

Implementación de una metodología para medir el rendimiento en la construcción de líneas de distribución eléctrica



Abstract

The orientation of the next project is focus on facilitate the obtaining of performance of the resources used in projects of distribution lines of the Instituto Costarricense de Electricidad, also the costs associated with this kind of project.

For this purpose, it has been developed a digital application which will be used for administrative personal of each line construction project, located in different parts of the country

The basic ideal operation of the application is the introduction of time worked by the resources of manpower, machinery, minimum equipment, rental car on the dates they have been used as well as travel costs and materials purchased for the project also may report the work done by each activity.

As a result of the last paragraph may have information of performance and costs incurred in the projects, which will give way to test the level of progress of these in the course of time, which is directly linked to the concept of earned value, which evaluates the performance of the project and verify that the construction is faithful to the plan specified in both progress and cost, for this analysis was produced in Excel a tool.

It has been also analyzed if the characteristics of distribution lines projects can apply the technique of balance lines. The result was the satisfaction of the interested persons, thinking that it would leave open doors to optimize the processes of construction of distribution lines.

Key words: application, tool, digital, performance, costs, earned value, data base.

Resumen

La orientación del siguiente proyecto corresponde a facilitar la obtención de los rendimientos de los recursos utilizados en los proyectos de líneas de distribución del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), así como los costos asociados a este tipo de proyectos.

Para tal propósito, se desarrolló una aplicación digital que será utilizada por el personal del área administrativa de cada proyecto de construcción de líneas, ubicados en distintas zonas del país. El ideal básico de funcionamiento de la aplicación es la introducción del tiempo de trabajo realizado por los recursos de mano de obra, maquinaria, equipo menor, vehículo alquilado en las fechas que se haya recurrido a ellos, así como los costos de viáticos y materiales que se compran durante el desarrollo del proyecto, además se podrá introducir el trabajo realizado según cada actividad.

Como resultado de lo anterior se podrá tener información de rendimientos y de los costos incurridos en los proyectos, ello dará paso al análisis del nivel de avance de éstos en el transcurso del tiempo, lo cual va directamente ligado al concepto de valor ganado, que permite evaluar el desempeño del proyecto y verificar que la construcción es fiel a lo especificado en el plan tanto en avance como en costos. Para dicho análisis se confeccionó en Excel una herramienta. Además se analizó si con las características de estos proyectos de líneas de distribución se puede aplicar la técnica de líneas de balance.

El resultado obtenido fue la satisfacción de los interesados, pensando en las puertas que abre para llegar a optimizar los procesos de construcción de líneas de distribución.

Palabras clave: Aplicación, Herramienta, Digital, Rendimientos, Costos, Valor Ganado, Base de datos.

Implementación de una metodología para medir el rendimiento en la construcción de líneas de distribución eléctrica

SOFÍA DELGADO QUIRÓS

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

Junio del 2010

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

Contenido

PREFACIO	1
RESUMEN EJECUTIVO	2
INTRODUCCIÓN	4
ANTECEDENTES	6
MARCO TEÓRICO	10
LINEAS DE DISTRIBUCIÓN.....	10
Sistema eléctrico Nacional.....	10
Redes Eléctricas.....	10
Redes de Distribución.....	10
Montajes.....	11
RENDIMIENTOS.....	12
APLICACIÓN DIGITAL.....	14
INTERFACE.....	15
CODIGO.....	15
BASES DE DATOS.....	16
CONTROL DE COSTOS.....	16
VALOR GANADO.....	18
LÍNEA DE BALANCE.....	19
METODOLOGÍA	22
RESULTADOS	24
APLICACIÓN Gestión ATC.....	24
MAPA DE SITIO APLICACIÓN.....	24
HERRAMIENTA PARA VALOR GANADO.....	24
RESULTADOS DE PRUEBAS.....	24
ANÁLISIS DE RESULTADOS	31
APLICACIÓN DIGITAL.....	31
RENDIMIENTOS.....	32
VALOR GANADO.....	34
LÍNEA BALANCE.....	39
CONCLUSIONES Y	
RECOMENDACIONES	41
APÉNDICES	43
APÉNDICE 1.....	44
APÉNDICE 2.....	45
APÉNDICE 3.....	46
APÉNDICE 4.....	47
ANEXOS	48
ANEXO 1.....	49
ANEXO 2.....	50
ANEXO 3.....	51
REFERENCIAS	52

Prefacio

La existencia de datos de rendimientos constructivos en el Centro de Construcción de Líneas del ICE para el tramo de construcción conocido como L.D. Chacarita-Palmar Norte, fue el resultado de una tesis, denominada Metodología para la determinación de los rendimientos de las actividades constructivas de una línea de distribución eléctrica, la cual dio origen a un nuevo proyecto, el cual sería perfecto para ser desarrollado por un practicante, pues requiere investigación, análisis y tiempo, de ahí la actual investigación.

Para tal fin, el enfoque del proyecto consiste en el desarrollo de una herramienta que permita generar de forma rápida información de rendimientos y costos en que se incurren por proyecto, para desarrollar así bases de datos con proyectos de diferentes características, donde dicha información permitirá realizar planeamientos así como llevar un control de los costos de forma bisemanal, o en la fecha que se requiera realizar el control. Esto será la base para medir el avance de un proyecto determinado, realizando un análisis de valor ganado, siendo su enfoque la comparación del avance real de la obra con respecto del avance según el plan de trabajo.

Se tuvo la colaboración del Centro de Construcción de Líneas de Distribución para la obtención de todos los datos necesarios, teniendo como guía al Ingeniero en líneas Armando Cruz White, quien estuvo siempre dispuesto a resolver cualquier duda referente a su metodología de rendimientos sobre la cual se fundamenta este proyecto y otras en general, y los administrativos Carlos Alfaro y Cristian Portugués estuvieron ayudando en la búsqueda de la información necesaria, así como otros administrativos en campo.

El desarrollo del proyecto estuvo asesorado por el ingeniero Miguel Artavia como profesor guía; por otro lado el proceso de elaboración de la herramienta requirió de mucha

investigación, donde se contó con la colaboración del Ingeniero Rodolfo Jenkins, quien trabaja en el ICE, de Mauricio Montero un ingeniero en computación y del Profesor Gustavo Rojas, quienes con sus conocimientos fueron muy anuentes a resolver cualquier tipo de consulta.

Resumen ejecutivo

La idea de este proyecto es la aplicación práctica de la metodología existente de rendimientos en líneas de distribución, creando una aplicación capaz de realizar el cálculo de los rendimientos de los diferentes recursos (mano de obra y maquinaria) por cada actividad en los diversos proyectos de líneas de distribución, así como la posibilidad de disponer de los costos asociados a esas actividades. Es importante además ver su aplicabilidad a los términos valor ganado y línea de balance. Ello va a permitir la conformación de bases de datos de rendimientos y costos en los proyectos de construcción de líneas, los cuales podrán servir de guía en un mañana para un determinado proyecto que cumpla con características semejantes.

Como paso inicial se realizaron varias reuniones con las personas interesadas en el desarrollo de este proyecto, donde se acordó a su vez el alcance que tendría. Luego se dio a la tarea de analizar lo requerido para lograr el objetivo buscado, así se inició por entrevistar a las personas que estarán involucradas con el uso de la herramienta, también a las que podrían brindar información importante.

Esa fase inicial conocida como recolección de la información conformaría la base de datos, duró su tiempo ya que no todo se hallaba en la oficina del ICE, sino también en el Centro de Apoyo de Proyectos (CAP), en dicho Centro se contrata gran parte de la mano de obra que conforma los proyectos de líneas de distribución, además se contaba con el inconveniente de que como es una herramienta que a su vez mostrará los costos de las actividades, éstos se van actualizando constantemente y no todos están a la mano.

Esto fue uno de los motivos por los cuales se pensó en una herramienta que tuviera la facilidad de poder realizársele actualizaciones

o modificaciones a los datos existentes, pues por ejemplo los costos van difiriendo conforme pasa el tiempo o puede que nuevos empleados o maquinaria vaya siendo modificados.

Otro punto importante es que va a ser manejada por las personas encargadas de los proyectos, se va a instalar un programa por proyecto y al no contar estas personas con conocimientos en el uso de programas complicados, la manera como la herramienta funcione se debe pensar de forma que no confunda y complique la labor de quienes la utilizarán, de ahí que también se les debe capacitar en el uso acompañado de una guía o un manual.

Después de haber realizado la investigación de cuál información es importante obtener, se prosiguió al desarrollo de una base de datos, donde conforme se fue desarrollando se ordenaron los datos de forma tal que tengan lógica para el funcionamiento del programa, es decir, lograr relacionarlos para que se dé un uso correcto de la información.

De ahí, se hizo un estudio para seleccionar cuál lenguaje de programación se iba a utilizar, habiendo investigado diversas opciones y tomando en cuenta que debe permitir realizar una conexión con la base de datos. El programa escogido permitió interrelacionar el código y la base de datos y hacer un diseño adecuado de la interfaz de la herramienta computacional.

Conforme se fue desarrollando la aplicación se iban haciendo pruebas, introduciendo información para evaluar que se fueran guardando los datos como corresponde. Como complemento de esta aplicación de introducción de recursos, se diseñó en Excel una herramienta para realizar el análisis de valor ganado, concepto que permite ver el porcentaje de avance de los proyectos y realizar una

comparación de acuerdo con el avance planeado, así ver los costos en que se ha incurrido a través del tiempo, realizando revisiones en fechas de corte. Al tenerlo listo, se ingresaron datos de dos meses de un proyecto real, el cual presenta gran nivel de avance. Se hizo de esta manera, pues actualmente no se dispone de este tipo de información para la totalidad de un proyecto en específico, la idea es dar el primer paso para tratar de inducir una cultura de control de costos mediante el concepto de valor ganado, el cual actualmente no existe en los proyectos de líneas de distribución.

Como parte final se razonó si el método líneas de balance se podría adaptar a los procesos de construcción de líneas de distribución, donde se concluyó que de la manera como se plantea este concepto en la teoría, no es aplicable, pero si se hacen ciertos ajustes a la técnica, se podría adaptar en cierto modo.

Introducción

La necesidad de contar con información de rendimientos de los diversos proyectos de líneas de distribución del ICE dio cabida al desarrollo del presente trabajo, el cual permitirá contar con bases de datos que se usarán como base para realizar planeamientos de proyectos futuros. También revisar cómo es el comportamiento del avance y de los costos de determinado proyecto en el transcurso del tiempo.

Objetivo general

-Desarrollar e implantar una herramienta que permita controlar y registrar la eficiencia en costos del proceso constructivo de líneas de distribución eléctricas, así como el avance de la obra a modo de una continuación de una metodología de rendimientos existente.

Objetivos específicos

-Verificar en sitio la información de la base de datos de manera que permita trabajar con datos confiables.

-Partiendo de la información anterior, diseñar una aplicación informática que permita obtener los rendimientos diarios por actividad realizados así como los costos asociados.

-Realizar un análisis de los datos existentes acerca de rendimientos de construcción de líneas de distribución aplicando el término de valor ganado buscando optimizar el proceso constructivo, realizando comparaciones de: productividad-tiempo, costos-tiempo, productividad-costos.

