionales del Instituto Costarricense de Electricidad y las instituciones gubernamentales, en este caso, siempre se

realizan estudios de impacto ambiental muy estrictos que regulan fuertemente el desarrollo del proyecto. La parte de seguridad en el desarrollo de una subestación se encuentra normada a nivel del Instituto Costarricense de Electricidad, por lo que indirectamente y sin depender del tipo de contratación, esta normativa se aplica fuertemente. Las dos anteriores, al ser normativas internas de la institución, así están establecida y no pueden ser cambiadas.

- *Referencia de normativa nacional e internacional:* muchos de los procesos constructivos e instalación de equipos, se referencian o realizan según normativas ya establecidas, ya que no se encuentra una mejor forma de realizar los trabajos.
- *Falta de proyectos en subestaciones con obra civil actual:* la falta de proyectos en la etapa de obra civil, dentro del tiempo del desarrollo del proyecto, hace que las visitas de campo y la implementación de las listas relacionadas con este tema no sean positivas, ya que no se puede practicar lo establecido en este proyecto.
- *No implementación de las listas de verificación:* debido al tiempo de ejecución del proyecto, la falta de obra civil dentro de ese mismo tiempo y la nula capacitación electromecánica, las listas de verificación no fueron aplicadas a proyectos de subestaciones eléctricas.

Este proyecto crea un plan de gestión de calidad e inspección en la construcción de subestaciones eléctricas, estandarizando para la Unidad Estratégica Negocios Transporte de Electricidad (UEN TE) los procedimientos de inspección y construcción en subestaciones eléctricas, de tal manera que se garantiza la obtención de productos de calidad convirtiendo las listas de verificación y documentos de referencia en herramientas esenciales para asegurar este parámetro.

Se actualizan para la UEN TE las especificaciones constructivas implementadas en la construcción de subestaciones eléctricas, según las prácticas constructivas e instalación de equipos y sistemas eléctricos utilizados en la actualidad. Las variaciones encontradas, son analizadas y consultadas con expertos, donde posteriormente serán documentadas.

Similarmente, las antiguas especificaciones constructivas contienen una mezcla de criterios constructivos y de diseño, por lo que se identifican y clasifican estos criterios y son ubicados en un nuevo documento, el cual servirá de base para que otros profesionales generen una normativa de diseño. Además, según las entrevistas, visitas y consultas realizadas a las diferentes dependencias y profesionales, se encuentran criterios de diseño que son tomados en cuenta para el documento y los parámetros a establecer.

Marco Teórico

Sistema eléctrico de potencia

Para realizar este marco teórico, se toma lo escrito por José Raull Martín y Carlos Felipe Ramírez, en sus libros de Diseño de Subestaciones Eléctricas y Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión, respectivamente. Además se utilizan diferentes fuentes de internet.

Se puede definir electricidad como el fenómeno físico originado por cargas eléctricas, estáticas o en movimiento y su interacción entre sí¹.

Hace décadas, luego de haberse descubierto la energía eléctrica, esta se convirtió en la fuente principal de energía utilizada por el hombre para desarrollar sus múltiples actividades del diario vivir.

Por esta razón, distintas naciones alrededor del mundo, se han dado a la tarea de crear su propio sistema eléctrico de potencia. Este sistema es utilizado para transportar la electricidad por todo el territorio de la nación. Todo sistema eléctrico de potencia está formado por tres partes fundamentales, las cuales son: generación, transporte y consumo.

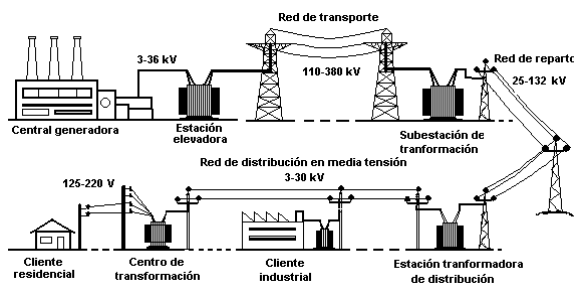


Figura 1. Sistema eléctrico de potencia típico. (Tomado de www.elctrhiguita.blogspot.com)

Los puntos de generación eléctrica son

todos aquellos donde se utilizan fuentes de energía (no eléctrica) y se transforman en electricidad, dichas fuentes se pueden establecer principalmente como²:

- Hidráulicas: en ellas se aprovecha la energía cinética y potencial de las corrientes de ríos, saltos de agua o mareas.
- Térmicas: se utiliza la energía calorífica producida por la combustión en las máquinas térmicas de hulla, petróleo, gas natural y otros combustibles.
- Geotérmicas: el calor producido en el interior de la tierra se utiliza para generar vapor de agua, el cual moverá generadores eléctricos.
- Eólicas: se aprovecha la energía cinética del aire (generada por el viento) en los molinos de viento de los aerogeneradores.
- Biomasa: se utiliza materia viva para la generación de energía eléctrica.

Cuando se genera la electricidad, esta se encuentra a un voltaje típico de 13.8 kV o 2180 A, por lo que su aumento de voltaje (kV) y su disminución en corriente (A) es necesaria para su transporte. Este tema es muy importante, ya que desde hace mucho tiempo se ha demostrado que para poder transportar la electricidad a largas distancias, se debe aumentar el voltaje y disminuir la corriente para obtener la menor cantidad de pérdidas y área transversal del cable conductor.

Este aumento de voltaje (de 13.8 kV/230 kV) se efectúa típicamente en lugares cercanos al punto de generación, por medio de subestaciones eléctricas.

La subestación eléctrica es aquel conjunto de dispositivos eléctricos que forman parte de un sistema eléctrico de potencia, su función principal es transformar las tensiones y derivar circuitos de potencia³.

En este caso, este tipo de subestación eléctrica se conoce con el nombre de subestación elevadora, ya que aumenta la tensión.

Una vez elevado el voltaje de generación, se transporta la electricidad por medio de

¹ [en línea] www.universidadperu.com [19-abril-2011]

² [en línea] www.definicion.org [19-abril-2011]

³ Raull, J. Diseño de Subestaciones Eléctricas.

conductores eléctricos (cables o barras). Los conductores son elevados desde el suelo a grandes alturas y transportados por el territorio, gracias a las torres de transmisión. Las torres de transmisión son típicamente estructuras de elementos en acero, tipo celosías y con un altura promedio de 22.0 m desde el suelo.

Una vez llevados los cables conductores a los puntos de interés (puntos de consumo), se deben conectar nuevamente al circuito; a una subestación eléctrica (subestación reductora). En esta subestación, se realizará la transformación de alta tensión a baja tensión (230 kV/138 kV o 138 kV/34.5 kV).

La electricidad de estas subestaciones se conecta al sistema de distribución residencial e industrial de cada país. Ya en este sistema se utilizan pequeños transformadores de potencia, dependiendo del uso que se quiera dar a la energía, por ejemplo, si es para uso residencial se deberá de transformar el voltaje desde 34.5 kV a 120 V o 240 V. En el caso de las industrias, estas utilizan típicamente voltajes de 43,5 kV.

El crecimiento del sistema eléctrico de potencia dependerá principalmente del crecimiento industrial y residencial de cada país. Dicho desarrollo obligará a la búsqueda de nuevos puntos de generación eléctrica, nuevas torres de transmisión y subestaciones; por lo que el sistema eléctrico de potencia crecerá con el paso de los años.

En muchos de los casos, las líneas de transmisión y subestaciones eléctricas son diseñadas de tal manera que puedan soportar estos aumentos de demanda, sin la necesidad de construir nuevos proyectos, pero con el paso del tiempo esto no será suficiente y se deberán crear nuevas opciones de transporte eléctrico.

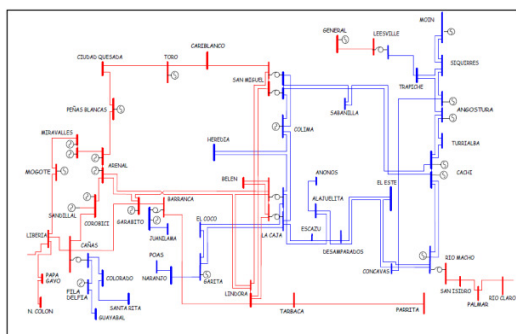


Figura 2. Unifilar del sistema eléctrico de potencia de Costa Rica. (Figura suministrada por el Ingeniero Marlo Livio Arauz, UEN TE)

Subestaciones Eléctricas

Aspectos generales

Una subestación eléctrica se puede definir como un nodo (punto, donde dos o más elementos tienen una misma conexión) del sistema eléctrico de potencia, en este lugar, la energía eléctrica experimenta transformación en sus niveles de tensión, los cuales serán los más adecuados para garantizar el transporte de la electricidad a los diferentes puntos de consumo o distribución. Siempre asegurando la calidad del producto.

Para garantizar la continuidad del sistema, las subestaciones eléctricas contienen una gran cantidad de sistemas de control y protección automatizados, que protegen de cualquier falla a la subestación. Además, todos los equipos que contiene la subestación están conectados a un sistema de control general que administra todas las subestaciones del sistema eléctrico de potencia.

Las subestaciones eléctricas pueden estar dentro del sistema eléctrico de potencia, por medio de diferentes maneras y su función principal es controlar el flujo de potencia del sistema.

De las diferentes formas de conexión, tenemos las que se encuentran conectadas a una central generadora, donde esta se encargará de aumentar la tensión por medio de transformadores de potencia. Otro tipo de conexión común, es cuando la subestación se encarga de disminuir los niveles de tensión, esto para que pueda ser posible la conexión del sistema eléctrico de potencia con el sistema de distribución residencial. Una última conexión, es cuando se necesita una subestación eléctrica para conectar varias rutas de distribución, que se encuentran a un mismo nivel de tensión.

De forma sencilla, se puede decir que una subestación eléctrica es un conjunto de circuitos eléctricos por donde entra y sale la electricidad, todos conectados a un mismo punto común. Se puede decir, que el interruptor es el elemento principal del circuito, complementado con los transformadores de potencia, seccionadoras, pararrayos y otros. Además, todos los circuitos cuentan con sus sistemas

secundarios de control, protección, comunicación y servicios auxiliares.

Configuración

Se entiende por configuración el arreglo, distribución o forma de conexión de los diferentes equipos en patio de la subestación eléctrica. Las diferentes configuraciones se realizan para obtener grados altos de confiabilidad, seguridad y flexibilidad para lograr un adecuado manejo, transformación y distribución de la energía eléctrica.

Existen dos tendencias principales de configuración, la tendencia europea con conexión de barras, y la americana, con sus conexiones en interruptores.

Los diferentes tipos de configuración europea son:

- Barra sencilla
- Barra principal y barra de transferencia
- Doble barra
- Doble barra más seccionador de paso directo
- Doble barra más seccionador de transferencia
- Doble barra más barra de transferencia

Los diferentes tipos de configuración americana son:

- Anillo
- Interruptor y medio
- Doble barra con doble interruptor
- Anillo cruzado

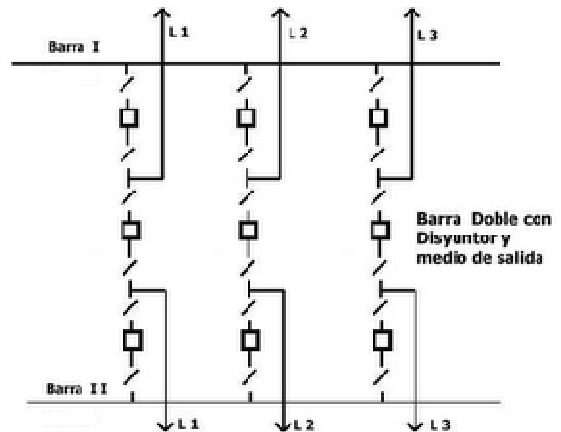


Figura 3. Sistema eléctrico de potencia típico. (Tomada de www.gecca.wordpress.com)

Disposición física

La disposición física de una subestación eléctrica se entiende como el ordenamiento de los equipos que conforman el patio de la subestación, según el tipo de configuración seguido.