-Investigar sobre el método de líneas de balance para aplicar al proceso de construcción de líneas de distribución.

Los proyectos de distribución del ICE están ubicados en las zonas rurales del país, existe actualmente un número considerable en construcción y muchos en plan de construirse más adelante. Esto ha hecho que los ingenieros encargados de las obras, se interesen por tener información de rendimientos y costos de los distintos proyectos. De forma paralela poder medir cómo va el avance del proyecto y cuánto se ha gastado de acuerdo con el trabajo realizado, donde la información se pueda revisar por actividad, permitiendo así en un mañana, si se encuentran con un proyecto con características semejantes a las de uno existente en la base de datos, puedan tener cierto criterio para hacer la planificación.

El Departamento de Distribución de líneas vio la oportunidad de desarrollar la idea, a través de un practicante. Una herramienta conocida como Sistema de Información Para Proyectos (SIPP) es la que actualmente se usa en la oficina para el reporte de consumo de mano de obra, maquinaria, vehículos y equipo. Sin embargo, ésta no permite ver el valor de los costos en que se está incurriendo de forma desglosada, es decir, ni por recurso, ni por actividad ni por proyecto, tampoco presenta alguna opción donde se pueda medir el rendimiento de los recursos, o sea, el SIPP es más que todo un programa para reportes de tiempo laborado o planilla, de ahí el desarrollo de la herramienta de este proyecto para tener un control de costos para un proyecto en específico.

En general los recursos para analizar son la mano de obra San José, mano de obra CAP, maquinaria ICE, maquinaria alquilada, equipo menor, vehículo alquilado y algunos materiales asociadas a una actividad determinada, los

cuales son los que de forma directa contribuyen al desarrollo de los proyectos, éstos corresponden a los costos directos del proyecto.

Los costos indirectos para este caso son los viáticos y materiales que no se utilicen para una actividad específica, además los costos que se dan en una actividad conocida como paro o suspensión programados, también se coloca en esta categoría. Estos costos indirectos se incluirán según el peso de cada actividad.

La forma de reportar el trabajo realizado es a través de montajes o metros de línea terminados dependiendo de la actividad, lo cual permitirá conocer el porcentaje de avance de este tipo de proyectos en el tiempo.

Según lo consultado con las personas conectoras y lo investigado, los recursos aludidos en los párrafos anteriores se deberán introducir para que la herramienta proporcione los resultados esperados y de manera satisfactoria.

Es importante aclarar, que de manera inicial y para el alcance de esta práctica, este software se instalará en la computadora de cada

proyecto, es decir, habrá un archivo y una base de datos por proyecto, pues lo que se quiere es ver la funcionalidad de esta forma de medir un avance, para en un futuro implantarlo de forma general en todos los proyectos de líneas, así como la herramienta de Excel para el análisis de valor ganado que mide el avance por proyecto.

Este estudio en específico es una combinación de lo aprendido en la carrera de Ingeniería en Construcción con una investigación en temas de Ingeniería Informática, pues de modo contrario no hubiera sido posible esta aplicación.

Por ello este esfuerzo va a ser muy útil para el Departamento de Líneas de Distribución del ICE, pues como se ha dicho, va a brindar información importante de manera rápida y segura, con la que no se contaba hasta ahora.

Antecedentes

El presente proyecto se basa en una tesis ya existente, elaborada por el Ingeniero Armando Cruz White, con el tema "Metodología para la determinación de los rendimientos de las actividades constructivas de una línea de distribución eléctrica", aplicado al ejemplo práctico de la obra L.D. Chacarita-Palmar Norte del Centro de Servicio de Construcción de la UEN PySA, ICE, la cual se desarrolló en un momento en el que los rendimientos que existían eran de forma empírica y correspondían a kilómetros totales de línea construidos por mes sin especificar en qué actividad ni qué recursos intervenían, además, el autor no encontró otros trabajos de investigación referentes al tema de rendimientos en líneas de distribución, ello

mostró la inexistencia de datos útiles para realizar mediciones de avance.

Por ello el trabajo del ingeniero Cruz, consistió en establecer una metodología para determinar rendimientos en este tipo de obras, estudiando su proceso constructivo tratando así de optimizar la eficiencia al proveer de una base de rendimientos constructivos de un proyecto en específico, en este caso la línea Chacarita-Palmar Norte. Después de estudiar dicho proceso, se realizó una estructura detallada de trabajo, dividiéndola en sistemas y estos a su vez en actividades, como se muestra en la siguiente figura:

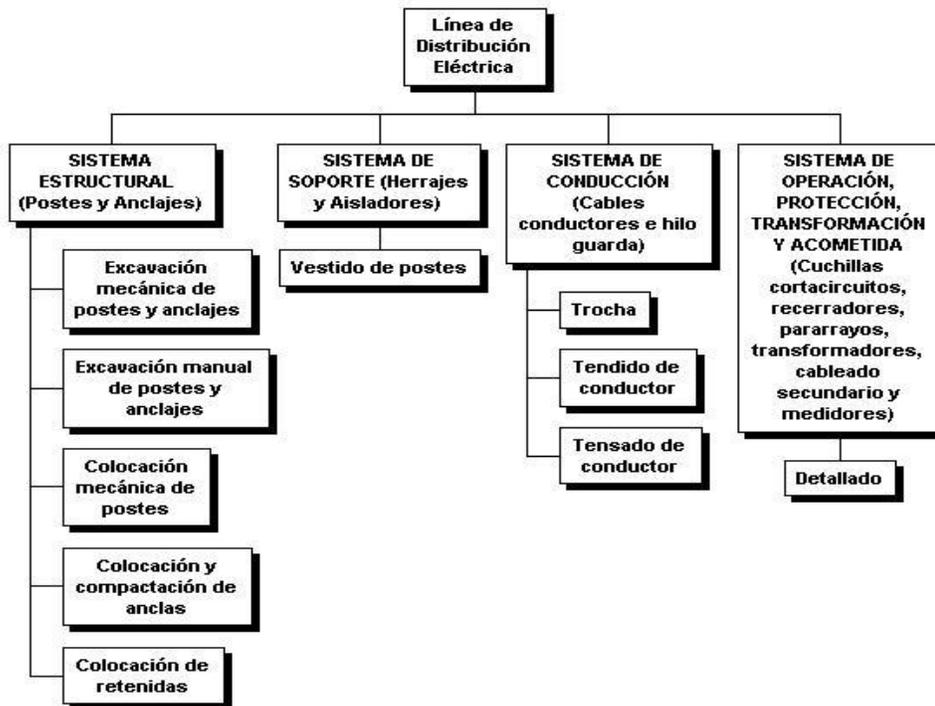


Figura 1. Estructura detallada de trabajo para la construcción de líneas de distribución eléctrica. Fuente: Cruz White, Armando.

La estructura detallada de trabajo divide un proyecto en piezas o partidas manejables para ayudar a asegurar que todos los elementos necesarios para desarrollar la obra sean identificados, definiendo así el alcance total del proyecto. Dicho de otra forma es un sistema que nos permite organizar las actividades de un determinado proyecto, habiendo definido los entregables y sub-entregables por actividad.

Siendo una actividad una pieza de trabajo establecida que requiere tiempo, y va a depender de factores como proceso de construcción, materiales a utilizar y mano de obra necesaria.

Después de realizar estudios, concluyó que la mejor forma de estandarizar la toma de datos de trabajo, era con montajes, ya que esa forma de medir cuantos kilómetros de línea se

construían por mes, es muy poco específico, quedando otra opción, la de postes por actividad. Esta medida tampoco fue aceptada, ya que en este prototipo de proyectos, se pueden encontrar con que la línea a construir tiene algunos postes con cierto nivel de avance, por lo que la idea es medir el avance por entregable terminado, de este modo no es conveniente tampoco utilizar esta forma de medida.

Siendo los entregables los montajes, es posible medir el avance de acuerdo a esta medida, teniendo como plan un número total de montajes por actividad, a modo de ilustrar un montaje conocido como J22 se puede observar la figura 2, al final de este apartado. La distribución de montajes por actividades se presenta a continuación.

Cuadro 1. Entregables de las actividades de construcción de líneas de distribución.

Sistema	Actividad	Montajes
Estructural	Excavación manual de postes y anclas	C2, C81113, C81313, C81513
	Excavación mecanizada de postes y anclas	C2, C81113, C81313, C81513
	Colocación mecánica de postes	C81113, C81313, C81513
	Colocación y compactación de anclas	C2
	Colocación de retenidas	C5, R6, R7, R8, R10, R13
Soporte y aislamiento	Vestido de postes	B23, B24, B26, J1, J2, J4, J6, J7, J22, J24, J27, J29, J31, J72
Conducción	Trocha	C81113, C81313, C81513
	Tendido	C81113, C81313, C81513
	Tensado	C81113, C81313, C81513
Operación, protección, transformación y cableado secundario	Detallado	D6C, D7c, D10c, D11c, E4, E5, D24c, C5, R6, R7, R8, R10, R13
	Colocación cableado secundario	B2, B3, B4, B6, B7, B8, B9, B14, D1C, E11

Como se puede observar cada sistema está conformado por una serie de actividades. A continuación se dará una breve explicación de cada una de ellas:

Sistema estructural:

-Excavación manual y mecanizada de postes y anclas:

Tanto la excavación manual como la mecanizada son realizadas para una dimensión predeterminada de poste, de 50 cm de diámetro y la profundidad depende de la altura de poste, ya sea éste de 13 m ó 15 m, donde la ubicación del hueco del poste se ha marcado antes de iniciar la excavación con una estaca. La diferencia entre ambas es que para el caso de la excavación manual se desarrolla con pico y macana, y la mecanizada utiliza equipo habilitado con un barrenador o con una pala.

-Colocación mecánica de postes:

Antes de colocar el poste se debe verificar que no haya agua en los huecos y en caso de exceso de material excavado debe ser nivelado. El proceso del levantamiento del poste, se realiza con la grúa siembra postes o grúa tradicional, y en la mayoría de los casos, el poste se levanta ya vestido, es decir, con los cruceros, aisladores y arriostres colocados. Se deben instalar teniendo el cuidado de que queden bien alineados en el agujero y deben mantenerse firmes después de terminada la construcción.

-Colocación y compactación de anclas:

Se coloca el ancla en el hueco y como paso siguiente se tapa con piedra, para luego ser compactado con una capa de tierra de 60 cm mínimo, por último la varilla del ancla se coloca en ángulo de 45° con respecto del terreno. Algo muy importante es verificar la resistencia del ancla, para que cumpla bien con su función de soporte, además que si el terreno no es el adecuado para este tipo de estructuras, se debe agregar como material de relleno concreto con un f'c de 140 kg/cm².

-Colocación de retenidas:

Deben ser colocadas antes de tender el cable, para que éstas desarrollen la tensión necesaria. Las retenidas van colocadas desde el extremo del ancla hasta la parte superior del poste.

El sistema de soporte y aislamiento:

-Vestido de postes:

Antes de realizar el vestido, el encargado indica cuál es el tramo de línea que se vestirá así como el tipo de montaje para cada poste, basándose en los planos constructivos. Esta operación se puede realizar antes de colocar el poste o cuando ya está puesto, y va a depender de cómo lo decida el encargado del proyecto.