Para seleccionar la disposición física de una subestación eléctrica, se requiere conocer y analizar diferentes aspectos, tales como:

- Configuración seleccionada para la subestación eléctrica
- Equipos a ser utilizados
- Corrientes nominales y cortocircuito previstas en la subestación
- Distancias mínimas de seguridad entre los conductores dentro de la subestación
- Área disponible del terreno, sus accesos y posible entrada o salida de la línea de transmisión eléctrica
- Costo del proyecto
- Tipo de estructuras metálicas y seccionadoras
- Facilidades de mantenimiento y futuras ampliaciones o remodelaciones
- Impacto ambiental, histórico, social y otros.

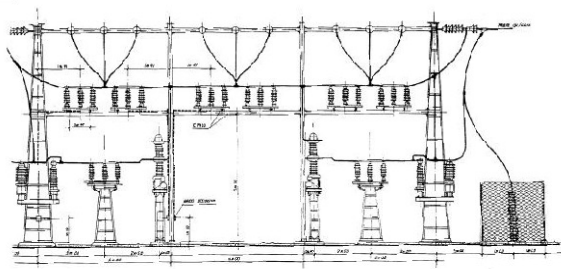


Figura 4. Ejemplo de disposición física en una subestación eléctrica. (Tomada de www.gecca.wordpress.com)

Equipos en patio

Los equipos en patio son todos los equipos y sus accesorios dentro de la subestación eléctrica, que se encuentran instalados y conectados entre sí. Están a un mismo nivel de tensión y área de la subestación.

La selección de los equipos responde a diferentes factores, tales como: resultados de estudios del sistema, normas técnicas aplicables, experiencia nacional e internacional en la utilización de equipos y normalización de la compañía propietaria.

Una subestación eléctrica se compone de diferentes equipos, entre los principales se pueden tener:

- Interruptores de potencia: son equipos de interrupción, capaces de conducir, interrumpir y establecer la corriente en diferentes condiciones. Su función principal es conectar o desconectar los circuitos eléctricos asociados a él.
- Seccionadores: dichos dispositivos pueden desempeñar varias funciones. Su función principal es seccionar el circuito, por necesidades en la operación del sistema o mantenimiento en los equipos y líneas asociadas a ellos.
- Transformadores de tensión: cuentan con dos funciones principales. Una de ellas es transformar la tensión del sistema eléctrico y la otra, servir de aislante a los sistemas de protección y medición conectados a los circuitos de alta tensión.
- Transformadores de corriente: estos equipos son utilizados para realizar medidas en las corrientes de los sistemas

eléctricos. Estos pueden encontrarse en la configuración de subestación, ya sea como equipos de medición o protección. En medición, estos alimentan instrumentos de medición, contadores de energía y sistemas análogos. En protección, alimentan relés de protección.

- Pararrayos: son dispositivos que tienen como función principal la protección de los equipos de subestación contra sobretensiones, principalmente las producidas por descargas atmosféricas.
- Transformador de potencia: este equipo se considera como el corazón de toda subestación eléctrica. Es una máquina electromecánica, cuya función es cambiar la magnitud de las tensiones eléctricas. Consta de tres partes principales: parte activa, parte pasiva y accesorios.

Barras colectoras

Se entienden como barras colectoras todos los conductores eléctricos utilizados para realizar la conexión entre los diferentes circuitos de la subestación eléctrica.

Estas pueden ser utilizadas en barras generadoras, líneas de transmisión, bancos de transformadores, bancos de tierras y otros.

Se puede decir que el conjunto de barras colectoras está formado por los siguientes elementos:

- Conductores eléctricos
- Aisladores: sirven como aislante eléctrico entre estructuras y conductores, y además, como soporte mecánico de los conductores eléctricos
- Conectores y herrajes: se utilizan para conectar tramos de conductores y sujetar los mismos a los aisladores

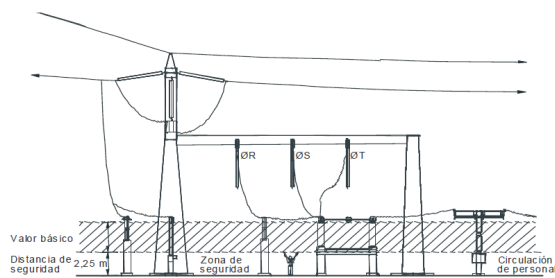


Figura 5. Disposición de barras en una subestación eléctrica. (Tomado de www.portalelectricos.com)

Sistemas de control

Un sistema de control se define como un conjunto formado por dispositivos o funciones de medida, indicación, registro, señalización, regulación, control manual y automático de los equipos y los relés de protección, los cuales verifican, protegen y ayudan a gobernar un sistema de potencia⁴.

La función principal de estos sistemas se encuentra en supervisar, controlar y proteger en todo momento a la subestación eléctrica. Este sistema debe asegurar la continuidad del sistema eléctrico, en condiciones anormales o cambios considerados en la operación de la subestación eléctrica.

Estos sistemas se encuentran de forma automática o manual en la subestación.

En este sistema, se encuentran dispositivos y elementos tales como: cables de control, elementos ejecutores, dispositivos de alarma, protección, medición, mando, señalización y aparatos de registro.

Todos estos dispositivos y elementos del sistema se encuentran albergados principalmente en los tableros, distribuidos por todo el patio de subestación.

Sistemas de medición

Los sistemas de medición en la subestación eléctrica son todo el conjunto de dispositivos conectados entre sí y de forma secundaria, a los transformadores de corriente y potencia del patio de la subestación. Estos transformadores se encargan de medir los diferentes parámetros eléctricos de las instalaciones de alta y baja tensión. Además, los dispositivos del sistema de

medición, también se encuentran conectados a todos los dispositivos auxiliares de la subestación eléctrica.

En este sistema se encuentran aparatos como: amperímetros, voltímetros, frecuencímetros y otros.

Todos los dispositivos anteriores, se encuentran instalados dentro de los tableros que están en toda la subestación eléctrica.

Las principales zonas de medición son: bancos de transformadores, líneas y cables, barras conectoras y alimentadores de distribución.

Sistemas de protección

El sistema de protección en una subestación eléctrica es el conjunto de sistemas encargados de vigilar, permanentemente, todos los equipos eléctricos y otros sistemas. Su función es evitar cualquier daño a causa de una falla en la subestación.

La complejidad de este sistema va de la mano con la complejidad de cada subestación, así como de los equipos eléctricos a utilizar.

Los diferentes elementos que forman parte de este sistema son: batería de la subestación, cables de control, interruptores de potencia, transformadores de corriente y de potencial, relevadores y otros.

Malla de tierra

El sistema de malla a tierra se encarga de brindar la adecuada protección al personal y equipo eléctrico, ante cualquier tensión peligrosa producto de una falla a tierra.

Las tensiones anteriores provienen principalmente de dos factores, uno de ellos, de la corriente de falla a tierra, y el otro, de la resistencia de puesta a tierra de la malla.

Las principales funciones de la malla de tierra son⁴:

- Proteger a los individuos dentro de la subestación
- Proporcionar medios de disipación de la corriente eléctrica en el suelo
- Asegurar el buen funcionamiento de los equipos de protección de una red

⁴ Ramírez, C. Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión.

- Minimizar interferencias en comunicaciones
- Evitar las descargas eléctricas estáticas en atmósferas explosivas
- Proteger la red contra los efectos de las descargas atmosféricas

El sistema de malla o red a tierra, se compone principalmente de: conductores (cables de cobre), electrodos (varillas clavadas en el terreno), electrodos para pararrayos y conectores (elementos de unión entre el sistema de tierra).

Servicios auxiliares

Son aquellos sistemas que están formados por instalaciones eléctricas con diferentes fuentes de alimentación. Estas fuentes pueden ser de corriente directa (por baterías) o alterna (transformadores), ambas en baja tensión.

Dichos sistemas son utilizados para energizar todos los sistemas de control, protección, señalización, alarmas, alumbrado, incendio y otros.

Las partes principales del sistema auxiliar son: servicios de estación (transformadores, tableros, baterías y otros), alumbrado, sistemas contra incendios y aire acondicionado.

En Costa Rica, este tipo de servicio se deriva tanto de la misma corriente suministrada por la subestación, como de la red de distribución doméstica. Lo que se busca con ello es dar continuidad y confiabilidad al sistema, ya que entre más fuentes de alimentación existan, estos factores serán mayores.

Obras civiles en una subestación eléctrica

Las diferentes obras civiles con que cuenta una subestación eléctrica, dependerán principalmente de los diferentes elementos que compondrán el diseño eléctrico de la misma. Además, su construcción y diseño se realiza de tal manera para satisfacer los temas anteriores.

En una subestación eléctrica, se tienen principalmente las siguientes obras civiles:

- Movimientos de tierras y conformación de terrazas
- Muros y otros mecanismos de estabilización de taludes
- Instalaciones provisionales
- Cimentaciones de equipos y transformadores de potencia
- Drenajes de patio y áreas generales
- Ductos para cables
- Construcción de malla a tierra
- Vías de acceso internas y externas
- Fosas colectoras y tanque de aceite
- Cajas de registro de los equipos
- Edificaciones de control
- Canalización subterránea
- Bóvedas de servicio propio
- Iluminación exterior
- Portería y cerramientos
- Vigas y columnas de estructuras mayores y menores
- Entre otras obras civiles.

Este tipo de proyectos se caracteriza por las tolerancias tan pequeñas a cumplir en su construcción. Las cimentaciones de los equipos y las estructuras de celosías son las más delicadas a construir, ya que las diferencias en sus dimensiones con respecto a los planos son milimétricas.

Los proyectos de subestación eléctrica involucran múltiples ramas de la ingeniería, siendo la mecánica y eléctrica las más exigentes. Es por tal razón, que la parte civil tiene un gran desafío al cumplir con las exigencias milimétricas de la parte mecánica y eléctrica en la subestación. Cualquier estructura civil que se construya con los mínimos errores, pondrá en riesgo los equipos eléctricos y mecánicos del proyecto.

Entre los materiales más utilizados en la construcción, podemos tener: arenas, piedra, concreto, acero, bloques de concreto, tuberías de PVC, formaleta y otros complementarios.

⁴ Ramírez, C. Subestaciones de Alta y Extra Alta Tensión.

Metodología

Para lograr el desarrollo de este trabajo, se realizó una serie de procedimientos y actividades que generan resultados importantes y positivos para el mismo.

El trabajo se desarrolló en el Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), en la Unidad Estratégica de Negocios del Proceso de Expansión de la Red (UEN TE). Como se dijo anteriormente, esta unidad se encarga de mantener y expandir la Red Eléctrica Nacional, por lo que durante la realización del proyecto, esta unidad se encontraba administrando varios proyectos de subestaciones eléctricas, además de encontrarse planificando muchos más.

Para el inicio del trabajo, se generó por parte de la institución, una introducción y explicación de la organización de la misma, además de una explicación profunda y detallada del trabajo a esperar por parte de la UEN TE, replanteando los objetivos, metodologías y resultados de la práctica supervisada.

Se realiza por parte de la unidad una explicación teórica e introductoria del Sistema Eléctrico de Potencia y la importancia de las subestaciones dentro de este, además de toda una explicación técnica del significado de una subestación, así como una explicación por parte de profesionales en el tema de todos los sistemas, equipos y otros dispositivos eléctricos dentro de la misma. En resumen, se llega a conocer teóricamente de forma básica el tema de subestaciones eléctricas, desde sus partes civiles, eléctricas y mecánicas. Como complemento introductorio, se realiza una visita a la Subestación Tejar en Cartago, para terminar de alimentar las explicaciones teóricas.

Luego de una introducción al ambiente y tipo de trabajo a realizar, se comienza con una identificación de los procesos constructivos presentes en la construcción de una subestación eléctrica. Cuando se habla de procesos constructivos, se engloban todos los procesos

civiles, eléctricos y mecánicos a tener en cuenta para lograr construir edificaciones de este tipo.

Teniendo claros los procesos constructivos de la subestación, se comienza con una investigación dentro de la unidad, para determinar los documentos que regulan la calidad en las subestaciones eléctricas. En esta búsqueda, se encuentra el Manual de Construcción de Subestaciones, el cual es el documento principal que regula la construcción de subestaciones por parte de este departamento.

En la revisión del Manual de Construcción de Subestaciones, se llega a conocer cada uno de los requerimientos constructivos que la UEN TE solicita en sus proyectos. Según el documento anterior y las reuniones introductorias con los dirigentes de la unidad, se llegan a conocer e identificar los problemas que enfrenta la unidad hoy en día con respecto a la administración de sus proyectos.