Sistema de conducción:

-Trocha:

Esta actividad consiste, en cortar la vegetación que puede afectar el sistema de conducción, mediante motosierras convencionales, de extensión, machetes y máquina desbrozadora de ramas. Esta actividad requiere contar con los permisos del MINAET aprobados. De acuerdo con la cantidad de trabajo, el encargado analiza cómo se realizará el proceso y determina la cuadrilla de trabajo para esta actividad.

-Tendido:

La cantidad de cable conductor por tender va a depender de la distancia que haya entre aberturas, pues el tendido se hace entre los montajes de abertura, con la ayuda de equipos, donde se va jalando el cable del carrete de conductor, el tractor de llantas con brazo hidráulico va tendiendo el cable y éste se va izando a cada poste con la ayuda del trabajador que este en cada uno.

-Tensado:

El encargado de obra define el tramo por tensar, basado en la información de longitud de vanos, flecha y tensión por utilizar. El inicio se da una vez ubicados los linieros en los puntos correspondientes, los cuales tendrán radios de comunicación tratando en la medida de lo posible asignar uno por cada vano.

La tensión se aplica en el montaje de abertura más apropiado. El tensado termina cuando se llega a la flecha deseada y, como paso siguiente, se fijan los cables conductores. En estos procesos se requiere aplicar las más estrictas normas de seguridad debiéndose guardar las distancias requeridas al cable conductor, es importante mencionar que se debe esperar 24 horas entre la actividad de tendido y tensado al final del conductor, así como dos horas después de la tensión final para que se igualen las tensiones en los vanos.

Sistema de operación, protección, transformación y cableado secundario:

-Detallado:

En esta actividad se realizan todas las tareas necesarias para que la línea pueda entrar en funcionamiento así como verificar que las actividades ya realizadas mantengan las condiciones iniciales. El detallado procede al tensado, ya que el conductor se encuentra en su posición definitiva, esto porque los montajes de protección y operación se van a conectar de forma directa al conductor.

-Colocación cableado secundario:

En esta última actividad se colocan los tres cables conductores a baja tensión conocido como pentagrama de suministro (el cable superior conocido como hilo neutro y los otros dos son las fases activas de 220v) y el transformador de corriente eléctrica. De tal forma, que el pentagrama va conectado a las acometidas de los medidores de corriente de los usuarios.

Es importante agregar que, además de esas actividades, existen otras asociadas a estos proyectos, sólo que las mencionadas son las que producen los entregables de los proyectos de líneas de distribución y las otras generan costos, las cuales son:

- Marcación topográfica
- Distribución de postes
- Traslado de personal
- Traslado de materiales
- Incapacidad por CCSS
- Incapacidad por INS
- Control y Calidad
- Bodegueros
- Disponibilidad de personal
- Disponibilidad de equipo

La metodología de rendimientos, consistió en tomar la cantidad de horas del liniero, auxiliar de liniero, peón, tractor de llantas y grúa siembrapostes por actividad, a su vez se fue reportando la cantidad de montajes por actividad, acorde con la estructura de trabajo definida inicialmente, esto permitió obtener el rendimiento de esos recursos. Esta información se iba obteniendo de boletas de trabajo llenadas en campo y de forma diaria para reportar el trabajo de cada recurso.

La elaboración de cada montaje tiene un proceso diferente y, por ende, cada uno tiene un

tiempo distinto para ser terminado, sólo que esa discrepancia es mínima, es decir, pocos minutos que no vale la pena considerar, en el sentido de que si se presta atención a esos pequeños detalles, el trabajo va a ser muy engorroso en lo correspondiente a la toma de tiempos especificando si es un montaje u otro, donde como dice el autor de esta metodología existente, hay que preocuparse por los millones y no por las pesetas, así en lugar de obtener resultados más certeros se podría llegar a no obtener nada ya que son muchos tipos de montaje. De ahí que el registro del trabajo realizado sea por montajes, sea cual sea sin detallar, lo cual generará resultados de rendimiento por montaje en general.

De forma tal que para cada actividad se obtuvo una cantidad total de montajes y para cada recurso una cantidad total de horas por actividad, obtenidos en el desarrollo de la obra Chacarita Palmar-Norte.

La limitante que encontró es que esta información de rendimientos se podía aplicar solamente a obras que presenten las mismas características de la línea analizada, como lo es el suelo, relieve, tipo de línea, cantidad de postes, entre otras, por ello sirve de base para continuar obteniendo rendimientos en otros tipos de proyecto.



Figura 2. Montaje J22. Fuente: Sofía Delgado Quirós.

Marco teórico

Líneas de distribución

Sistema Eléctrico Nacional

El sistema eléctrico precisa de una organización económica centralizada para planificar la producción, existen múltiples empresas que participan en las actividades de generación, transmisión, distribución y comercialización. En Costa Rica dentro de los principales actores del sector eléctrico nacional, se encuentra el Instituto Costarricense de Electricidad.

Para el 2005, el porcentaje de cobertura del servicio eléctrico nacional estaba en un 98,1% ubicando Costa Rica entre los primeros lugares de cobertura en Latinoamérica, dicho crecimiento va en relación directa con la demanda de energía por parte de la población¹.

Las fuentes de energía existentes en el país son la hidroeléctrica en primer lugar tanto en capacidad instalada como en generación, seguido de la térmica, la geotérmica, la eólica y la biomasa. Estas plantas productoras de electricidad permiten que haya electricidad en los hogares, cuya distribución a los diferentes puntos se da a través de las líneas de transmisión y líneas de distribución².

Redes eléctricas

El sistema de redes eléctricas comunica la generación de electricidad a los puntos de consumo, es decir, de las subestaciones que son las plantas transformadoras que se encuentran junto a las centrales generadoras, siguen estas redes encargadas del transporte y distribución de electricidad.

¹ Tapia, 2010.

² Ídem.

“El elemento de transporte se da a través de las líneas de transmisión, en elementos de alta tensión a través de estructuras metálicas (torres), en las cuales se da el enlace de las centrales o sitios de generación a las diferentes subestaciones. Por ello el sistema se inicia en la salida de la subestación y termina en las barras de baja tensión eléctrica de la subestación distribuidora”³.

De tal forma estas líneas de transmisión transportan la energía y llegan a elementos donde se reduce la tensión, es decir, hasta los valores utilizables por los usuarios, en lo que se conoce como red de distribución, se refiere al transporte de la energía eléctrica en mediana y baja tensión y puede ser de forma aérea (postearía de madera, concreto y metal), subterránea o submarina.

En la figura 3 se muestra un esquema de cómo se da el proceso de generación, transmisión y distribución de energía:

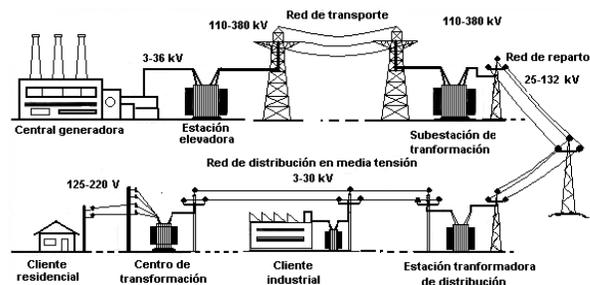


Figura 1: Diagrama esquematizado del Sistema de suministro eléctrico

Figura 3. Red de Energía Eléctrica. Fuente: Wikipedia.

Redes de Distribución

El enfoque del presente proyecto es esta área: la de redes de distribución.

³ Wikipedia, 2010.

Reiterando lo que se decía en el apartado anterior, una red de distribución es un sistema eléctrico individual formado por circuitos interconectados con otras redes eléctricas, el cual se inicia en las barras de baja tensión eléctrica de la subestación hasta el punto de suministro del consumidor, por ello un conjunto de redes de distribución forman el sistema de distribución, el cual se divide a su vez en primaria y secundaria.⁴

Sistema de distribución primaria: sistema formado por los circuitos que se inician en la subestación de distribución para brindar energía a los transformadores de distribución.

Sistema de distribución secundaria: línea utilizada para el transporte de energía a bajo voltaje, es decir, la energía que será utilizada por los consumidores de forma directa.

La conformación de las estructuras de las líneas de distribución es a través de montajes, donde el montaje por usar va a depender de la medida del ángulo de desviación en cada poste, ya que los ángulos de desviación más frecuentes son de 0° - 10°, de 10°-30°, de 30°-60° y de 60°-90°.

Los montajes más comunes son de soporte, abertura y remate, y todos se encuentran codificados.

Soportes: es cuando los conductores se colocan en línea recta sobre aisladores, sin perder la posición de 0° - 10°.

Aberturas: cuando el trayecto es muy largo, para efectos de tendido y tensado del conductor se requiere conocer la ubicación de aberturas, donde dependiendo de si esta pronunciada o no, se hace uso de determinado tipo de soporte.

Remates: se da en la parte de inicio y fin de la red, aunque en la parte inicial se convierte más bien en una abertura, al venir conectada a la subestación o circuito ya existente.

Hay conductores livianos y conductores pesados, de ahí que el calibre de los conductores va a depender y se debe tomar en cuenta para caracterizar una obra, donde por ejemplo la codificación de los montajes primarios monofásicos es: J-1, J-2, J-3, J-4, J-5, J-6, J-7, J-64, J-70 y J-71; para montajes trifásicos triangulares es: J-9, J-11, J-13, J-15, J-17, J-38, J-59, J-60, J-66, J-68 y J-72; para trifásicos

⁴ Dirección de Distribución ICE, Montajes para Construcción de Redes de Distribución.

horizontales es J-22, J-24, J-26, J-27, J-29 y J-31; y para trifásicos verticales es J-32, J-33, J-34 y J-35.

Los montajes secundarios se encuentran en la parte intermedia de los postes, siendo los montajes de interés para los usuarios, pues se hallan en los puntos de consumo: hogares, industrias, etc. La codificación de este tipo de montajes va de la B-1 a la B-25.

Para el caso de los montajes del hilo guarda, el cual protege los conductores de las descargas eléctricas atmosféricas, los códigos son: B-4, B-23, B-25, B-26, B-27, B-28 y B-29.

Montajes ⁵

La tabla 1 de la parte de Antecedentes, muestra la codificación de montajes agrupados por actividad, asimismo, en el Anexo 1, se muestran algunos diagramas de montajes. A continuación se indica el significado de cada uno:

C2: Ancla con bloque

C81113: Poste adicional para retenida tipo R10

C81313: Poste de concreto de 13 metros de altura y 13 cm de cúspide

C81513: Poste de concreto de 15 metros de altura y 13 cm de cúspide

C5: Retenida doble con guardacabo

R6: Retenida sencilla con gaza en poste de concreto

R7: Retenida sencilla primaria con perno en poste de concreto

R8: Retenida sencilla secundaria para poste de concreto

R10: Retenida doble con poste adicional en poste de concreto

R13: Retenida sencilla primaria en poste de concreto

B23: Soporte hilo guarda

B24: Abertura hilo guarda

B26: Remate hilo guarda

J1: Soporte primario para derivaciones monofásicas para ángulos de 0° a 10°

J2: Soporte primario para derivaciones monofásicas para ángulos de 10° a 30°

J4: Abertura primaria para derivaciones monofásicas para ángulos de 0° a 30°

J6: Abertura primaria para derivaciones monofásicas para ángulos de 60° a 90°

⁵ Ídem

J7: Remate primario para derivaciones monofásicas
 J22: Soporte primario trifásico horizontal para ángulos de 0° a 10°
 J24: Soporte primario trifásico horizontal para ángulos de 10° a 30°
 J27: Abertura primaria trifásica horizontal, para ángulos de 0° a 60°
 J29: Abertura primaria trifásica horizontal, para ángulos de 60° a 90°
 J31: Remate primario horizontal
 J72: Abertura trifásica vertical para ángulos de 0° a 30°
 D6c: Montaje 3 pararrayos en poste de concreto
 D7c: Montaje de un cortacircuitos y un pararrayos para derivaciones en poste de concreto
 D10c: Varilla para tierra en poste de concreto
 D11c: Bajante de cable o alambre de cobre a tierra
 E4: Amortiguador de vibración para vanos de 180m a 360 m
 E5: Amortiguador de vibración para vanos mayores de 360 m
 B2: Soporte neutro con abrazadera
 B3: Abertura neutro con abrazadera
 B4: Remate neutro con abrazadera
 B6: Soporte secundario con abrazaderas para ángulos de hasta 60°
 B7: Abertura secundaria con puente para ángulos de 0° a 60°
 B8: Abertura secundaria con abrazadera sin puente
 B9: Remate secundario con abrazadera
 B14: Abertura secundaria con puente para ángulos de 60° a 90°
 D1C: Montaje de un transformador monofásico protegido en poste de concreto
 E11: Separador para líneas secundarias

Rendimientos

El rendimiento es la razón del trabajo realizado entre los recursos necesarios para desarrollarlo, va ligado a los conceptos de eficiencia y efectividad, los cuales buscan realizar un uso racional de los medios para lograr los objetivos planteados.

Entre los recursos a los cuales se les puede medir rendimiento, está la mano de obra, la maquinaria y el equipo que permitirá el desarrollo del proyecto.

Disponer de rendimientos de los recursos que participan en el desarrollo de un proyecto por actividad, permite al encargado del proyecto administrarlo de una forma más eficiente, asignando responsabilidades según lo requerido, mejorando así el desempeño de estos recursos y para proyectos futuros realizar una mejor distribución de ellos realmente necesarios en las diversas actividades, es decir, integrar un equipo donde cada persona cumple una función importante en las actividades que se describen en la estructura detallada de trabajo⁶.

Para llegar a obtener rendimientos, se debe conocer la cantidad de horas totales de los recursos, de modo que si se tiene esta información de las horas totales necesarias para la finalización de un proyecto de los recursos por actividad, se puede planear la duración de las actividades así como la cantidad de días de un determinado proyecto basándose en aquellos con características semejantes que dispongan de esta información de horas, así de modo inverso, si se tiene la cantidad de días que durará un proyecto se puede planear la cantidad de recursos que se necesitarán para el desarrollo de las actividades de un proyecto.

Por ello conocer el rendimiento para actividades en específico para cada proyecto, permite mejorar para próximas experiencias ciertas situaciones que tal vez lo afectan y no permiten que los recursos den un buen desempeño.

Al inicio de cada proyecto de línea de distribución el encargado de obra, tiene a disposición la ruta de la línea, la cantidad y tipos de postes, la cantidad y tipos de montaje, la cantidad de materiales y el tipo de conductor por ser instalados, las distancias de vano entre postes y la cantidad de puntos de suministro, lo cual va a caracterizar cada proyecto⁷. Con esta información es posible asignar recursos por actividad pero más importante aún es también reconocer la ruta de trabajo, pues solo así podrá saberse sobre qué tipo de terreno se va a trabajar, cuál es la cantidad de vegetación, entre otros factores son importantes de considerar a la hora de planear el trabajo.

⁶ Chamoun, Y. Administración Profesional de Proyectos.

⁷ Cruz White,A. Tesis.

A continuación se enlistarán los recursos que se tomarán para el cálculo del rendimiento en la herramienta, los cuales participan en el desarrollo de los proyectos de construcción de líneas de distribución. Se presentará primero el nombre del puesto, entre paréntesis las siglas de éste y después sigue la categorización, en el caso de la maquinaria es el nombre y después del igual la categorización que se usará para medirle al recurso el rendimiento:

Mano de obra⁸

Auxiliar electricista en transmisión-1(AET-1) = auxiliar liniero

Auxiliar electricista en transmisión-2(AET-2) = auxiliar liniero

Auxiliar electricista en transmisión-3(AET-3) = auxiliar liniero

Auxiliar electricista en transmisión-4(AET-4) = auxiliar liniero

Auxiliar electricista en transmisión-5(AET-5) = auxiliar liniero

Auxiliar de liniero eléctrico-1(AULE-1) = auxiliar liniero

Auxiliar de liniero eléctrico-2(AULE-2) = auxiliar liniero

Auxiliar de liniero eléctrico-3(AULE-3) = auxiliar liniero

Auxiliar de liniero eléctrico-4(AULE-4) = auxiliar liniero

Auxiliar de liniero eléctrico-5 (AULE-5) = auxiliar liniero

Electricista en transmisión 1-1(ET1-1)=liniero

Electricista en transmisión 1-2(ET1-2)=liniero

Electricista en transmisión 1-3(ET1-3)=liniero

Electricista en transmisión 1-4(ET1-4)=liniero

Electricista en transmisión 1-5(ET1-5)=liniero

⁸ Instituto Costarricense de Electricidad, 2010.

Electricista en transmisión 2-1(ET2-1)=liniero

Electricista en transmisión 2-2(ET2-2)=liniero

Electricista en transmisión 2-3(ET2-3)=liniero

Electricista en transmisión 2-4(ET2-4)=liniero

Electricista en transmisión 2-5(ET2-5)=liniero

Electricista en transmisión 3-1(ET3-1)=liniero

Electricista en transmisión 3-2(ET3-2)=liniero

Electricista en transmisión 3-3(ET3-3)=liniero

Electricista en transmisión 3-4(ET3-4)=liniero

Electricista en transmisión 3-5(ET3-5)=liniero

Liniero eléctrico 1-1 (LIEL1-1) = liniero

Liniero eléctrico 1-2 (LIEL1-2) = liniero

Liniero eléctrico 1-3 (LIEL1-3) = liniero

Liniero eléctrico 1-4 (LIEL1-4)= liniero

Liniero eléctrico 2-1 (LIEL2-1)= liniero

Liniero eléctrico 2-2 (LIEL2-2)= liniero

Liniero eléctrico 2-3 (LIEL2-3)= liniero

Liniero eléctrico 2-4 (LIEL2-4)= liniero

Liniero eléctrico 2-5 (LIEL2-5)= liniero

Liniero eléctrico 3-1 (LIEL3-1)= liniero

Liniero eléctrico 3-2 (LIEL3-2)= liniero

Liniero eléctrico 3-3 (LIEL3-3)= liniero

Liniero eléctrico 3-4 (LIEL3-4)= liniero

Liniero eléctrico 3-5 (LIEL3-5)= liniero

(TSE2-A) = liniero

(TSE3-A) = liniero

(TSSE-A) = liniero

Peón-1 (PEÓN-1) = peón

Peón-2 (PEÓN-2) = peón

Peón-3 (PEÓN-3) = peón

Guarda peón-1 (GUPE-1)= peón

Guarda peón-2 (GUPE-2)= peón

Guarda peón-3 (GUPE-3)= peón

Maquinaria

Grúa = Grúa

Unimog = Grúa

Camión Grúa= Grúa

Camión Mercedes= Grúa

Back Hoe = Back Hoe

Retroexcavadora = Retroexcavadora

Tractor de llantas = Tractor de llantas

Todoterreno=Transporte Especial

Bombardier = Transporte Especial

Siembrapostes = Siembrapostes

De modo que los recursos a los cuales se va a medir rendimiento son: liniero, auxiliar de liniero, peón, grúa, back hoe, retroexcavadora, tractor de llantas, transporte especial y siembrapostes.

Las funciones en general de los recursos en análisis son:

-Liniero: es el encargado de realizar actividades de trocha, excavación de huecos, lo que es la instalación, modificación y mantenimiento de líneas eléctricas.

-Auxiliar de Liniero: como su nombre lo indica, es el ayudante en trabajos de construcción reparando equipos, así como en la instalación y mantenimiento de líneas eléctricas.

-Peón: realiza diversos trabajos en campo, entre los que se pueden mencionar limpieza y mantenimiento del sitio de trabajo.

-Retroexcavadora: Permite realizar excavaciones laterales alrededor de obstáculos y al pie de las estructuras, así como abrir trincheras destinadas a tuberías, cables, drenajes, entre otros. Una retroexcavadora cava aprovechando la tierra hacia atrás.

-Grúa: máquina utilizada para cargar y descargar materiales, postes y desplazar a su

vez esos materiales dentro del radio de acción, pues permite elevar y distribuir cargas en el espacio suspendidas por un gancho.

-Back Hoe: equipo de excavación que consiste en una cubeta con un brazo articulado, además posee distintos accesorios que además de excavar le permiten el acarreo de materiales.

-Tractor de llantas: caracterizado por su buena capacidad de adherencia al terreno y al desarrollar fuerza de tracción, permite la preparación de tierras, halar otras máquinas, acarreo de materiales, remoción de los desechos generados por la poda de materiales.

-Transporte especial: dentro de esta categoría se encuentran las máquinas que permiten ingresar a lugares de difícil acceso, como que el terreno esté con mucho barro por ejemplo, así el transporte de materiales y en muchos casos personas se agiliza.

-Siembrapostes: dispone de un brazo hidráulico, y entre sus funciones está la excavación de anclas y postes, colocación de postes en el agujero y el izaje de transformadores protegidos en poste de concreto

E11: Separador para líneas secundarias

Aplicación digital

Es la facilidad que existe ahora con todos los avances que se han dado en el área de la Informática, ello ha permitido desarrollar programas para ahorrar tiempo en la obtención de información o el desarrollo de cálculos a que se hicieran de forma manual, por ello teniendo las herramientas para hacerlo se puede lograr un programa que satisfaga las necesidades de una empresa o persona en particular.

Como se ha dicho, se pretende en este proyecto crear una herramienta que pueda ser utilizada en los distintos frentes de trabajo, permitiendo al ingeniero residente o inspector de la obra introducir datos de lo realizado en campo por actividad, donde el programa brinde informes del porcentaje de avance al final de la bisemana de trabajo y, a su vez, muestre el costo asociado de ese trabajo realizado. Se generarán así bases de datos para efectos de control de recursos y costos de forma más certera en el futuro.

Esta herramienta digital se desarrollará en Visual Basic 6.0, el cual presenta múltiples aplicaciones de gran utilidad para las diversas funciones que el programa debe realizar y, a su

vez, brindar resultados confiables, que sirvan de base para realizar planeamientos para proyectos futuros.

Es de vital importancia investigar a fondo desde un inicio qué se quiere lograr, pues de ahí se empezará a diseñar la herramienta, en este caso se tienen que definir cuáles son los recursos que intervendrán directamente en el avance de los proyectos de líneas de distribución, para así recolectar todos los datos que permitirán que el programa dé los resultados esperados.