Según el análisis de los requerimientos constructivos y entendiendo el problema presente, se busca la solución del mismo. Por lo que se propone a la unidad, que la mejor forma de buscar e investigar las nuevas variaciones y procesos constructivos, es por medio de visitas de campo a las diferentes subestaciones y entrevistas a los involucrados en las mismas. Se le hace ver a la UEN TE, que el Manual de Construcción de Subestaciones debe ser actualizado con la experiencia de las construcciones pasadas, por medio el aporte de criterios o experiencias vividas de todas las personas que participaron en ellas.

Una vez establecida la fuente de información para recopilar las exigencias y observaciones de los procesos constructivos, se procede a planear los lugares y personas a visitar. Cuando se realiza lo anterior, se presenta la problemática de la gran cantidad de personas y lugares a visitar, ya que esta unidad cuenta con personal e infraestructura por todo el país, por lo

que se procede a limitar las fuentes de información, analizando las limitaciones presentes y futuras. Es aquí donde se toma la decisión, de tomar en promedio, a solo un profesional de cada área, (civil, mecánica y eléctrica) de cada una de las regiones en que se divide el país y la unidad (Huetar Brunca, Chorotega y Central); por lo que se tendrían como mínimo 9 entrevistas con diferentes profesionales. Además, se decide hacer la visita como mínimo a una subestación de cada región.

Lo establecido anteriormente es realizado de esta manera, ya que el sistema de control de calidad e inspección será aplicado a cada proyecto por igual, sin importar la región. Por lo que se necesita que el sistema sea lo más general posible y aceptado por todos. Al tomar en consideración a cada una de las regiones, se quiere con esto, sacar el mayor aporte posible de cada una de ellas y así llegar a crear un documento donde no se omita cualquier consideración importante.

Las personas entrevistadas son las siguientes:

- Alberto L. Ramírez Alpízar: Ingeniero electromecánico, encargado del área de mantenimiento de la región Central
- Carlos Oviedo Núñez: Técnico electromecánico, encargado del mantenimiento de la Subestación el Coco
- Diego Rodríguez Solórzano: Ingeniero eléctrico, encargado de la construcción de la subestación Tejar
- Guillermo Arroyo Gutiérrez: Ingeniero civil, encargado de proyectos en subestaciones en COE PySA
- Guillermo Calderón Vega: Ingeniero eléctrico, encargado de mantenimiento en subestaciones en Tilarán.
- José Carlos López Mora: Ingeniero civil, supervisión de proyectos de la región Chorotega por parte de la UEN TE.
- Juan Carlos Cárdenas Alvarado: Ingeniero civil, supervisión de proyectos de la región Central por parte de la UEN TE.
- Krissia Chavarría Vargas: Ingeniera en construcción, encargada de la inspección de obras en Proyectos de Naranjo y áreas aledañas.

- Marco Calvo Araya: Ingeniero en construcción del CAP, encargado de la inspección civil en la construcción de la subestación Tejar.
- Marieta Garita Guzmán: Ingeniera eléctrica, administradora de contratos de subestaciones en PySA.
- Mario Valerio B.: Ingeniero civil, encargado de proyectos de subestaciones en COE PySA.
- Sergio Coto Camacho: Técnico eléctrico, encargado de supervisión en subestaciones en PySA.
- Silvio Pérez Águila: Ingeniero mecánico del CAP, encargado de la inspección mecánica en la construcción de la subestación Tejar.
- Tony Méndez Parrales: Ingeniero eléctrico del CAP, encargado de la inspección eléctrica en la construcción de la subestación Tejar.

Las subestaciones visitadas fueron:

- Subestación Tejar: Tejar de Cartago.
- Subestación Miravalles: Miravalles de Guanacaste.
- Subestación Garabito: Miramar de Puntarenas.
- Subestación el Coco: Alajuela Central.

Principalmente se visitó la subestación Tejar, debido a la cercanía a la misma, además de ser la única en el momento de realizar el trabajo, que se encontraba con etapas civiles vigentes.

En las visitas realizadas a las diferentes subestaciones eléctricas, se comparan las especificaciones del Manual de Construcción en Subestaciones vigente, con lo realizado en campo. Si se encontraba algún proceso constructivo o de instalación de equipos y sistemas que se estuviera efectuando en el momento de la visita, se realizaban las anotaciones debidas, según lo comparado con el documento y la realidad, luego se procedía a consultar cambios encontrados con los profesionales anteriormente mencionados.

Las entrevistas con los profesionales citados anteriormente, se realizaron en sesiones de trabajo de aproximadamente 3 horas, completando con cada uno, un mínimo de 4

sesiones, por lo que en total serían 12 horas por cada entrevistado.

El Manual de Construcción de Subestaciones consta de tres partes principales, la parte civil, mecánica y eléctrica; por lo que se revisaba cada punto del documento con las personas citadas, cabe aclarar, que se revisan los puntos de cada parte del documento con la persona especializada en el mismo.

En las sesiones, se analiza cada uno de los puntos con la persona respectiva, esta opina, analiza y comenta cada uno de los puntos, el resultado de cada entrevista es documentado para posteriormente ser consultado con los administradores de contrato de la UEN TE. Al ser aceptadas las observaciones del entrevistado, se agregará como nueva especificación técnica a considerar en la construcción de subestaciones. Toda recomendación, observación, actualización, disconformidad o eliminación realizada a las especificaciones técnicas existentes, es analizada con otras personas y los representantes de la UEN TE para hacerla tomar en cuenta en el nuevo documento. De esta manera, se procedió con cada uno de los entrevistados, donde sus comentarios se encuentran en este documento. (ver anexos 1, 2, 3).

Es importante aclarar, que las entrevistas realizadas no están conformadas por preguntas específicas, sino más por el análisis de cada uno de los temas y puntos establecidos en el Manual de Construcción de Subestaciones (documento que se encuentra en vigencia).

Las entrevistas y visitas se realizaron según las partes del documento antiguo, primeramente la parte civil y seguidamente la mecánica y eléctrica, generando la información necesaria para crear las nuevas especificaciones.

Al momento de comenzar la redacción del nuevo documento de requerimientos constructivos, se encontró que la parte civil se encontraba muy desactualizada y que además, contaba con más requisitos de diseño que constructivos. Por lo anterior, esta sección civil del documento fue fuertemente modificada. Las secciones mecánicas y eléctricas, presentaban en menor grado este problema.

Cuando se inician los trabajos de elaboración del nuevo documento de Requerimientos Constructivos en Subestaciones Eléctricas, se van recopilando en otro documento, los aspectos de diseño de las diferentes partes

presentes en el Manual de Construcción de Subestaciones. Lo anterior genera en este trabajo, un documento que contiene especificaciones de diseño relacionadas con subestaciones. También se presentan durante las entrevistas, algunas consideraciones de diseño que los profesionales expresaban en sus observaciones, las cuales fueron tomadas y plasmadas en este documento de diseño.

En la redacción del nuevo documento, se toman varias decisiones que generaron cambios importantes, los cuales se citan a continuación:

- Se quitará de la redacción del documento la palabra inspección, contratante o administrador.
- El documento estará escrito de forma general sin imponer responsabilidad a ninguna persona.
- Solo se colocaron especificaciones constructivas en el nuevo documento.
- Se dio una secuencia constructiva lógica al nuevo documento.
- Se separó el área civil, eléctrica y mecánica.
- Se identificaron y documentaron los procesos constructivos típicos de este tipo edificación.
- Se especificaron consideraciones de almacenaje en los materiales civiles.
- Se representaron gráficamente los productos a desear.
- Se actualizaron las especificaciones constructivas.
- Se cambió el título del documento, para que su contenido fuera acorde con el mismo.

Los cambios realizados al antiguo documento fueron consultados y aceptados por la UEN TE antes de su implementación.

Además, se realiza todo un trabajo para identificar normativas nacionales e internacionales relacionadas con aspectos civiles, mecánicos y eléctricos; donde en muchos de los procesos constructivos de los temas anteriores, se hace referencia a la normativa encontrada, ya que se determina que muchos trabajos no se pueden modificar ni estandarizar, ya que anteriormente son normados. Como norma institucional, se utilizan las Especificaciones Técnicas Generales para Concreto, con ella se

logra normar gran parte de los trabajos en concreto. También muchos de los trabajos de instalación de equipos y puesta en marcha de los mismos, son normados por sus fabricantes.

Una vez redactado el nuevo documento, se plantea la propuesta ante los encargados de administrar contratos de subestaciones eléctricas de la UEN TE, para que generen sus comentarios y acepten el documento.

En la etapa final del nuevo documento de Especificaciones Constructivas para Subestaciones Eléctricas, se obtiene el documento de Consideraciones de Diseño para Subestaciones Eléctricas, el cual se realizó tomando en cuenta todas las consideraciones de diseño plasmadas en el vigente Manual de Construcción de Subestaciones y los aspectos recopilados en las visitas y entrevistas.

Como complemento de los resultados anteriores, se generan listas de verificación o *checklist*, las cuales tienen como referencia principal el documento de Consideraciones Constructivas en Subestaciones Eléctricas.

Estas listas vienen a generar junto con el documento de Consideraciones Constructivas en Subestaciones Eléctricas, todo el plan de gestión de calidad e inspección en subestaciones eléctricas.

Se procede a estructurar las listas, de tal manera que consideren dentro de ellas todos los requerimientos de calidad que la UEN TE junto con los profesionales de las diferentes regiones ha establecido en el nuevo documento.

Se llega a establecer que la mejor forma de representar las especificaciones constructivas presentes en el nuevo documento, es por medio de preguntas, las cuales son puntuales y directas, estas tienen un no o sí de respuesta. Estas preguntas están formuladas de tal manera, que tienden muchas veces, a dar un sí en cosas que no se deberían de hacerse, esto para que cuando se compare o confronte la respuesta de la inspección con lo establecido en el documento de Requerimientos Constructivos para Subestaciones Eléctricas, se vea de manera clara, que el encargado de construir la subestación no se encuentra cumpliendo con los parámetros de calidad establecidos por la UEN TE. También se cuenta con el espacio necesario para que el inspector pueda anotar cualquier

observación importante que él considere que deba registrarse.

Además, se le da a las listas de verificación un orden igual al desarrollado en el documento, con el fin de guiar al inspector en los trabajos a inspeccionar con lo establecido en el documento de referencia. Las listas están creadas de tal forma, que tocan todos los puntos a considerar en la construcción o instalación de estructuras y equipos.

Se da a cada lista una debida identificación de la misma y de cada punto a evaluar, esto para identificar y ordenar los puntos a inspeccionar. Así como, los espacios necesarios para anotar el nombre o tipo de estructura y su identificación en planos o campo de las mismas.

Se decide darle a las listas de verificación un carácter legal, igual que su documento de referencia. Para lo anterior, se da espacio suficiente para colocar el nombre y firma de los responsables de proyecto, inspectores y encargados de la calidad, esto para cualquier reclamo que tenga la administración o inspector sobre la calidad del producto a adquirir. Cabe recalcar que se generaran listas de verificación para cada tema civil, eléctrico y mecánico presente en la construcción de subestaciones eléctricas.

Se realiza una redacción introductoria al conjunto de las listas de verificación, con el fin de guiar a las personas que las utilizarán, además de darle aún más el orden y estandarización buscados.

Conforme se realiza todo el trabajo anterior, se hace una investigación paralela para determinar los procedimientos internos necesarios para impulsar la normalización tanto interna como institucional de los resultados de este trabajo, para aplicarlo lo más pronto posible en los nuevos proyectos de subestaciones eléctricas. Para este tema, se decide desde el inicio seguir el formato institucional de redacción de normas, requisito indispensable de normalización en la institución.

Resultados

Para la Unidad Estratégica de Negocios Transporte de Electricidad en su proceso de Expansión de la Red (UEN TE), es importante contar con una serie de documentos que formen parte de un plan de gestión de calidad e inspección, que le permita establecer y garantizar el cumplimiento de todos y cada uno de los requisitos exigidos por la UEN TE; en la construcción de sus subestaciones eléctricas.

Por lo anterior, del presente trabajo se obtuvo como resultado principal el Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas, el cual será utilizado por la misma unidad y los agentes externos, para desarrollar proyectos de subestaciones Eléctricas.