En sí, se espera del programa que facilite en primera instancia la introducción de los consumos de trabajo de los recursos en análisis (mano de obra, maquinaria, vehículos y equipo menor) así como los costos de materiales y viáticos que se hayan dado. Es importante además que se habilite una parte donde se puedan modificar los recursos existentes, pues en el transcurso del tiempo se van presentando cambios en lo que es salario, o incluso se dan movimientos de personal, en donde constantemente ingresan nuevos empleados, así también para los equipos y maquinaria los costos van variando.

Interface

El desarrollo de una interface va a corresponder al área donde se diseña la interfaz gráfica, es decir, donde se insertan gráficos, botones, imágenes, casillas de verificación, cuadros de listas, en fin, todo lo cual va a depender del uso que se le va a dar al programa, es decir, se debe analizar qué personas lo utilizarán y cuál información alimentará el sistema, por ello se ha de realizar un diseño acorde con esas características, siendo la interface el medio que comunicará la información del programa con el usuario de éste⁹.

En el caso de este proyecto se introducirán los datos por parte de los encargados de cada proyecto, donde en la mayoría de los casos no son personas instruidas en temas de informática, por ende, en el uso de programas. Es por esto que las pantallas deben ser de fácil comprensión para evitar confusiones, teniendo el cuidado de seleccionar los cuadros de texto, botones y demás objetos que se desea que

el usuario visualice y haga uso durante la ejecución del programa, pues si no se delimita esto se pueden eliminar datos importantes de forma accidental o hacer uso de la información de manera equivocada.

El diseño de esta herramienta en Visual Basic 6.0 se basa en 23 formularios con un formato semejante para dar uniformidad a la herramienta, logrando así familiaridad del usuario con el programa. Además constarán de una barra de menú que facilitará llegar a los diversos formularios y botones de comando que permitirán el funcionamiento del sistema.

La herramienta en Excel presenta una serie de hojas, con colores para diferenciar lo que el usuario puede o no tocar, así como para darle un aspecto más dinámico

Código

El código es la parte que permite el manejo de tanto los datos existentes como aquellos que se van introduciendo al programa, a través del diseño del entorno de datos.

De primera instancia el lenguaje de programación por utilizar es Visual Basic 6.0, para lo que es la herramienta de introducción de información de recursos, características del proyecto y trabajo realizado pues Visual es un muy conocido editor de código, que trae a su vez un depurador, el cual permite corregir los errores que se van presentando al editar el código, para que compile, lo cual significa, que el programa corra satisfactoriamente al ser aplicado¹⁰.

Visual Basic fue seleccionado, pues esta parte de introducción de información debe quedar en un programa que no le presente mucha complicación al usuario y, además, tiene la facilidad de que en caso de que a la herramienta se le quiera realizar alguna modificación de diseño, cualquier conocedor de este lenguaje lo puede realizar teniendo acceso al código, pero lo ideal es que la herramienta misma quede habilitada para cualquier cambio que se quiera dar en un futuro.

Se ha de tener en claro qué acciones se quieren lograr en el programa, pues de ahí dependerá que funciones, controles y botones se van a programar y lograr así un buen resultado,

⁹ Acuña, Visual Basic como Segundo Lenguaje

¹⁰ Ídem

con ello es posible generar de manera automática conectividad entre controles y datos mediante la acción de arrastrar y colocar sobre formularios o informes.

Al tener la base de datos en un programa de Office conocido como ACCESS 2000, como se comentará más adelante, es importante mencionar que la conexión de Visual Basic a ACCESS, se hizo a través de una herramienta de entorno de datos conocida como Data Environment, la cual permitió la creación de los formularios con la ayuda de un asistente que conectaba la información existente en la base de datos, permitiendo administrar desde Visual a partir del código los registros de tablas o consultas pertenecientes a esta base de datos.

Otro análisis que se debe llevar a cabo es el de valor ganado. Se hará en Microsoft Excel, ya que es importante en este tema lo referente a la generación de gráficos, de modo, que el futuro usuario pueda usar la información generada en la herramienta para realizar otros gráficos o tipos de análisis y Excel, al ser conocida por la mayoría de personas, tiene esta facilidad para manipular la información. De igual forma, para traer los datos desde la base, se debe generar un código y esto va a facilitar la automatización de esta herramienta.

Bases de datos

Un importante paso en el programa es el desarrollo de una buena base de datos, como la fuente principal de información, donde se encuentran los datos existentes y se almacenarán los nuevos, en este caso se hizo uso de Access, base de datos desarrollada por Microsoft, de modo que debe ser creada según el programa Access, el cual crea un archivo.mdb como extensión.

Una base de datos es un “almacén” que permite guardar grandes cantidades de información perteneciente a un mismo contexto de manera organizada para que luego pueda ser encontrada y utilizada fácil y sistemáticamente para su uso posterior¹¹.

Se busca con una base de datos que los datos tengan: independencia lógica y física, redundancia mínima, acceso concurrente por

parte de múltiples usuarios, integridad, consultas complejas optimizadas, seguridad de acceso y auditoría, respaldo y recuperación, acceso a través de lenguajes de programación estándar.

En muchos casos la información que se tiene se debe normalizar, es decir, acomodarla de forma tal que sea de mejor comprensión para los que van a tener acceso a la base, proceso conocido como normalización.

Una base de datos está compuesta por un conjunto de tablas, conformadas por el nombre de cada tabla, el nombre de cada columna (conocido como campo), el tipo de dato de cada columna (ya sea texto, numérico, booleano, alfanumérico, fechas, memos, entre otros) y las espacimientos horizontales que corresponden a los registros. A su vez en el diseño de cada tabla se deben conocer ciertos conceptos como:

Clave Única: campos cuyos valores identifican de forma única cada registro de dicha tabla.

Clave Índice: surge con la necesidad de tener un acceso más rápido a los datos.

Restricciones: proveen un método para implantar reglas en la base de datos. Las restricciones limitan los datos que pueden ser almacenados en las tablas, mejorando así aquellos que se quiere para la base de datos.

En este proyecto se usó un tipo de base de datos conocido como base de datos relacional, donde todos los datos se almacenan y se acceden a ellos por medio de relaciones. Las relaciones que almacenan datos son llamadas "relaciones base" y su implantación es llamada "tabla". Otras relaciones no almacenan datos, pero son calculadas al aplicar operaciones relacionales, permitiendo así establecer interconexiones (relaciones) entre los datos (que están guardados en tablas) y trabajar con ellos conjuntamente¹².

Han de existir las siguientes relaciones entre registros de datos:

-Relaciones de uno a uno: un registro de la tabla A se relaciona con uno y solamente uno de la tabla B.

-Relaciones de uno a muchos: cada registro de la tabla A se relaciona con varios de la tabla B.

¹¹ http://es.wikipedia.org/wiki/Base_de_datos

¹² http://es.wikipedia.org/wiki/Base_de_datos_relacional

-Relaciones de muchos a muchos: cualquier registro de la tabla A se relaciona con cualquier registro de la tabla B.

Para obtener de la base de datos la información específica, se hace uso de las consultas, las cuales tienen la cualidad de filtrar información, de modo que, ésta puede ser recuperada o almacenada mediante "consultas" que ofrecen una amplia flexibilidad y poder para administrar la información. Siendo el lenguaje SQL el más habitado para construir dichas consultas, es un estándar implantado en los principales motores o sistemas de gestión de bases de datos relacionales.

Dentro de las ventajas de utilizar bases de datos relacionales, se pueden mencionar: provee herramientas que garantizan evitar la duplicidad de registros, garantiza la integridad referencial, así, al eliminar un registro, elimina todos los registros relacionados dependientes y favorece la normalización por ser más comprensible y aplicable¹³.

Control de costos

En la administración de proyectos, específicamente los de construcción, se requiere la aplicación de conocimientos y herramientas que permitan cumplir con el objetivo del proyecto, donde dicho objetivo está compuesto de una serie de actividades interrelacionadas, las cuales a su vez con recursos, cuyo manejo eficiente es la clave para un buen control.

Cuando se inicia un proyecto lo usual es cuantificar el tiempo y los recursos que van a ser necesarios para ejecutarlo, dicho proceso forma parte de lo que se conoce como la planificación de un proyecto que permite medir qué alcance tendrá, satisfaciendo así la necesidad de un determinado cliente. La planificación no sólo debe darse en el inicio de la obra sino también durante el desarrollo de ésta, porque sólo así se podrá tener control de lo que se había programado, para mejorar la confiabilidad de los plazos y costos, disminuir la variabilidad de los procesos y balancear de una mejor manera los recursos¹⁴.

Este plan debe incluir la estructura detallada de trabajo sobre la cual se desarrollará el plan con el alcance, paquetes de trabajo, productos por entregar, unidades de organización, recursos así como los respectivos presupuestos para cada paquete de trabajo¹⁵.

Al cuantificar los recursos para poder realizar un control de costo adecuado se debe conocer el tipo y cantidad de recursos que se aplicarán para concluir un proyecto, incluyendo todos los costos necesarios para cada tarea elemental, teniendo a disposición las tarifas y costos asociados como lo son los costos directos (recursos humanos, materiales, equipamiento), costos indirectos (pagos, cobros) y otros gastos generales; pues sólo así se tendrán verdaderos indicadores del comportamiento de los costos.

En el caso de la mano de obra, es el recurso más importante, clasificado de acuerdo con las habilidades que aportan al proyecto; los materiales abarcan un espectro grande, donde se sabe que en muchas ocasiones la falta de disponibilidad es el causante de retrasos; y en el caso de la maquinaria y equipo que va a depender del tipo, tamaño y cantidad, es considerado limitante pues no siempre estará disponible para un proyecto ya que puede estar reservado para otro, o en caso de que ya no rinda por la edad del recurso.

Otro factor importante es la duración, la cual afectará de manera directa las estimaciones de costo, ya que si se ha planeado un determinado tiempo para una actividad así como sus recursos, éste es el presupuesto que se va a tener para dicha actividad y va a estar propenso a cargos de intereses y en caso de incumplimiento puede afectar tanto a los costos directos como a los indirectos.

Existen técnicas que permiten planificar, controlar y dirigir proyectos, orientadas a conseguir la integración de todo aquello que debe hacerse para que un proyecto alcance sus objetivos, siendo las tres variables más importantes por controlar: el costo, el tiempo y la calidad, ligadas a los recursos.

Para lograr un control de costos se deben definir ciertos factores como son¹⁶:

- Tipo de proyecto que se quiere analizar.

¹³ Ídem.

¹⁴ Project Management Institute, 2^{da} Edición.

¹⁵ Jack, G. Administración Exitosa de Proyectos.

¹⁶ Project Management Institute, 2^{da} Edición.

- Paquetes de trabajo que conforman el proyecto.
- Identificar del tiempo para completar un paquete de trabajo.
- Asignación de un presupuesto cronológico para completar un paquete de trabajo.
- Recursos necesarios para completar un plan de trabajo.
- Establecer sistemas o métodos para la medición del progreso.