En la actualidad, la UEN TE cuenta con el Manual de Construcción de Subestaciones, el cual es el único documento vigente para la construcción de este tipo de edificaciones, además es el único documento con que cuenta el departamento para establecer requerimientos constructivos en el desarrollo de este tipo de proyectos.

Este documento es una normativa interna de la unidad, en el se marcan los requerimientos constructivos para la construcción de subestaciones eléctricas, además de consideraciones de diseño, dimensionamiento de estructuras, materiales a usar, cláusulas de contrato, especificaciones técnicas de elementos no utilizados y otros. Cuenta con una secuencia constructiva poco lógica y no acorde con el proyecto a construir, además su redacción utiliza personajes contractuales asignando obligaciones y responsabilidades a los mismos, dentro de un documento de requerimientos constructivos.

El Manual de Construcción de Subestaciones es creado por un comité técnico institucional, donde en el año 2000 se establece como normativa institucional, y para el año 2006, como necesidad en sus proyectos. Funcionarios de la UEN TE actualizan el mismo.

A continuación se presenta la portada del Manual de Construcción de Subestaciones. Este

cuenta con varios temas civiles, eléctricos y mecánicos que se presentan en el desarrollo constructivo de una subestación. Además se presenta una figura como parte de su índice, para observar los temas que se desarrollan en su contenido.

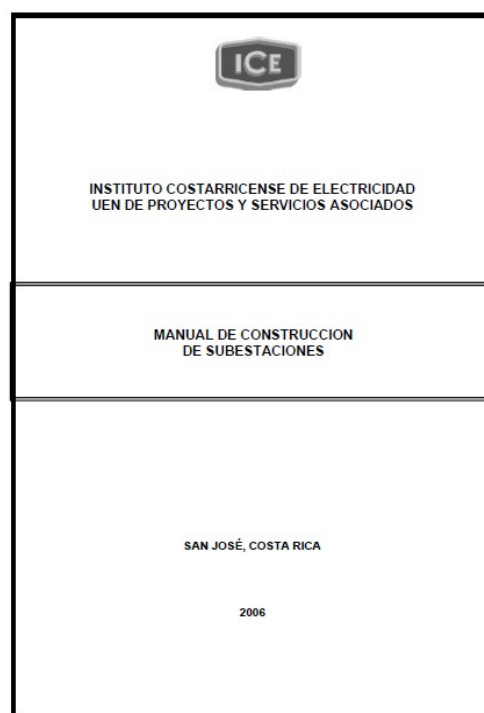


Figura 6. Portada del Manual de Construcción de Subestaciones.

INDICE

INDICE	2
MANUAL A: SECCION I	8
OBRAS CIVILES EN PATIOS DE SUBESTACIONES	8
GENERALIDADES	8
A.1. MOVIMIENTO DE TIERRAS	9
A.1.1 Remoción de maleza y capa vegetal	9
A.1.2 Terrazo y Nivelación	9
A.1.2.1 Corte	10
A.1.3 Muro de gaviones	11
A.1.4 Muros de concreto armado	11
A.2 INSTALACIONES MINIMAS DEL CONTRATISTA	11
A.2.1 Local para muestras de concreto	11
A.2.2 Bodegas para equipos	11
A.2.3 Instalaciones para uso del Contratista	12
A.2.4 Patio de Almacenaje	12
A.3 INSTALACION DE SERVICIOS BASICOS	13
A.3.1 Agua Potable	13
A.3.2 Electricidad	13
A.3.3 Sistema de Comunicación	14
A.3.4 Alumbrado Exterior	14
A.4 VIAS DE ACCESO	14
A.4.2 Vías de acceso internas	16
A.4.3 Vías públicas	16
A.4.4 Pavimentación	16
A.4.5 Puentes	17
A.4.6 Pasos de agua	17
A.5 CIMIENTOS	17
A.5.1 Cimientos para Equipos en baja tensión	17
A.5.2 Cimientos para Equipos en alta tensión	22
A.5.3 Cimientos para columnas de la subestación	22
A.6 OBRAS ASOCIADAS A LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA	23
A.6.1 Cimentación del transformador de potencia	23
A.6.2 Rieles de Acero	23
A.6.3 Dados de anclaje	23
A.6.4 Contención y canalización del aceite	24
A.6.5 Tanque recolector de aceites	24
A.7 DUCTOS, CAJAS DE REGISTRO Y TUBERIAS ENTERRADAS PARA CABLES	24
A.7.1 Construcción de ducto	25
A.7.2 Canastas para cables	26
MANUAL DE CONSTRUCCION DE SUBESTACIONES	
PAG:2/133	

Figura 7. Parte del índice del Manual de Construcción de Subestaciones.

Para lograr la creación del Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas, se realizó una serie de entrevistas y visitas, efectuadas en diferentes subestaciones eléctricas y a varios profesionales del área civil, eléctrica y mecánica.

Como resultado de las visitas y entrevistas realizadas, se obtiene una serie de observaciones de los diferentes entrevistados, estas observaciones son planteadas de forma general en los siguientes cuadros según las áreas civiles, eléctricas y mecánicas. Los cuadros que se encuentran más adelante, tienen en la primera columna de la izquierda, el tema de la observación y en las columnas derechas, los nombres de los entrevistados. Si una equis se encuentra en la columna del entrevistado, correspondiendo a la fila de una observación, quiere decir que este entrevistado hizo un comentario sobre este tema. En este documento se pueden analizar y observar con más detalle las entrevistas realizadas a los profesionales mencionados en los cuadros y fotografías (ver anexo 4) para una mayor comprensión de las mismas.

CUADRO 1. ENTREVISTAS DEL ÁREA CIVIL				
OBSERVACIONES	ENTREVISTADOS			
	Marco Calvo A.	Krissia Chavarria V – José Carlos López M.	Marieta Garita G. – José Carlos López M.	Pedro Suárez V.
MOVIMIENTO DE TIERRAS				
• Permisos constructivos	x	x	x	x
• Estudios de suelos del proyecto	x	x	x	x
• Capa vegetal del terreno	x	x		x
• Utilización de la escombrera	x	x	x	x
• Mitigación de efectos del trabajo		x		x
• Tolerancias de niveles	x	x		x
• Excavaciones	x	x		x
• Estabilización de taludes	x			x
• Maquinaria utilizada	x	x	x	x
• Pruebas de compactación	x	x	x	x
• Trabajos de rellenos y compactación	x	x	x	x
• Levantamiento topográfico	x		x	x
• Normativas	x		x	x
INSTALACIONES MÍNIMAS DEL CONTRATISTA				
• Planos urbanísticos	x	x	x	x
• Planos básicos constructivos	x			x
• Área bodegas de equipos y patio almacenaje	x	x	x	
• Cerramiento y capa lastre del patio	x		x	x
• Iluminación de instalación		x		x
INSTALACIÓN DE SERVICIOS BÁSICOS				
• No se tienen observaciones		x	x	
• Contiene mucho parámetro de diseño	x			x
• Servicios de comunicaciones	x			x
• Iluminación nocturna	x			x
• Instalación de servicios	x			x

CUADRO 2. ENTREVISTAS DEL ÁREA CIVIL				
OBSERVACIONES	ENTREVISTADOS			
	Marco Calvo A.	Krissia Chavarria V – José Carlos López M.	Marieta Garita G. – José Carlos López M.	Pedro Suárez V.
VÍAS DE ACCESO				
• Contiene mucho parámetro de diseño	x	x	x	x
• Dimensiones de los accesos	x	x	x	x
• Aplicar normativas	x	x		x
• Aplicar otras alternativas		x		
• Definir accesos			x	x
• Elementos complementarios			x	
CIMENTOS DE TRUCTURAS MAYORES Y MENORES				
• Pruebas de compactación y capacidad de soporte	x	x		x
• Colocación de pernos	x	x	x	x
• Tolerancias en trazado	x	x	x	x
• Trazado		x		
• Utilización de topografía	x	x	x	x
• Coladas de segunda etapa	x		x	
• Tema de previstas	x	x	x	x
• Estructuras mayores y menores parecidas		x		x
• Capa vegetal en estructuras		x	x	
• Seguridad en trabajos		x	x	
• Niveletas o yuquetas	x	x	x	x
OBRAS ASOCIADAS A LOS TRANSFORMADORES DE POTENCIA				
• Rieles en el transformador			x	
• Normalización de drenajes	x		x	x
• Previstas eléctricas	x	x	x	x
• Tanque recolector de aceite	x	x		x

CUADRO 3. ENTREVISTAS DEL ÁREA CIVIL				
OBSERVACIONES	ENTREVISTADOS			
	Marco Calvo A.	Krissia Chavarria V – José Carlos López M.	Marieta Garita G. – José Carlos López M.	Pedro Suárez V.
DUCTOS, CAJAS DE REGISTRO Y TUBERÍAS ENTERRADAS PARA CABLES				
• Desencofrado	x			
• Pendientes en piso	x		x	x
• Acabados	x	x	x	x
• Pernos de canastas	x		x	x
• Rellenos a su alrededor	x			x
• Mampostería	x	x		x
• Linealidad		x		x
• Previstas	x	x	x	x
• Drenajes			x	x
• Capa concreto pobre			x	x
DRENAJES				
• Drenajes de taludes, escombrera y otros	x		x	x
• Metodología constructiva	x	x		x
• Maquinaria	x	x	x	x
• Separación de materiales		x		
• Previstas		x	x	x
OBRAS CIVILES ASOCIADAS AL SISTEMA DE ATERRIZAJE				
• Secuencia constructiva de la malla y estructuras complementarias	x	x	x	x
• Reportar cambios en la construcción			x	x
• Diseñador			x	x
• Previstas			x	x
• Dimensiones de excavación		x	x	
• Material de relleno a utilizar		x	x	x
• Registros fotográficos			x	
• Comprobación de conexiones		x	x	x
• No se tienen observaciones	x			

CUADRO 4. ENTREVISTAS DEL ÁREA CIVIL				
OBSERVACIONES	ENTREVISTADOS			
	Marco Calvo A.	Krissia Chavarria V – José Carlos López M.	Marieta Garita G. – José Carlos López M.	Pedro Suárez V.
MALLAS, TAPIAS Y CERCAS PERIMETRALES				
• Especificación de los trabajos a realizar	X			X
• Acabado	X			X
• Corte, soldadura y colocación de tuberías de malla		X		X
• Colocación de la malla		X		X
• Diseño de estructura		X	X	
• Portones	X	X		
• Alambre navaja			X	X
• Juntas de paredes			X	X
EDIFICACIONES				
• Tipo de cimentaciones	X			X
• Tipificar trabajos	X		X	X
• Acabados de paredes	X	X	X	X
• Pruebas de adherencia en techos	X			X
• Construcción de cubierta	X		X	X
• Tipos y construcción de cielos	X			X
• Pruebas a los sistemas de aguas	X			X
• Sistemas de aguas según normativa	X			X
• Aterrizamiento estructuras metálicas	X			X
• Tipos de pisos y cerámicas	X		X	X
• Color y pinturas	X			X
• No observaciones		X		
• Puertas, portones, ventanas y otros	X		X	X
SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO				
• Tema mecánico	X		X	X
• Separación entresuelo y equipos			X	X
• No observaciones		X		

CUADRO 5. ENTREVISTAS DEL ÁREA CIVIL				
OBSERVACIONES	ENTREVISTADOS			
	Marco Calvo A.	Krissia Chavarria V – José Carlos López M.	Marieta Garita G. – José Carlos López M.	Pedro Suárez V.
SISTEMA DE SERVICIO PROPIO				
• Estructuras de soporte de los transformadores	X			X
• No observaciones		X		
• Tema electromecánico			X	X
AGUA POTABLE DENTRO DEL ÁREA DE SUBESTACIÓN				
• Seguir apartado de edificaciones	X			X
• Normativa	X			X
• No observaciones		X	X	
CASETA DE VIGILANCIA				
• Seguir apartado de edificaciones.	X			X
• No observaciones		X	X	
CONFORMACIÓN FINAL DE TERRENO				
• Seguir lo establecido en movimiento de tierras	X		X	X
• Tolerancia en nivelaciones	X			X
• No observaciones		X		
CAPA DE PIEDRA CUARTA				
• Pruebas al material	X			X
• No observaciones	X		X	
ZONAS VERDES				
• Mantenimiento	X			X
• No observaciones		X	X	
ACERAS, CORDÓN DE CAÑO Y CUNETAS				
• Diseño	X			X
• Previstas	X			X
• Metodología constructiva	X			X
• No observaciones		X	X	
LIMPIEZA DE LA OBRA				
• Trabajos de limpieza	X			X
• No observaciones		X	X	

CUADRO 6. ENTREVISTAS DEL ÁREA CIVIL PARA MATERIALES				
OBSERVACIONES	ENTREVISTADOS			
	Marco Calvo A.	Krissia Chavarria V – José Carlos López M.	Marieta Garita G. – José Carlos López M.	Pedro Suárez V.
CONCRETO				
• Diseños de mezcla	x	x	x	x
• Dosificaciones	x			x
• Concreto premezclado	x			x
• Medida del revenimiento	x	x		x
• Aditivos en las mezclas	x	x		x
• Tiempos entre lotes de concreto	x	x		x
• Normativas	x			x
• Pruebas al concreto	x	x		x
• Pruebas a los diseños de mezcla	x			x
• Equipos de mezcla	x			x
• Almacenamiento de agregados y materiales	x			x
• Pruebas a los agregados	x		x	x
• Áreas de almacenamiento y mezclado	x	x		x
• Herramientas a utilizar en trabajos	x			x
• Material, usos y trabajos en formaleta	x	x	x	x
• Diseños de formaleta		x	x	x
• Curado del concreto	x			x
• Desencofrado	x	x	x	x
• Daños en el concreto	x			x
• Juntas frías y constructivas	x	x	x	x
• Equipos y trabajos en vibración	x			x
• Colocación del concreto	x	x		x
• Condición del ligar de colado	x			x
• Mezcla de tipos de concretos	x			x
• Chaflanes en los filos		x		x
• Coladas de segunda etapa		x	x	x
• Acabados	x	x	x	x

CUADRO 7. ENTREVISTAS DEL ÁREA CIVIL PARA MATERIALES				
OBSERVACIONES	ENTREVISTADOS			
	Marco Calvo A.	Krissia Chavarria V – José Carlos López M.	Marieta Garita G. – José Carlos López M.	Pedro Suárez V.
ACERO DE REFUERZO				
• Control en talleres de armado	x			
• Normativas	x	x		x
• Colocación de acero	x	x	x	x
• Traslapes y longitudes de desarrollo	x		x	x
• Almacenaje y condiciones del acero en campo	x	x	x	x
• Condición de la excavación	x			x
• Soldadura del acero	x			x
• Previstas		x	x	x
• Recubrimientos		x	x	x
MAMPOSTERÍA				
• Normativa	x	x	x	x
• Referir MEIC	x			x
• Muestras a los lotes de bloques	x			x
• Diseño de morteros	x			x
• Concisiones de morteros	x			x
• Tolerancias de verticalidad en las paredes	x	x	x	x
• Metrología constructiva de repellos	x			x
• Colocación de bloques	x			x
• Relleno de celdas	x		x	x
• Modelación de bloques		x		x
• Acabados		x		x
• Colocación de aceros			x	x
TUBERÍA DE CONCRETO				
• No observaciones	x	x	x	
• Normalización	x	x	x	
• Almacenamiento				x
TUBERÍA DE P.V.C				
• No observaciones	x	x	x	
• Normalización	x	x	x	
• Almacenamiento				x

CUADRO 8. ENTREVISTAS DEL ÁREA CIVIL PARA MATERIALES				
OBSERVACIONES	ENTREVISTADOS			
	Marco Calvo A.	Krissia Chavarria V – José Carlos López M.	Marieta Garita G. – José Carlos López M.	Pedro Suárez V.
TUBERÍA DE HIERRO GALVANIZADO				
• No observaciones	X	X	X	
• Normalización	X	X	X	
• Almacenamiento				X
MALLA TIPO CICLÓN				
• No observaciones	X	X	X	
• Normalización	X	X	X	
• Almacenamiento				X
POSTES DE CONCRETO PARA CERCAS PERIMETRALES				
• No observaciones	X	X	X	
• Normalización	X	X	X	
• Almacenamiento				X
ALAMBRE DE PÚAS				
• No observaciones	X	X	X	
• Normalización	X	X	X	
• Almacenamiento				X
PERFILES ATIESADOS LAMINADOS EN FRIO				
• No observaciones	X	X	X	
• Normalización	X	X	X	
• Almacenamiento				X
MADERA				
• No observaciones	X	X	X	
• Normalización	X	X	X	
• Almacenamiento				X
ANGULARES Y LÁMINA DE ACERO				
• No observaciones	X	X	X	
• Normalización	X	X	X	
• Almacenamiento				X
PINTURAS				
• No observaciones	X	X	X	
• Normalización	X	X	X	
• Almacenamiento				X

CUADRO 9. ENTREVISTAS DEL ÁREA MECÁNICA				
OBSERVACIONES	ENTREVISTADOS			
	Guillermo Calderón Vega	Alberto Lauro – Carlos Oviedo	Marieta Garita G. – Sergio Coto C.	Silvio Pérez Águila
REQUERIMIENTOS GENERALES PARA EL CONTRATISTA				
• Instalación de equipos según fabricante	x	x	x	
• Almacenamiento de equipos	X	x	x	x
• Aprobación de materiales, herramientas y equipos	X	x		
• Aterrizamiento de equipos y estructuras	X			
• Marcación de tornillos	X		x	
• Materiales, herramientas y equipos de fabricantes	X		x	
• Estructuras de almacenaje	X	x	x	
• Izaje de equipos	X	x		
• Repuestos de equipos	x		x	
• Seguridad en las estructuras			x	
• Maquinaria de trabajo			x	
• Metodología constructiva	x		x	
ESTRUCTURAS MAYORES (VIGAS Y COLUMNAS)				
• Armado de la estructura	X			x
• Plomo de las columnas	x	x		x
• Tolerancias de plomo y otras		X	x	x
• Pernos			X	
• Tornillos	x			x
• Acabados				x
BARRAS COLECTORAS				
• No observaciones	x	x		x
• Secuencia constructiva			x	
• Compuestos inhibidores			x	
• Tendido y colocación de barras			x	
• Aterrizamiento			x	
• Protección de equipos			x	
• Simetría de las barras			x	
• Tensado			x	

CUADRO 10. ENTREVISTAS DEL ÁREA MECÁNICA				
OBSERVACIONES	ENTREVISTADOS			
	Guillermo Calderón Vega	Alberto Lauro – Carlos Oviedo	Marieta Garita G. – Sergio Coto C.	Silvio Pérez Águila
EQUIPOS DE POTENCIA				
• Instalación, manipulación y almacenaje según fabricante	x	x	x	x
• Identificaciones	x	x	x	
• Niveles de gas SF6	x			
• Almacenaje y armado según número de serie	x			
SISTEMA DE PROTECCIÓN CONTRA DESCARGAS ATMOSFÉRICAS				
• No se tienen observaciones	x			
• Tipos de pararrayos		x		
• Instalación, manipulación y almacenaje según fabricante			x	
• Tensión del hilo guarda			x	
• Aterrizamiento			x	x
TRANSFORMADORES DE POTENCIA				
• Instalación, manipulación y almacenaje según fabricante	x		x	
• Secuencia constructiva e instalación	x			
• Aterrizamientos	x			
• Rieles del transformador	x			
• Fijación del transformador	x			
• Sustancias de limpieza	x			
• LIMAT	x		x	
• Verificaciones del equipo	x		x	
• Acabados	x			
• Previstas	x	x		
• No se tienen observaciones				x

CUADRO 11. ENTREVISTAS DEL ÁREA ELÉCTRICA				
OBSERVACIONES	ENTREVISTADOS			
	Guillermo Calderón Vega	Alberto Lauro – Carlos Oviedo	Marieta Garita G. – Sergio Coto C.	Diego Rodríguez S. – Tony Méndez P.
INSTALACIÓN DE MALLA A TIERRA				
• Cambios en la construcción	x	x	x	x
• Secuencia constructiva	x	x	x	x
• Reparación de daños	x	x	x	x
• Electrodo	x	x		
• Conexiones en la malla	x	x	x	x
• Maquinaria, materiales y accesorios según fabricante	x	x	x	
• Calibración de equipos	x			
• Métodos de conexión	x	x	x	x
• Tipo terminales de conexión	x	x		x
• Tratamientos del terreno	x			x
• Material de relleno	x	x	x	
• Diseño de la malla		x	x	x
• Pruebas de la malla				
• Almacenaje de materiales, equipos y accesorios			x	x
• Previstas	x	x	x	x
• Defectos	x	x	x	x
ATERRIZAMIENTO				
• Previstas de las estructuras	x	x	x	x
• Aterrizamiento de equipos en cuartos de control	x			
• Pruebas al sistema de malla a tierra	x			
• Colocación de conductores	x	x	x	
• Tipo de cable para aterrizamiento	x		x	x
• Conectores de aterrizamiento	x	x		
• Pantallas y camisas de cables	x		x	
• Piedra en patio	x		x	x
• Aterrizamiento de equipos en patio	x	x	x	x
• Aterrizamiento de canastas	x			
• Normativa			x	x

CUADRO 12. ENTREVISTAS DEL ÁREA ELÉCTRICA				
OBSERVACIONES	ENTREVISTADOS			
	Guillermo Calderón Vega	Alberto Lauro – Carlos Oviedo	Marieta Garita G. – Sergio Coto C.	Diego Rodríguez S. – Tony Méndez P.
CANALIZACIONES ELECTRICAS				
• Tuberías expuestas	X			
• Sellado de tuberías	X	x		x
• Diseños	X			x
• Normativa	x			x
• No observaciones			x	
SISTEMA ELÉCTRICO EN GENERAL				
• Interruptores automáticos	X	x	x	
• Diseño	X	x	x	x
• Normativa	X	x	x	
• Estructuras de soporte de transformadores	x		x	x
• Conexiones de servicios			x	x
SISTEMA DE AIRE ACONDICIONADO				
• Estructura metálica de soporte	x		x	x
• Instalación unidades condensadoras			x	
• Instalación unidades evaporizadoras			x	
• Tuberías conectoras			X	
• Protecciones			X	
• Unidades de control			x	
• No observaciones		x		
EXTRACTORES				
• Características de extractores			x	
• Diseño				x
• Ubicación				x
• No observaciones	x	x		

CUADRO 13. ENTREVISTAS DEL ÁREA ELÉCTRICA				
OBSERVACIONES	ENTREVISTADOS			
	Guillermo Calderón Vega	Alberto Lauro – Carlos Oviedo	Marieta Garita G. – Sergio Coto C.	Diego Rodríguez S. – Tony Méndez P.
SISTEMA DE CABLEADO DE CONTROL				
• No observaciones	x			
• Tipificación				x
• Características de canastas				x
• Amarras				x
• Identificación de cables		x		x
• Diseño		x	x	
• Dimensión de tuberías		x	x	
• Almacenaje de cables			x	
• Colocación e instalación de cables			x	
CONEXIONES A BORNERAS DE TABLEROS Y GABINETES DE EQUIPOS				
• Sellado de tuberías y otros	x		x	
• Diseño				x
• Rieles de fijación		x		
• Identificación		x	x	
• Materiales galvanizados			x	
INSTALACION DEL EQUIPO DE CORRIENTE DIRECTA				
• Pintura de equipos		x	x	
• Instalación y colocación del banco de baterías		x	x	
• Diseño			x	
• No observaciones	x			x
CAJAS INTERMEDIAS				
• Identificación	x	x	x	
• Sellado de tuberías y otros	x	x	x	
• Tipos de cables a usar	x		x	
• Instalación de cables	x	x		
• No observaciones				x

CUADRO 14. ENTREVISTAS DEL ÁREA ELÉCTRICA				
OBSERVACIONES	ENTREVISTADOS			
	Guillermo Calderón Vega	Alberto Lauro – Carlos Oviedo	Marieta Garita G. – Sergio Coto C.	Diego Rodríguez S. – Tony Méndez P.
FIBRA ÓPTICA				
• Etiquetas de identificación			x	
• Diseño			x	
• Diámetros de doblado				x
• Bandejas				x
• No observaciones	x	x		
PUESTA EN MARCHA				
• Verificaciones generales y electromecánicas para todos los equipos	x		x	
• Verificaciones generales para los transformadores de potencias	X	x		
• Verificaciones generales para los transformadores de instrumento	X		x	
• Verificaciones generales para los pararrayos	x	x		
• Pruebas electromecánicas en transformadores de potencia	x			
• Pruebas electromecánicas de seccionadores	x			
• Pruebas electromecánicas de malla a tierra	x			
• Transformadores del servicio propio	x		x	
• No observaciones				x

El Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas, se conforma de los siguientes documentos:

- Requerimientos Constructivos para Subestaciones Eléctricas (ver apéndice 1).
- Aspectos de Diseño de Subestaciones Eléctricas (ver apéndice 2).
- Listas de Verificación para la Construcción de Subestaciones Eléctricas (ver apéndice 3).