Para el control de costos que se quiere llevar en este proyecto, se tomarán en cuenta aquellos que influyen directamente en el desarrollo de los proyectos de líneas, considerando los costos directos como aquellos que van relacionados a una actividad en específico, y de forma contraria, los costos indirectos se toman como aquellos que no son asignables a una determinada actividad, por ejemplo, los viáticos y algunos materiales que se compran por caja chica como el cemento usado en diversas actividades. A continuación se comentan los costos que se medirán aquí¹⁷:

-Mano de obra: proporciona los costos estimados para las diversas clasificaciones de personas que se espera trabajen en el proyecto. Con su tarifa por hora estimada para cada persona o clasificación, a su vez se deben incluir las cargas sociales como lo es aguinaldo, prestaciones, seguro social, INA, IMAS, riesgos profesionales, entre otros. Se debe indicar que la mano de obra puede ser de San José, que corresponde a las personas cuyo patrón es el ICE y perciben su salario con anualidades, y la mano de obra CAP, la del Centro de Apoyo de Proyectos, cuyo salario va de acuerdo con el puesto de trabajo.

-Materiales: esta parte proporciona el costo de los materiales que se van comprando por fondo de trabajo (caja chica) en el desarrollo del proyecto como cemento, cinta adhesiva, entre otros elementos. Esta categoría no se refiere a los postes ni materiales que componen los montajes, pues la compra no la realiza la oficina, sino que ya están disponibles en una bodega que posee el ICE y la Institución los pide de forma anual dependiendo del volumen de proyectos planeados en el año. Por ende, no son costos

¹⁷ Departamento de construcción de líneas del Instituto Costarricense de Electricidad.

que los ingenieros de líneas deban tomar en cuenta a la hora de realizar el planeamiento, porque no tienen control sobre ellos (figuras 12, 13, 14 y 15 del Apéndice 4).

-Maquinaria: el costo de la maquinaria utilizada en los proyectos es por hora de trabajo, puede ser maquinaria ICE o alquilada (figuras 18 y 19 del Apéndice 4).

-Equipo menor: corresponde al equipo de menor dimensión utilizado, cuyo costo es por día de trabajo (figuras 16 y 17 del Apéndice 4)

-Vehículo alquilado: el vehículo alquilado es un recurso que se utiliza para trasladar la mano de obra de un lugar a otro, especialmente los encargados de proyectos andan en estos vehículos. Su tarifa va dependiendo del número de días que trabajen en la bisemana y de la cantidad de kilómetros recorridos.

-Viáticos: el monto total de viáticos está conformado por la cantidad total de desayunos, almuerzos, cenas, dormidas, pasajes, entre otros aspectos, que se perciben durante la bisemana.

Valor ganado

Este término conocido como Valor Ganado o Earn Value es una técnica utilizada para medir el desempeño en tiempo y costo de un proyecto. Para esto se requiere disponer de un plan de medición del desempeño, el cual es conocido como valor planeado, por ello al comparar este valor con el trabajo que se alcanzó a realizar, conocido como valor ganado, se puede identificar si el proyecto se encuentra adelantado o atrasado respecto del programa, y al comparar el valor ganado contra el costo real que se incurrió para lograr el avance, se puede medir como se encuentran los costos del proyecto con respecto de lo planeado, es decir, llevar un control para no incurrir en sobrecostos y atrasos¹⁸. Este control es medido a distintas fechas de corte.

De ahí estos tres conceptos clave¹⁹:

- **Valor planificado (PV):** corresponde al costo presupuestado para completar una actividad hasta un momento determinado, es decir, un cálculo de costo aprobado de los recursos

¹⁸ Chamoun, Y. Administración Profesional de Proyectos.

¹⁹ Project Management Institute, 2^{da} Edición

programados en una línea base cronológica acumulativa.

• **Valor ganado (EV):** corresponde a la cantidad presupuestada para el trabajo realmente completado de la actividad del cronograma de la Estructura Detallada de Trabajo durante un período determinado, es decir, es el porcentaje del presupuesto original que se ha adquirido por el trabajo realmente completado.

• **Costo real (AC):** es el costo total incurrido en la realización del trabajo de la actividad, durante un período determinado, el cual debe ir en concordancia con lo que haya sido presupuestado para el PV y el EV.

En primera instancia se debe definir el nivel de la estructura detallada de trabajo del proyecto (especificando cada entregable por actividad para así lograr mejores resultados), teniendo para cada actividad una estimación del tiempo, costo y recursos, con su suma se obtendrá el costo total del proyecto, de modo que se determina el costo para cada periodo sobre la base de programación, generándose así un flujo de efectivo y obteniendo a su vez el costo acumulado presupuestado. Dicho costo representa la línea base, la cual permitirá tener indicadores de control del costo.

Para la medición del Costo Real se debe establecer un sistema para recopilar de manera periódica y oportuna información sobre los costos en que se va incurriendo durante el desarrollo del proyecto, dicho sistema con base en una Estructura Detallada de Trabajo para poder asociar el costo real a cada paquete de trabajo previamente establecido²⁰.

El valor del trabajo realizado incluye conocer el porcentaje de avance o terminación de las actividades a fin de determinar el costo con base en el avance de obra y garantizar el cumplimiento de las proyecciones²¹.

Las revisiones del rendimiento lo comparan a lo largo del tiempo, donde se evalúa el estado y progreso de la actividad del cronograma, el paquete de trabajo o la cuenta de costos. A partir de esto se pueden realizar análisis para ver si el rendimiento va como se planificó, además ver como es su

comportamiento a lo largo del tiempo, es decir, si va mejorando o no.

Las medidas de variación del costo y del cronograma son:

• **Variación del coste (CV):** corresponde al valor ganado (EV) menos el costo real (AC), es decir $CV = EV - AC$, diciendo si el trabajo terminado cuesta más o menos de lo planeado²².

• **Variación del cronograma (SV):** corresponde al valor ganado (EV) menos el valor planificado (PV), es decir $SV = EV - PV$. Esta varianza no contiene ninguna información de ruta crítica, mide más bien el progreso en costo más que en tiempo, presenta una evaluación general de los paquetes de trabajo a la fecha.

En ambos casos una varianza positiva indica una condición deseable, mientras que una negativa señala algún problema o cambio.

Además existen indicadores de eficiencia con respecto del tiempo y costo, como lo son:

• **Índice de rendimiento del coste (CPI):** Un valor del CPI inferior a 1.0 indica un sobrecoste con respecto de las estimaciones. Un valor del CPI superior a 1.0 indica un coste inferior en relación con las estimaciones. El CPI es igual a la razón entre el EV y el AC. El CPI es el indicador de eficiencia de costes más comúnmente usado. Fórmula: $CPI = EV/AC$

• **Índice de rendimiento del cronograma (SPI):** El SPI se utiliza, además del estado del cronograma para predecir la fecha de conclusión, y a veces en combinación con el CPI para predecir las estimaciones de conclusión del proyecto. El SPI es igual a la razón entre el EV y el PV. Fórmula: $SPI = EV/PV$.

Todo esto permitirá conocer cuál es el nivel de variación con respecto de lo programado y ver cuáles medidas se pueden aplicar para corregirlo. De manera que el propósito de controlar el costo es tomar oportunamente las medidas correctivas requeridas a través de un control periódico y oportuno, así generar los respectivos informes de rendimiento.

Línea de Balance

Línea de balance es un método que nació para mostrar el trabajo repetitivo que se da en ciertos proyectos. Aunque fue desarrollado para la

²⁰ Gido, J. Administración Exitosa de Proyectos.

²¹ Ídem.

²² Project Management Institute, 2da Edición

industria manufacturera, su uso fue creciendo también en la industria de la construcción.

En la construcción de una urbanización, cada casa está conformada con las mismas actividades: fundaciones, mampostería, construcción de techos, paredes internas, en fin lo mismo para cada una. Por ello este método permite ver cómo se da el avance de las actividades en cada unidad (casa) en determinado lapso, para evitar que una actividad interfiera con otra, y en caso de darse poder tomar medidas al respecto, mejorando así el flujo de avance del proyecto. Por ende, el fin de esta técnica es balancear todas las actividades, de tal forma que se eliminen las interferencias entre éstas, lo cual se evitaría con una buena programación²³.

Para evitar choques o interferencias entre actividades se debe vigilar la velocidad de avance de cada actividad²⁴, la cual va a depender de los recursos asignados a cada una de ellas y las condiciones de trabajo, tratando de que cada actividad se dé a un ritmo común y teniendo el cuidado de que si se ve que alguna actividad se va a retrasar, ajustar las que siguen de tal forma que no haya interferencias, optimizando de primera instancia los costos que se puedan controlar, es decir, los costos directos, para luego seguir con todos los costos asociados al proyecto.

Es importante aclarar que línea de balance no muestra la relación exacta entre actividades individuales como lo hace un diagrama de barras por ejemplo, más bien muestra la velocidad en la cual se van desarrollando las actividades.

La interferencia entre actividades se da entre otras causas, a que algunas actividades han tenido un bajo rendimiento y han sido poco eficientes por circunstancias que no se han previsto, como que se haya dado traslado de algún recurso de su área de trabajo, o se estén dando de forma continua cambios en las instrucciones de trabajo, lo cual provocaría que la actividad no se termine en el tiempo debido y la productividad disminuya, incurriendo a su vez en mayores costos.

Estas situaciones se pueden evitar, si los recursos o situaciones que están provocando la afectación o perturbación del proceso son detectados a tiempo. Por ello con el gráfico de línea de balance es posible demostrar que en determinado momento se está presentando equis problema.

En la siguiente figura, se observa cómo funciona teóricamente una línea de balance, donde se tomó como ejemplo si fuera para una línea de distribución, ubicando en el eje "y" las unidades (postes), en el eje "x" el tiempo (bisemanas) y las líneas representan cada actividad (como ejemplo se consignaron cinco actividades).

²³ Sherpell, A. Planificación y Control de Proyectos.

²⁴ Ídem.

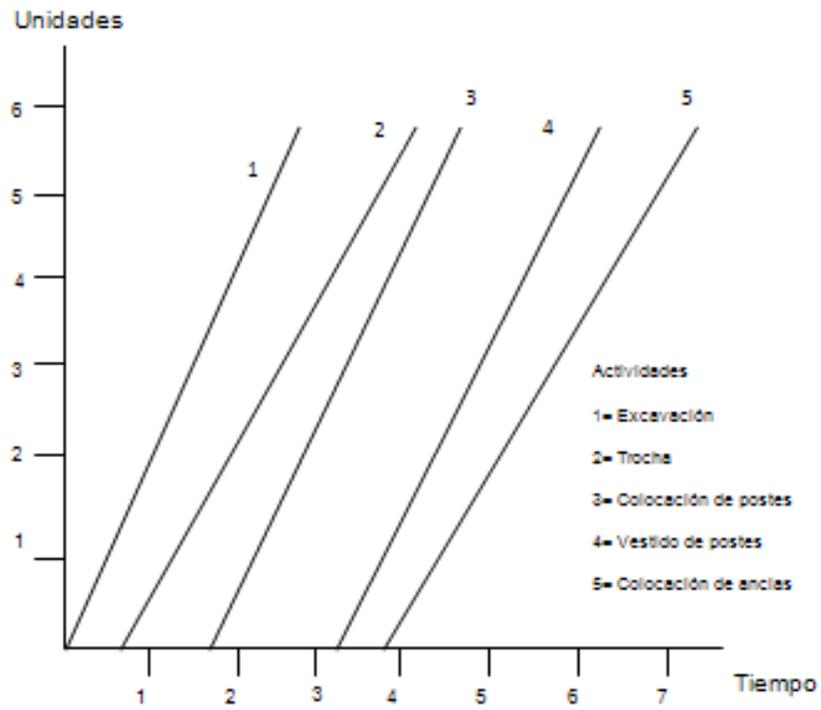


Figura 2. Ejemplo de cómo debería ser la línea de balance aplicado a una línea de distribución. Fuente: Sherpell, Alfredo.