El documento de Requerimientos Constructivos para Subestaciones Eléctricas, es el pilar de todo el Plan de Gestión de Calidad e Inspección, ya que en él se plasman todos los requerimientos constructivos necesarios para que cualquier persona, empresa u organización pueda llevar a cabo el desarrollo de este tipo de proyecto. Además, de este documento se derivan y referencian las Listas de Verificación y el documento de Aspectos de Diseño en la Construcción de Subestaciones Eléctricas. El documento de Requerimientos Constructivos se crea con la ayuda de las entrevistas y visitas, además de los aportes de su antecesor, el Manual de Construcción de Subestaciones.

El documento de Requerimientos Constructivos, se encuentra dividido en cuatro partes principales, las cuales son:

- Obras Civiles Asociadas a una Subestación Eléctrica
- Obras Mecánicas Asociadas a una Subestación Eléctrica
- Obras Eléctricas Asociadas a una Subestación Eléctrica
- Pruebas para Puesta en Marcha

El documento presenta una serie de apartados a su inicio, los cuales son: propósito, alcance, documentos aplicables y otros, esto con el fin de facilitar la comprensión del documento al lector.

La sección de Obras Civiles Asociadas a una Subestación Eléctrica, está subdividida en varios títulos y subtítulos, los cuales representan todas las estructuras, procesos y materiales utilizados en la construcción de una subestación. Como gran característica de esta parte civil, se tiene el apartado de Consideraciones Técnicas

en Materiales Típicos y el apartado de Procesos Constructivos Típicos. Estas dos secciones contienen aquellos materiales y procesos constructivos, desde el punto de vista civil, que se repetirán en la construcción de la subestación, así, en el desarrollo del tema dentro del documento, solo se hará referencia al apartado o punto de interés de los materiales y procesos; esto para no ser repetitivos en la redacción.

El resto de los temas, hacen referencia a los requerimientos constructivos a seguir en la construcción de diferentes estructuras civiles. Como secciones de esta parte civil, tenemos los siguientes:

- Consideraciones técnicas en materiales típicos
- Procesos constructivos típicos
- Obras civiles básicas al inicio de la construcción
- Obra civil en patio de la subestación

La parte de Obras Mecánicas Asociadas a una Subestación Eléctrica engloba todos los requerimientos que se necesitan en el desarrollo de la instalación de equipos, estructuras metálicas, sistemas aire acondicionado y otros sistemas. En este apartado, se mencionan muchas veces en su redacción otros trabajos ya realizados, haciendo referencia a los puntos o apartados correspondientes, esto se da, porque como en toda construcción, los procesos constructivos dependen unos de otros. Entre las principales secciones presentes en esta parte mecánica se tienen:

- Ductos
- Estructuras mayores y menores para los equipos de la subestación
- Barras colectoras
- Instalación de equipos y accesorios eléctricos en patio de la subestación

El apartado de Obras Eléctricas Asociadas a una Subestación Eléctrica presenta todos los requerimientos básicos en la instalación de sistemas eléctricos, este toma todos los cuidados que se deben tener presentes en dichos trabajos. Las secciones principales de esta parte eléctrica, son las siguientes:

- Sistema eléctrico general

- Instalación de malla a tierra
- Sistemas de protección contra descargas atmosféricas
- Aterrizamiento de accesorios, equipos y estructuras
- Cableado de sistemas eléctricos

La parte de Pruebas de Puesta en Macha contiene todas aquellas verificaciones y pruebas generales a realizar a todos los equipos y sistemas de la subestación eléctrica. Esto cuando se llega al final del proyecto y la subestación es puesta a prueba para ponerla en funcionamiento.

En cada una de las secciones y apartados de todo el documento, se logran subdividir las estructuras y trabajos al máximo, pero siempre se trata de que sus requerimientos sean lo más abiertos y generales posibles.

Para todo el documento de Requerimientos Constructivos para Subestaciones Eléctricas, se sigue una secuencia lógica constructiva, además de contener en sus secciones, apartados y puntos consideraciones constructivas a tomar en cuenta a la hora de los trabajos.

Además, el documento se encuentra redactado de tal forma, que sea dirigido a cualquier persona, empresa u organización que construya el proyecto.

Dentro del documento, se encuentra una serie de figuras de antiguos proyectos de subestaciones eléctricas, que tienen como fin la ilustración y el entendimiento de lo escrito.

A continuación se presenta la portada del documento de Requerimientos Constructivos de Subestaciones Eléctricas, así como también una figura como parte de su índice. La lectura del documento de Requerimientos Constructivos de Subestaciones Eléctricas puede realizarse en el apéndice 1 del presente trabajo, ya que la extensión del mismo es muy amplia para colocarse en este sitio.

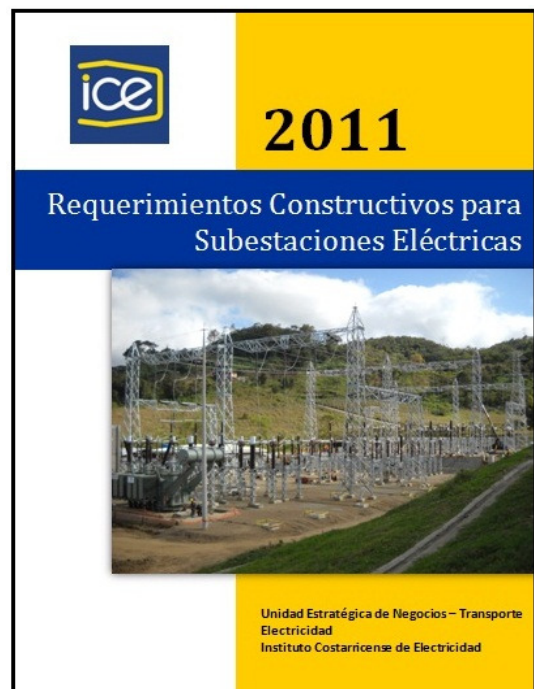


Figura 8. Portada del documento de Requerimientos Constructivos para Subestaciones Eléctricas.

ice		INSTITUTO COSTARRICENSE DE ELECTRICIDAD UEN TRANSPORTE DE ELECTRICIDAD		Código: TE-2826-NO-56-002
Solicitud de Cambio N°. 2		Elaborado por: Pedro Suárez Vargas	Aprobado por: Director General UEN Transporte	Versión: 2 Página 1
REQUERIMIENTOS CONSTRUCTIVOS PARA SUBESTACIONES ELÉCTRICAS				
Rige a partir de: 1/12/2011				
TABLA DE CONTENIDOS				
INTRODUCCIÓN.....	13			
PROPOSITO.....	13			
ALCANCE.....	13			
DOCUMENTOS APLICABLES.....	14			
DEFINICIONES, TERMINOS, SIMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	15			
PARTE I. OBRA CIVIL ASOCIADA A UNA SUBESTACIÓN ELÉCTRICA				
1. CONSIDERACIONES TÉCNICAS EN MATERIALES TÍPICOS				
1.1 ASPECTOS GENERALES.....	20			
1.2 MATERIAL PARA RELLENO.....	20			
1.3 MATERIAL GRANULAR PARA PATIO.....	21			
1.4 CONCRETO.....	22			
1.4.1 Cemento.....	22			
1.4.2 Agregados.....	23			
1.4.3 Agua.....	25			
1.4.4 Aditivos.....	26			
1.5 ACERO DE REFUERZO.....	26			
1.5.1 Varillas de refuerzo.....	26			
1.6 MAMPOSTERÍA.....	27			
1.6.1 Bloques.....	27			
1.6.2 Acero de refuerzo para mampostería.....	29			
1.6.3 Agregados para mortero y concreto de relleno.....	29			

Figura 9. Parte del índice del documento de Requerimientos Constructivos para Subestaciones Eléctricas.

El documento de Aspectos de Diseño de Subestaciones Eléctricas, el cual es parte del Plan de Gestión de Calidad e Inspección, es un manuscrito que contiene todas las consideraciones de diseño presentes en el Manual de Construcción de Subestaciones y además se agregan a él todos aquellos comentarios y observaciones de diseño que los entrevistados citaron en sus reuniones.

Este documento de Aspectos de Diseño, se encuentra dividido en las áreas civiles, eléctricas y mecánicas, pero con los mismos temas que contiene el Manual de Construcción de Subestaciones. Esto con el fin, de que nuevos profesionales se guíen en él a la hora de adentrarse en el contenido.

Seguidamente se presenta una figura con la portada del mismo, ya que su contenido es muy extenso para colocarse en este lugar (ver apéndice 2).



Figura 10. Portada del documento de Aspectos de Diseño en Subestaciones Eléctricas.

Como herramientas en el Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas, se tienen las Listas de

Verificación para la Construcción de Subestaciones.

Estas listas contienen un documento introductorio, el cual se encuentra formado por los siguientes apartados:

- Introducción
- Propósito
- Alcance
- Responsables
- Aplicación de listas de verificación
- Cuadros resumen de listas

La finalidad de los apartados anteriores dentro de las listas, es introducir a la persona que utilizará las mismas. Se busca establecer con anterioridad, ciertos temas, objetivos y forma de aplicación de ellas.

Las listas contienen una serie de preguntas, las cuales se responden de forma directa, con un “sí”, “no” o su comentario. Estas preguntas, hacen referencia a todos los requerimientos constructivos establecidos en su documento de referencia (Requerimientos Constructivos para Subestaciones Eléctricas).

Las listas de verificación se encuentran divididas de la misma forma que su documento de referencia. Esta división tiene como fin, la fácil ubicación del inspector, dentro del documento de referencia y los trabajos de campo, aplicando de la misma manera, las listas de verificación correspondiente al trabajo a inspeccionar.

El plan de gestión de calidad e inspección, contiene una lista de verificación para cada tema desarrollado en el documento de Requerimientos Constructivos para Subestaciones Eléctricas, para un total de 70 listas de verificación.

Como aspectos a tomar en cuenta dentro de las listas de verificación, se pueden mencionar los siguientes:

- Actividad
- Numero de la lista
- Documento de referencia
- Elemento a inspeccionar
- Identificación del elemento
- Proyecto a inspeccionar
- Parámetros a verificar
- Identificación de parámetro inspeccionado

- Condición de los parámetros inspeccionados
- Comentario de la inspección
- Fecha de la inspección
- Responsable (es) de la inspección
- Firma (as) de los inspectores
- Numero de lote (para listas de materiales)
- Fecha de entrega (para listas de materiales)
- Proveedor (para listas de materiales)

Estas listas deben ser archivadas cada vez que se realiza una inspección, por lo que su debido orden en el campo u oficina será imprescindible.

Seguidamente se presenta una serie de figuras que representan la portada, índice y estructura típica de la listas de verificación. Para analizar el documento de Listas de Verificación en la Construcción de Subestaciones Eléctricas (ver apéndice 3), se puede adentrar en los contenidos de este documento.



Figura 11. Portada del documento de Listas de Verificación en la Construcción de Subestaciones Eléctricas.

LISTA DE VERIFICACIÓN				
ACTIVIDAD: TRABAJOS DE TRAZADO		Nº: 100		
DOCUMENTO REFERENCIA: REQUERIMIENTOS CONSTRUCTIVOS PARA SUBESTACIONES ELÉCTRICAS				
ELEMENTO: _____		IDENTIFICACIÓN: _____		
PROYECTO: _____				
ID	PARÁMETRO A VERIFICAR	CONDICIÓN		COMENTARIOS
		SI	NO	
1	ASPECTOS GENERALES:			
1.1	¿Se sigue la ubicación y dimensiones dadas en planos?			
1.2	¿Se establecen líneas de referencias verticales y horizontales?			
1.3	¿Se utiliza topografía en el trazado de pernos?			
1.4	¿Se utilizan yuguetas de acero para el trazado de pernos?			
1.5	¿Se realiza el debido empotramiento de las yuguetas en todos los trazados?			
1.6	¿Se separa las yuguetas un mínimo de 1.0 m del perímetro de la estructura trazada?			
1.7	¿Se sujeta correctamente las cuerdas u otros mecanismos a las yuguetas?			
Fecha de Inspección: _____				
Responsable (es) de la inspección: _____				
Firma (as): _____				

Figura 12. Listas de Verificación en la Construcción de Subestaciones Eléctricas.

Análisis de los resultados

Los resultados obtenidos con el diseño de un Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas, son el producto de los requerimientos necesarios por parte de la Unidad Estratégica de Negocios Transporte de Electricidad en su proceso de Expansión de la Red (UEN TE), para garantizar la calidad de sus proyectos en subestaciones eléctricas, realizados por los agentes externos de la unidad.

Como parte de este trabajo, se analizó el Manual de Construcción de Subestaciones, el cual es el único documento vigente para establecer parámetros constructivos, por parte de esta unidad, hacia los constructores de sus proyectos.

El documento anterior se convirtió para la UEN TE es una herramienta en contra de sí misma, ya que este documento se encuentra desactualizado en la mayoría de sus temas. Esta desactualización hace que las empresas constructoras de los proyectos de la UEN TE, tomen algún tipo de ventaja en cuanto a las brechas que se encuentran en el documento del Manual de Construcción de Subestaciones, no cumpliendo de esta manera, con muchos aspectos constructivos de calidad que la unidad necesita, ya que en el Manual de Construcción de Subestaciones no se encuentran establecidos. Es importante recordar que el manual vigente es un documento de carácter obligatorio adjuntado a los contratos que la UEN TE establece con sus constructores y que además, es el documento base para realizar la inspección de obras y calificar los productos recibidos por la unidad.

Como una de las soluciones de lo anteriormente planteado, se realiza una serie de visitas de campo y entrevistas con profesionales dedicados a la construcción, inspección y mantenimiento de subestaciones eléctricas. Estas visitas de campo y entrevistas con profesionales en el tema, buscan actualizar los requerimientos constructivos del manual vigente y a la vez,

identificar procesos constructivos no establecidos en el Manual de Construcción de Subestaciones.

Según lo derivado de las entrevistas (ver anexos 1, 2, 3), se crean los cuadros presentes en el apartado de resultados de este trabajo (cuadros del 1 al 14). En estos cuadros se pueden apreciar las observaciones que realizaron las diferentes personas entrevistadas; aunque los cuadros solo presentan el tema principal de la observación o comentario, se puede ver, como más de un entrevistado tiene observaciones sobre el mismo tema, pero si se analizan más detalladamente las entrevistas (ver anexos 1, 2, 3), se puede observar la similitud de lo dicho por los entrevistados sobre la misma situación.

Lo anterior refleja de forma contundente, que existen problemas sobre el tema en investigación. Cuando un entrevistado plantea una observación sobre los requerimientos constructivos planteados en el manual vigente y otros profesionales hacen el mismo comentario, se comienza a afirmar el problema, de esta manera se busca reforzar la debilidad que se encuentra en el documento vigente.

Para las entrevistas del área civil, se puede observar detalladamente en los cuadros de las mismas (cuadros de 1 al 8), cómo las actividades constructivas de movimiento de tierras, cimientos de estructuras mayores/menores, obras asociadas al transformador de potencia y drenajes, son las actividades con más observaciones. Para los demás procesos constructivos, se aprecia la variación de las observaciones, especialmente en aquellos temas civiles que son compartidos con el área mecánica y eléctrica. Estas variaciones, se deben principalmente a una falta de capacitación en dichos temas por parte de los ingenieros civiles o de construcción, como también se podría estar presentando, la falta de comunicación y organización entre los profesionales de las diferentes áreas de ingeniería.

Además podemos apreciar, cuáles son los trabajos que importan más a los entrevistados, que corresponden al movimiento de tierra, cimientos y drenajes. Estos trabajos parecen ser de vital importancia, ya que se encuentran relacionados con el patio de la subestación y que de forma directa influyen en los trabajos mecánicos y eléctricos de los equipos y sistemas a tener en el patio. Problemas constructivos y la falta de calidad en los trabajos del patio de la subestación, ocasionarán atrasos, pérdidas económicas y complicaciones en los proyectos.

Como se puede apreciar en los cuadros de entrevistas civiles (cuadros de 1 al 8), las otras actividades civiles son las que contienen menos observaciones. Como ejemplo de esto, tenemos los trabajos constructivos en las edificaciones (*MetalClad y Bucker*), los cuales parecen no tener muchos requerimientos constructivos a actualizar o mejorar por los entrevistados, pero que al igual que el patio de la subestación, contienen una serie de equipos y sistemas eléctricos vitales para el funcionamiento de la subestación eléctrica. Es por lo anterior, que las actividades poco observadas, deben de reforzarse, ya que todo trabajo o estructura en la subestación es vital para el funcionamiento de la misma.

Dentro de los cuadros de entrevistas civiles (cuadros de 1 al 8), se encuentran los resultados de las observaciones realizadas a los materiales a utilizar en la construcción de una subestación, por lo que se puede ver, cómo el acero y agregados del cemento son los más comentados, por lo que evidencia su importancia en el proyecto. Para los demás materiales, se observa como la mayoría de los profesionales no tienen observaciones de los mismos, es por esta razón que se debe reforzar este tema en los nuevos requerimientos constructivos.

Para las entrevistas del área mecánica y eléctrica, se puede apreciar por medio de los cuadros de las mismas (cuadros de 9 al 14), cómo los temas de requerimientos generales para el contratista y el tema de equipos de potencia son los que contienen más observaciones. En el área eléctrica, se aprecia considerablemente la mayor concordancia de las observaciones por parte de los entrevistados, en el tema de la malla a tierra y aterrizamientos de los equipos y estructuras. Otros temas eléctricos que contienen gran número de observaciones

son los temas de sistemas eléctricos generales y cajas intermedias.

Los demás temas electromecánicos, contienen pocas observaciones, además de que cada observación es muy variada entre los entrevistados.

Como resultado de las mismas entrevistas y visitas de campo, se llegan a determinar variaciones en el proceso constructivo e instalación de equipos y sistemas eléctricos dentro de las subestaciones (ver anexos 1, 2, 3). Según los resultados obtenidos, se llegan a determinar más cambios constructivos en el área civil, pero en el área electromecánica, se presenta una mayor actualización de los requerimientos establecidos en el manual vigente (*Manual de Construcción de Subestaciones*).

Lo anterior se debe a que el área civil del *Manual de Construcción de Subestaciones* se encontraba poco sustentada en requerimientos constructivos, pero contrario al área civil, las secciones electromecánicas tienen bien definidas en su prosa, lo aspectos constructivos a considerar en la instalación de equipos y sistemas eléctricos dentro de la subestación. Los cuadros pertenecientes a las entrevistas eléctricas y mecánicas, reflejan lo anteriormente dicho, ya que se pueden apreciar las pocas observaciones realizadas por los profesionales en este tema y analizando aún más las entrevistas (ver anexos 1 y 2), se podrá comprobar que la mayor parte de los comentarios de los profesionales, hace alusión a la actualización de temas en específico.

Como parte del análisis y estudio del *Manual de Construcción de Subestaciones* (documento vigente), se identifica una gran cantidad de especificaciones de diseño establecidas dentro de este documento.

El área civil del anterior manual es la sección que presenta en mayor cantidad, aspectos de diseño. Su parte eléctrica y mecánica también presentan dichos aspectos pero en menor cantidad.

Todos los aspectos de diseño, encontrados en el *Manual de Construcción de Subestaciones*, así como en las entrevistas y visitas realizadas (ver anexos 1, 2, 3), son establecidas en el documento de Aspectos de Diseño en la Construcción de Subestaciones Eléctricas (ver apéndice 2).

El documento de Aspectos de Diseño en la Construcción de Subestaciones Eléctricas se

crea con la finalidad de salvaguardar los aspectos de diseño encontrados y que de forma indirecta forman parte del Sistema de Control de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas, ya que estos aspectos de diseño encontrados en la presente investigación serán tomados por la UEN TE en un futuro para crear toda una normativa que estandarice el tema de diseño de subestaciones eléctricas.

En las entrevistas y visitas realizadas se aprecian los comentarios de diseño realizados por los diferentes entrevistados. Las entrevistas se formularon y dirigieron hacia los puntos constructivos importantes, pero fueron inevitables los comentarios sobre aspectos de diseño. La importancia de obtener como resultado un documento con consideraciones de diseño, nace cuando se determina (con ayuda de las entrevistas y visitas), que el Manual de Construcción de Subestaciones era utilizado como ayuda en sitio para dar soluciones a problemas que los planos y el diseño no establecían claramente. Lo anterior evidencia que se tienen grandes problemas de diseño y planos para la construcción de subestaciones eléctricas.

Como solución a la problemática de garantizar el producto de calidad que la UEN TE necesita en sus proyectos, se realizó con todos los trabajos anteriores, el diseño de un Plan de Gestión de Calidad en la Construcción de Subestaciones Eléctricas.

El sistema se encuentra conformado por el documento de Requerimientos Constructivos en Subestaciones Eléctricas, el cual es el pilar fundamental de este, englobando en él, todos los requerimientos de calidad actualizados y vigentes de hoy en día, los cuales se utilizan en la construcción de subestaciones eléctricas.

La finalidad del documento anterior es dirigir a las organizaciones o empresas externas encargadas de la construcción de subestaciones, por el buen desarrollo de las mismas. Además se realiza una evaluación de los trabajos con ayuda del mismo documento, teniéndolo como respaldo para expresar la disconformidad en la calidad de los productos.

Como herramienta práctica y legal de evaluación de los requerimientos constructivos establecidos en el sistema de control de calidad e inspección, se crean las listas de verificación. Por lo que una estructura, equipo o sistema no se llega a dar como satisfactorio, hasta que cumpla con todos los puntos establecidos en las

diferentes listas. Además, las listas ayudan a evaluar un material, estructura, equipo o sistema eléctrico de una forma rápida y eficiente, sin tener la necesidad de adentrarse en el escrito de su documento de referencia. También con estas listas, por medio de los nombres y firmas de los inspectores, así como la fecha de la inspección, se tiene un respaldo de la conformidad del producto, el cual fue evaluado por una serie de profesionales, que en caso de generarse problemas en lo inspeccionado, se podrá investigar el porqué del percance.

Se debe adicionar al Plan de Gestión de Calidad e Inspección, el documento de Aspectos de Diseño en la Construcción de Subestaciones Eléctricas, el cual en su debido momento será un documento terminado e incorporado al este sistema.

El Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas tiene dos limitantes importantes, una de ella es, que el plan de gestión solo aplica para la construcción de subestaciones convencionales y no para otros tipos, entre ellas las subestaciones encapsuladas en gas SFG6 (GIS) las cuales se empezarán a promover en el país para finales del año 2012, por cuenta de la UEN TE. Este tipo de subestación encapsulada no ha sido implementada nunca en el país, pero para un adecuado funcionamiento del Plan de Gestión de Calidad e Inspección se deben realizar actualizaciones cercanas para que se abarque todo tipo de subestación de la UEN TE.

La limitante más importante del Plan de Gestión de Calidad e Inspección, es la no implementación de dicho sistema. Para tal efecto, este debe ser aplicado de forma total y satisfactoria en la construcción de una subestación eléctrica. Este tipo de proyecto tiene un periodo aproximado de ejecución de 2 años, por lo que para efectos de este proyecto de graduación, no se puede realizar la implementación del plan de gestión, debido al tiempo de ejecución de la obra. Además, en el periodo de investigación y estudio de este tema, los proyectos por parte de la unidad se encontraban en las etapas finales de su construcción. Queda claro entonces, que el documento de Requerimientos Constructivos en Subestaciones Eléctricas y las Listas de Verificación no pudieron implementarse.