Metodología

Para lograr el objetivo del presente trabajo se hizo necesario seguir una metodología que permitiera lograr el resultado esperado. De manera general se muestran los pasos a continuación:

1. Reunión con interesados para definir la orientación de la aplicación.
2. Investigación de la forma de desarrollar la aplicación y, a su vez, definir el alcance de ésta en el tiempo definido para la práctica profesional.
3. Análisis de la metodología de rendimientos existente, sobre la cual se guía este proyecto.
4. Estudio del proceso constructivo de líneas de distribución, en la búsqueda de los recursos y las actividades que intervienen en su desarrollo, las cuales surgen de dividir el alcance del proyecto en paquetes de trabajo.
5. Establecimiento de las variables que se relacionan tanto directa como indirectamente al tema de rendimientos en líneas de distribución.
6. Investigación de los conceptos de valor ganado y de línea de balance para ver la aplicación en la herramienta.
7. Se procedió a entrevistar a los usuarios y definir los requisitos que éstos creen necesarios que tenga la herramienta.
8. Dado que la herramienta de introducción de datos y la aplicación de valor ganado no será usada por los mismos usuarios, no es necesario que estén en una misma herramienta, es decir, el administrativo en cada proyecto será el encargado de alimentar la aplicación en Visual y el ingeniero revisará los datos de avance del proyecto, pero se debe tener el cuidado de que la información reflejada en cada una sea segura y real, al tener ambas una relación directa con la base de datos.
9. Investigación de formas de almacenar datos, para definir el programa por usar para desarrollar la base de datos.
10. Recolección de información necesaria, consultando a los administrativos de los proyectos, administrativos de la oficina e ingenieros de líneas del ICE.
11. Creación de la base de datos organizándolos de forma tal que la información esté en orden y accesible para el desarrollo de la herramienta.
12. Investigación de distintos programas de programación, analizando cuál presenta las opciones para desarrollar la aplicación de introducción de datos y se adecue al interés de la empresa, basado en un lenguaje de programación conocido por otras personas por cualquier consulta que se vaya presentando en el desarrollo.
13. Diseño de las pantallas que conformarán el programa de introducción de datos de forma tal que sean de fácil entendimiento para el futuro usuario, con la respectiva aprobación de los interesados.
14. Diseño del código que hará funcionar de manera automática los formularios de la aplicación, analizando cómo utilizar los datos existentes para obtener los resultados requeridos de rendimientos y costos.
15. Revisión por parte de los interesados, del funcionamiento y resultados que se pueden obtener con la aplicación computacional desarrollada en Visual Basic 6.0., la cual se nombró Gestión ATC, que significa Gestión del Alcance, Tiempo y Costo.
16. Teniendo la aplicación para introducir la información y obtención de rendimientos y costos, es necesario realizar el análisis de valor ganado, donde como todos los datos se derivan de la base de datos

- se puede determinar el estado del progreso en la estructura de desglose de trabajo, lo cual fue realizado en la herramienta de Microsoft Excel, diseñado de manera tal que la información que se ha introducido a través de la aplicación Gestión ATC se vea reflejada en esta herramienta, es decir, se acopien los costos reales del trabajo realizado de forma automática y, dada su característica para realizar gráficos, sea fácil manipularlos de la forma que mejor le parezca al ingeniero.
17. Los factores por tomar en cuenta para este análisis de valor ganado son la unidad de tiempo en que se medirá el avance estableciendo puntos de revisión frecuentes a lo largo de la duración del paquete de trabajo, actividades por considerar en el análisis, forma de programar el avance en los proyectos de construcción de líneas que servirá de medida de comparación con respecto del avance real, y gráficos necesarios.
 18. Esta herramienta en Excel permite recopilar el porcentaje de terminación de las actividades a través de unidades terminadas (montajes o metros) y al multiplicar dicho porcentaje por la cantidad presupuestada para la fecha de corte en análisis es posible obtener el dato de valor ganado o valor adquirido, para supervisar el progreso del proyecto.
 19. Como se quiere implantar esta metodología de valor ganado, existe para cada proyecto un valor total de trabajo planeado por actividad, pero no se dispone de un dato de valor planeado a determinadas fechas de corte, por lo que este valor será calculado de forma lineal según la cantidad de bisemanas, es decir, avanzando lo mismo por bisemana, y los valores acumulativos de estos presupuestos se volverán la línea base, esto hasta que exista otra forma más precisa de contar con un plan de avance.
 20. Por eso con los datos de valor planeado, costos reales incurridos, y el valor ganado o valor del trabajo realizado, se midió la variación entre ellos, calculando la varianza del programa, representado con SV y la variación del costo, representado por CV. Así como el uso de los índices de desempeño CPI y SPI.
 21. Implantación de la herramienta, con datos de consumo de recursos de dos meses de trabajo en el proyecto Corredor Tecnológico, en donde la información es recopilada de cada tarea del personal en el campo, a través de boletas de trabajo, dos de ellas en el anexo 3 para ilustrar, para el vehículo alquilado la de Movimiento Diario del Vehículo y para la mano de obra el Reporte Individual de Trabajo Diario. Con respecto de la información de montajes y metros de avance, estos datos fueron supuestos ya que no se tenían a disposición. Dicha información es digitada en la aplicación para generar resultados tanto de rendimientos y costos, como de valor ganado en la herramienta de Excel.

Resultados

Aplicación Gestión ATC

Como es una herramienta computacional lo que se presenta es un archivo ejecutable en un disco que permitirá ver realmente el funcionamiento de esta aplicación.

Mapa de sitio de la aplicación

Este documento conocido como mapa de sitio, orienta al usuario sobre qué hacer con cada formulario de la herramienta, por esto es importante leerlo antes de usarla. Se presenta en el apéndice 1.

Herramienta para valor ganado

La herramienta para valor ganado, desarrollada en Excel se nombró valor ganado, que también aparece en el disco junto con el paquete. En ella se encuentran las instrucciones por seguir para su uso, en la hoja llamada Instrucciones.

Resultados de pruebas

Herramienta Gestión ATC

Los resultados se obtuvieron de datos que se introdujeron a modo de prueba para ver el funcionamiento del programa, los cuales corresponden a dos meses de trabajo de la línea

Corredor Tecnológico, con datos de mano de obra CAP, maquinaria alquilada, maquinaria ICE y vehículo alquilado, viáticos y materiales. En la parte de trabajo realizado se ingresaron datos hipotéticos, como se ha explicado, esto representa el inicio de una forma de reportar el trabajo, de modo que esos datos no se tienen. En esos dos meses se encontraban realizando la actividad de trocha y tendido.

A continuación se muestra el reporte que se puede obtener para cada actividad sobre su rendimiento.

Para la actividad de trocha, el informe en Excel muestra lo siguiente:

actividad = 5 Trocha

Trabajo realizado= 351 metros

Costos directos= €6.664.136,50

Costo unitario= €18.986,14

Cuadro 1. Rendimiento de la actividad de Trocha		
Recurso	Horas Totales	Rendimiento
Liniero	2.209,00	6,29
Peón	1.365,50	3,89
AuxiliarLiniero	950,50	3,03
Grúa	0,00	0,00
Siembrapostes	0,00	0,00
Tractor de llantas	0,00	0,00
Bach Hoe	0,00	0,00
Retroexcavadora	0,00	0,00
TransporteEspecial	0,00	0,00

Para la actividad de tensado, el informe de Excel muestra lo siguiente:

actividad = 11 Tendido de conductores

Trabajo realizado= 501 montajes

Costos directos= €8.222.317,75

Costo unitario= €16.411,81

Cuadro 2. Rendimiento de la actividad de Tendido		
Recurso	Horas Totales	Rendimiento
Liniero	3.524,50	7,07
Peón	234,00	0,47
AuxiliarLiniero	453,50	0,90
Grúa	73,00	0,15
Siembrapostes	0,00	0,00
Tractor de llantas	0,00	0,00
Bach Hoe	55,35	0,11
Retroexcavadora	0,00	0,00
TransporteEspecial	0,00	0,00

En ambos casos se muestra cada recurso y de acuerdo con la actividad las horas totales de trabajo así como el trabajo realizado, esto permite obtener los datos en la columna de rendimiento, indicando el de cada recurso en la actividad. Los costos directos constituyen los costos del consumo de la totalidad de esos recursos en estudio para esa actividad, incluyendo el costo del vehículo alquilado.

Con los datos de horas totales se pueden obtener el número de recursos necesarios para una actividad, teniendo la duración del proyecto, o se puede determinar el número de días que durará la actividad con una cantidad de recursos determinada. Como ejemplo de esto, se presentan los siguientes resultados basados en la actividad de tendido:

Calculo del número de recursos

Horas liniero = 3.524,50

1 día= 10 horas/diarias

Duración planeada= 30 días = 300 horas

Resultado → # Linieros= 12 linieros

Cálculo de la duración

Horas liniero = 3.524,50

1 día = 10 horas/diarias

Linieros disponibles=5

Resultado → Duración = 704,9 horas = 70 días

Además se pueden obtener reportes de los costos en que se ha incurrido para cada recurso de acuerdo con la actividad y a la bisemana en se consumió, a su vez, muestra el trabajo realizado para cada actividad indicando en la columna "Avance" el avance que tuvo la actividad en determinada bisemana, se puede observar en el apéndice 2, que muestra el informe obtenido de la prueba hecha para los dos meses de trabajo en la línea Corredor Tecnológico.

El apéndice 3 muestra un cuadro con todas las actividades, y para cada una de ellas, el trabajo realizado que se ha reportado, las horas totales de trabajo por cada recurso junto con el costo directo, así mismo se observa el rendimiento obtenido para cada recurso, señalado con una R al inicio del nombre de cada recurso.

Herramienta para valor ganado

Se debe rescatar que al no disponer de toda la información de un proyecto para hacer esos análisis según la metodología propuesta, estos resultados no indican cómo marcha el proyecto en cuestión, con motivos de simulación se ingresaron datos para las actividades de trocha y tendido, las cuales corresponden a las tareas sobre las cuales la cuadrilla de líneas ha laborado en los meses de marzo y abril del 2010, en la línea Corredor Tecnológico en Palmar Norte.

Por ello en esta parte se comprobó que los datos fueran ingresando en la aplicación de rendimientos y costos generados de forma adecuada y automática en cada bisemana en esta herramienta en Excel, para que así se pueda disponer de la información. Entonces al darle "clic" a la herramienta de Excel en el botón "Actualizar datos", éstos verdaderamente se actualizaban con la información que se había corroborado en la base de datos.

Los gráficos obtenidos con los datos de prueba se pueden ver en las próximas páginas de esta sección de resultados, junto con las tablas respectivas para el control de avance y costo, todos a la fecha de corte del 3 de mayo del 2010, lo cual permitirá realizar un análisis de avance para esos resultados obtenidos como se hará más adelante en la sección de Análisis de Resultados.