Los documentos del Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas se redactaron siguiendo la normativa interna para la elaboración de normas institucionales. Esta es una normativa a seguir para que cualquier nueva norma sea aceptada como tal, pero no se logran establecer los procedimientos necesarios para convertir las especificaciones constructivas de subestaciones eléctricas en normativa de acatamiento obligatorio en el Instituto Costarricense de Electricidad.

Lo anterior se debe a que en esta institución, se realiza todo un procedimiento para aceptar una propuesta o modificación de alguna normativa institucional. El anterior procedimiento se basa, principalmente, en establecer un comité evaluador de la misma, en donde este grupo se

conforma de una serie de profesionales alrededor del tema de la norma y ellos evalúan la propuesta, realizándose los comentarios y cambios que consideren importantes. Una vez aceptada y modificada la norma por cada integrante del comité, se puede imponer como norma de acatamiento obligatorio a nivel institucional.

Por todo el procedimiento anterior, solo los dirigentes de la UEN TE podrán presentar ante la institución y el comité evaluador, dicho Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas. Además, el tiempo necesario para realizar el procedimiento, se sale del periodo establecido para la práctica profesional.

Conclusiones

Como conclusiones fundamentales de este trabajo se tienen las siguientes:

- Se evidencia la desactualización de las especificaciones constructivas de subestaciones eléctricas por medio de las entrevistas realizadas a los profesionales en el tema y las visitas de campo.
- Se determina que en área civil, las actividades de movimiento de tierras, cimentaciones de estructuras mayores/menores y drenajes, son las actividades que se encontraban con mayores errores constructivos, además que la calidad de los materiales utilizados en esta área presenta poca importancia para la mayoría de los profesionales consultados. En el área mecánica, los requerimientos generales para instalación de equipos y los trabajos en equipos de potencia, son los procesos con más problemas. Para la rama eléctrica, se tiene que la malla a tierra y el aterrizamiento de equipos y estructuras, son las tareas constructivas que los entrevistados establecieron con mayor desactualización. La malla a tierra junto con el aterrizamiento, fueron las áreas con más coincidencia entre los entrevistados.
- Se determinaron a través de comprobaciones en campo y entrevistas, variaciones en los procesos constructivos en los proyectos de subestaciones eléctricas, las cuales no se contemplaban en las especificaciones constructivas vigentes. Lo anterior se expresa fuertemente en las especificaciones del área civil, ya que se encuentra una sección, con pocos requerimientos constructivos y más requerimientos de diseño. Para las especificaciones vigentes del área electromecánica, se encuentra en gran medida una actualización de las mismas, ya que sus procesos constructivos o instalación de equipos y sistemas eléctricos, no han variado mucho con el tiempo.
- Se determina que las actividades de transporte, almacenamiento, izado e instalación de los diferentes materiales, accesorios, equipos y sistemas eléctricos de una subestación, son fuertemente establecidas por el fabricante de los mismos. Si no se cumple paso a paso, con lo establecido por el fabricante, los diferentes elementos mencionados anteriormente pierden su garantía de fábrica, representando pérdidas millonarias al desarrollador del proyecto. Por lo anterior, lo establecido en los documentos del Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas, son solo requerimientos básicos a seguir.
- Se identificaron criterios de diseño presentes en las especificaciones vigentes y además en las entrevistas y visitas realizadas para el desarrollo del tema. Se determina una gran problemática alrededor del tema de diseño, ya que los entrevistados expresaron su preocupación por las consideraciones de diseño que no estaban siendo tomadas en cuenta para este trabajo. Se puede concluir que la problemática en diseño, es igual o más grande que la encontrada en la desactualización de las actividades constructivas de las especificaciones vigentes. Además, se evidencia una falta de información en los planos constructivos de subestaciones eléctricas.

- Se determina que el Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas, es un sistema fundamental e imprescindible para lograr aplicar de forma satisfactoria e ingenieril los nuevos y actualizados requerimientos constructivos, esto para desarrollar productos de alta calidad en la construcción de subestaciones eléctricas en el país. Se determina que el documento de Requerimientos Constructivos en Subestaciones Eléctricas, es el pilar fundamental del sistema anteriormente dicho, este documento es el que lleva tutela de la calidad en el desarrollo de proyectos eléctricos por parte de la Unidad Estratégica de Negocios Transporte de Electricidad. Por lo que se establecen las listas de verificación como herramientas

complementarias del documento de requerimientos. Estas vienen a convertirse en la parte práctica de su documento de referencia, además de ser el medio legal para proceder a reclamos de calidad de los productos.

- Se llega a determinar, que el planteamiento de los procedimientos para convertir el Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas, en normativa institucional solo pueden ser establecidos por lo dirigentes de la UEN TE, por lo que el autor del plan de gestión no tiene la autorización para realizar dicho procedimiento, además de que este se sale del periodo de aplicación de la práctica profesional.

Recomendaciones

Al final de todo el trabajo anteriormente planteado, se generan las siguientes recomendaciones:

- Debido a la cantidad de regiones en la que se divide la Unidad Estratégica de Negocios Transporte de Electricidad, además de la diversificación de procesos constructivos que se encontró con la realización de este trabajo, se deben generar más entrevistas y visitas de campo a las diferentes regiones del país, esto con el fin de lograr un aumento en las especificaciones constructivas actuales que se emplean en la construcción de subestaciones eléctricas. Este trabajo también facilitará la aceptación de la normativa por parte de las diferentes regiones, aumentando de forma directa la estandarización de los procesos constructivos e instalación de equipos y sistemas eléctricos. También se logrará con lo anterior, identificar y evaluar los problemas o debilidades que se estén generando en las diferentes regiones de la UEN TE.
- Además de realizar nuevas búsquedas de requerimientos constructivos, se debe comenzar de una manera más intensa, la recopilación de las consideraciones de diseño que los profesionales de las diferentes áreas de ingeniería quieran expresar. Esta información recopilada, servirá de base para general nuevas normativas alrededor del tema. Además, es importante recordar que además de los problemas de diseño, se tienen muchos problemas relacionados a la falta de detalle y especificación de los planos constructivos.
- Para garantizar el funcionamiento óptimo e ingenieril del Plan de Gestión de

Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas, se debe implementar a manera de prueba antes de plantearse al comité normalizador de la institución, esto para realizar los cambios necesarios y asegurar el buen funcionamiento del mismo. Además, después de normalizado, se debe actualizar el mismo como mínimo cada dos años, esto para evitar que el plan de gestión se vuelva obsoleto y solo sean herramientas sin sentido. Como aspecto importante para realizar las actualizaciones, se debe pensar que las subestaciones eléctricas contienen equipos y sistemas de alta tecnología, la cual cambia considerablemente con el paso de los años.

- Con el diseño del Plan de Gestión de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas, se logra realizar un cambio intenso en la forma de supervisar los proyectos de subestaciones eléctricas, pero este cambio debe ser solo el inicio de un cambio total. Se deben generar por parte de la UEN TE estudios y análisis en aspectos contractuales, diseño y planos constructivos; los cuales estarán dentro de un mismo plan de gestión de calidad e inspección.
- Como sugerencia al departamento, se plantea la contratación de más personal para realizar un mejor trabajo de supervisión de los diferentes proyectos administrados por la unidad, ya que esta solo cuenta con tres personas para supervisar todos los proyectos en subestaciones eléctricas y además, los proyectos de líneas de transmisión eléctrica. Sin la contratación de más personal, la calidad en la supervisión de

los proyectos eléctricos será cada vez más pobre.

- Se debe generar un cambio institucional, pero aún más de la unidad, para suprimir la resistencia al cambio, formando un ambiente ameno para las nuevas modificaciones que se quieren implementar en los procesos institucionales. Además se debe buscar

dentro de la unidad, la forma de agilizar los procesos administrativos. La no apertura al cambio y la traba en los procesos generan un ambiente de trabajo poco productivo y lleno de errores. Si se quiere tener un cambio en la calidad de los proyectos, se debe empezar desde adentro.

Apéndices

Los apéndices presentes en esta sección, representan los productos principales de este trabajo, los cuales se muestran a continuación.

Apéndice 1

El apéndice 1 contiene el documento de Requerimientos Constructivos en Subestaciones Eléctricas, el cual forma parte del Sistema de Control de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas.

Apéndice 2

El apéndice 2 contiene el documento de Aspectos en Subestaciones Eléctricas, el cual forma parte del Sistema de Control de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas.

Apéndice 3

El apéndice 3 contiene el documento de Listas de Verificación para la Construcción de Subestaciones Eléctricas, el cual forma parte del Sistema de Control de Calidad e Inspección en la Construcción de Subestaciones Eléctricas.

Apéndice 1

Requerimientos Constructivos en Subestaciones Eléctricas.

Apéndice 2

Aspectos de Diseño en Subestaciones Eléctricas.

Apéndice 3

Listas de Verificación en la Construcción de Subestaciones Eléctricas.

Anexos

Los anexos aquí presentes, son el resultado de las diferentes entrevistas realizadas a profesionales del área civil, eléctrica y mecánica; los cuales se presentan a continuación:

Anexo 1

Entrevistas realizadas en el área civil a diferentes profesionales en el tema.

Anexo 2

Entrevistas realizadas en el área mecánica a diferentes profesionales en el tema.

Anexo 3

Entrevistas realizadas en el área eléctrica a diferentes profesionales en el tema.

Anexo 1

Entrevistas área civil – Subestaciones Eléctricas

Anexo 2

Entrevistas área mecánica – Subestaciones
Eléctricas

Anexo 3

Entrevistas área eléctrica – Subestaciones
Eléctricas

Anexo 4

Fotografías de visitas a campo.

Referencias

Arroyo, G. 2011. **MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES: Entrevista área civil**. San José, Sabana. Comunicación personal.

Calderón, G. 2011. **MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES: Entrevista área eléctrica y mecánica**. Guanacaste, Tilarán. Comunicación personal.

Calvo, M. 2011. **MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES: Entrevista área civil**. Cartago, Tejar. Comunicación personal.

Chavarría, K. 2011. **MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES: entrevista área civil**. Alajuela, Naranjo. Comunicación personal.

Coto, S. 2011. **MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES: Entrevista área eléctrica y mecánica**. San José, Sabana. Comunicación personal.

López, J. 2011. **MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES: Entrevista área civil**. San José, Sabana. Comunicación personal.

Méndez, T. 2011. **MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES: Entrevista área eléctrica**. Cartago, Tejar. Comunicación personal.

Oviedo, C. 2011. **MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES: Entrevista área eléctrica y mecánica**. San José, Colima. Comunicación personal.

Oviedo, C. 2011. **MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES: Entrevista área civil, eléctrica y mecánica**. San José, Sabana. Comunicación personal.

Pérez, S. 2011. **MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES: entrevista área mecánica**. Cartago, Tejar. Comunicación personal.

Ramírez, J. 1991. **SUBESTACIONES DE ALTA Y EXTRA ALTA TENSION**. Colombia: Editorial Mejías Villegas S.A.

Ramírez, A. 2011. **MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES: Entrevista área eléctrica y mecánica**. San José, Colima. Comunicación personal.

Raull, J. 1992. **DISEÑO DE SUBESTACIONES ELÉCTRICAS**. México: Editorial McGraw - Hill.

Rodríguez, D. 2011. **MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES: Entrevista área eléctrica**. Cartago, Tejar. Comunicación personal.

Valerio, M. 2011. **MANUAL DE CONSTRUCCIÓN DE SUBESTACIONES: Entrevista área civil**. San José, Sabana. Comunicación personal.

- Electrhiguita. (2011). **SUMINISTROS ELÉCTRICOS: referencia electrónica.** Recuperado 23 de abril, 2011, de <http://elctrhiguita.blogspot.com>
- Global Engineering Corporate. (2011). **SUBESTACIONES: referencia electrónica.** Recuperado 21 de abril, 2011, de <Http://gecca.wordpress.com>
- Portaelectricos. (2011). **DISPOSICIONES GENERALES: referencia electrónica.** Recuperado 19 de abril, 2011, de www.portaelectricos.com
- Universidad Perú. (2011). **TÉRMINOS SOBRE ELECTRICIDAD: referencia electrónica.** Recuperado 20 de abril, 2011, de www.universidadperu.com.
- WordReference. (2011). **DICCIONARIO DE LA LENGUA ESPAÑOLA: referencia electrónica.** Recuperado 19 de abril, 2011, de www.wordreference.com/definicion