Cuadro 3. Resumen de control de avance			
# Bissemana	Fecha de corte	% Avance	% Avance Planeado
6	8-mar-10	0,00%	0,00%
7	22-mar-10	6,04%	5,00%
8	5-abr-10	9,87%	10,00%
9	19-abr-10	14,30%	15,00%
10	3-may-10	19,31%	20,00%
11	17-may-10		25,00%
12	31-may-10		30,00%
13	14-jun-10		35,00%
14	28-jun-10		40,00%
15	12-jul-10		45,00%
16	26-jul-10		50,00%
17	9-ago-10		55,00%
18	23-ago-10		60,00%
19	9-sep-10		65,00%
20	20-sep-10		70,00%
21	4-oct-10		75,00%
22	18-oct-10		80,00%
23	1-nov-10		85,00%
24	15-nov-10		90,00%
25	29-nov-10		95,00%
26	13-dic-10		100,00%

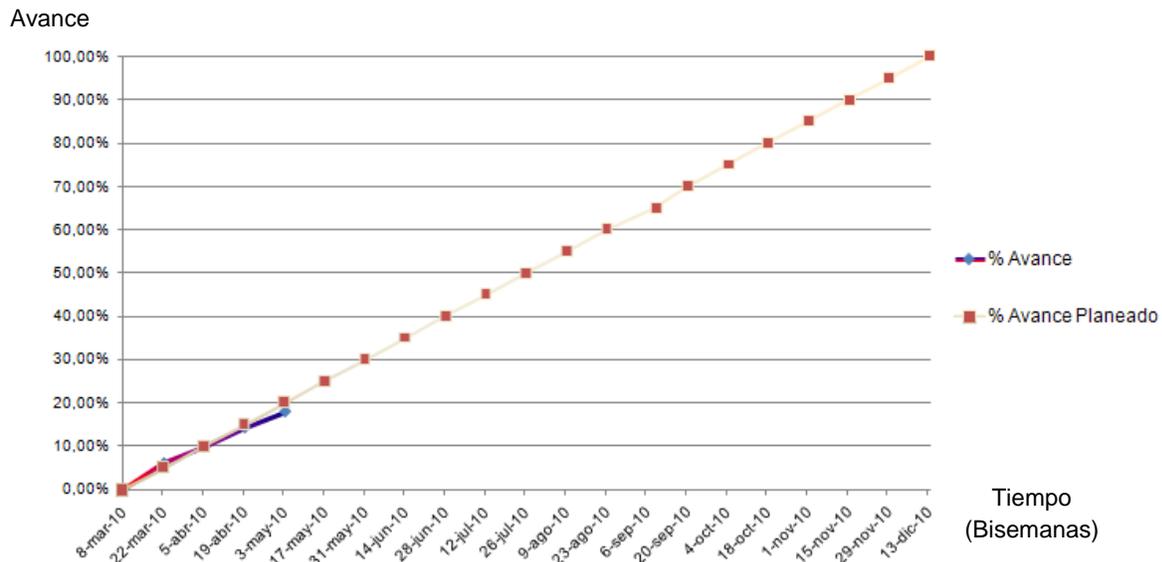


Figura1. Gráfica de porcentaje de avance. Fuente: Herramienta valor ganado.

Cuadro 4. Resumen de control de costo (Valor Ganado).					
# Bisemana	Fecha de corte	Costo en bisemana (¢)	AC (¢)	VG (¢)	VP (¢)
6	8-mar-10	0	0	0	0
7	22-mar-10	15.365.668,74	15.365.668,64	18.126.157,34	15.000.000,00
8	5-abr-10	11.161.842,69	26.527.510,43	29.603.966,31	30.000.000,00
9	19-abr-10	26.252.766,23	52.780.276,66	42.909.623,08	45.000.000,00
10	3-may-10	28.992.574,41	81.772.850,07	57.926.647,15	60.000.000,00
11	17-may-10	0			75.000.000,00
12	31-may-10	0			90.000.000,00
13	14-jun-10	0			105.000.000,00
14	28-jun-10	0			120.000.000,00
15	12-jul-10	0			135.000.000,00
16	26-jul-10	0			150.000.000,00
17	9-ago-10	0			165.000.000,00
18	23-ago-10	0			180.000.000,00
19	9-sep-10	0			195.000.000,00
20	20-sep-10	0			210.000.000,00
21	4-oct-10	0			225.000.000,00
22	18-oct-10	0			240.000.000,00
23	1-nov-10	0			255.000.000,00
24	15-nov-10	0			270.000.000,00
25	29-nov-10	0			285.000.000,00
26	13-dic-10	0			300.000.000,00

Cuadro 5. Medida de variación e índices de desempeño de acuerdo con las bisemanas							
# Bisemana	Valor Ganado			Medida de Variación		Índices de desempeño	
	AC(¢)	VG(¢)	VP(¢)	CV	SV	CPI	SPI
6	-	0	0	0	0	0	0
7	15.365.668,64	18.126.157,34	15.000.000,00	2.760.490,60	3.126.157,34	1,18	1,21
8	26.527.510,43	29.603.966,31	30.000.000,00	3.076.456,49	-396.033,69	1,12	0,99
9	52.780.276,66	42.909.623,08	45.000.000,00	-9.870.653,97	-2.090.376,90	0,81	0,95
10	81.772.850,07	57.926.647,15	60.000.000,00	-23.846.203,47	-2.073.352,85	0,71	0,97
11			75.000.000,00				

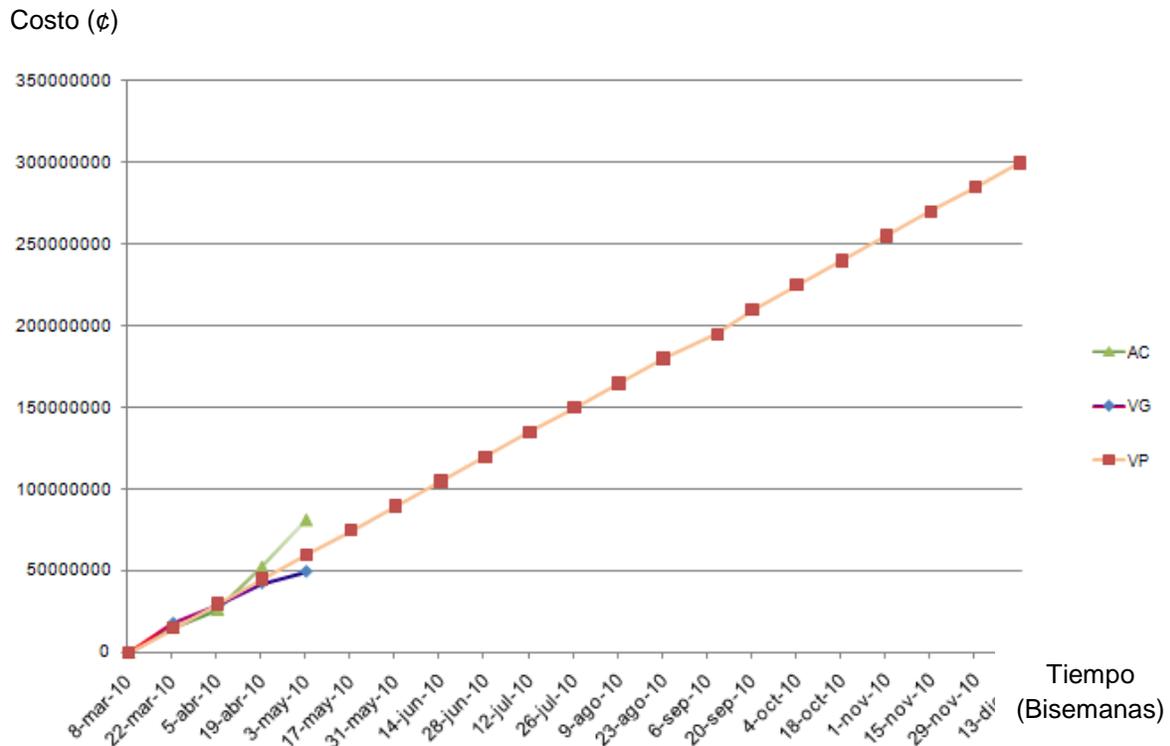


Figura 2. Gráfica de costo y programa “Valor Ganado”. Fuente: Herramienta valor ganado.

Cuadro 6. Resumen costo real según avance			
Bisemana	Fecha de corte	Avance	Costo según avance(€)
6	8-mar-10	0,00%	0
7	22-mar-10	6,04%	15.365.668,64
8	5-abr-10	9,87%	26.527.510,43
9	19-abr-10	14,30%	52.780.276,66
10	3-may-10	19,31%	81.772.850,07
11	17-may-10		
12	31-may-10		
13	14-jun-10		
14	28-jun-10		
15	12-jul-10		
16	26-jul-10		
17	9-ago-10		
18	23-ago-10		
19	9-sep-10		
20	20-sep-10		

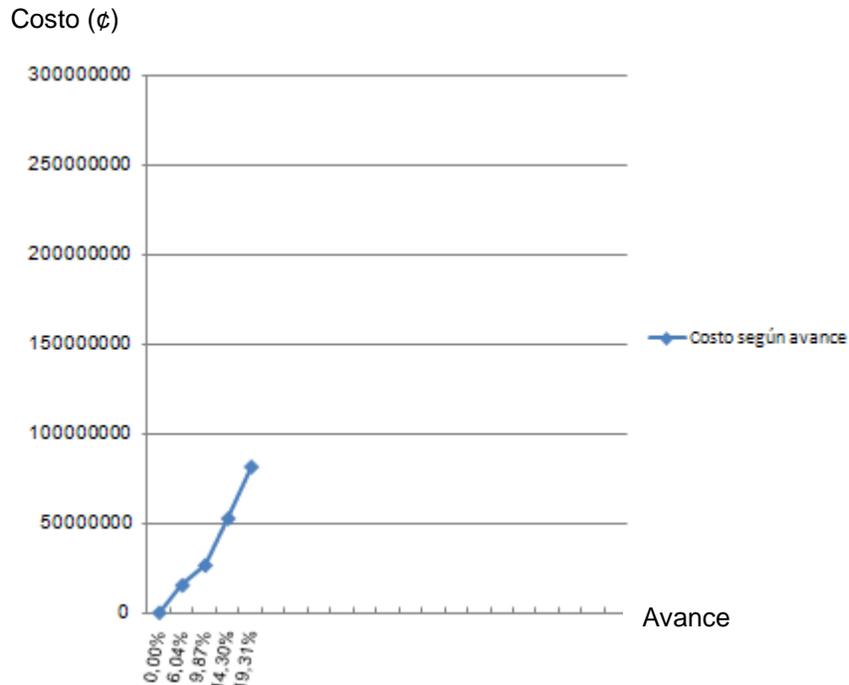


Figura 3. Gráfica del costo según el avance. Fuente: Herramienta valor ganado.

# Bisemana	Fecha de corte	Trocha	Tendido
6	8-mar-10	0,00%	0,00%
7	22-mar-10	2,53%	3,51%
8	5-abr-10	4,52%	5,35%
9	19-abr-10	5,25%	9,06%
10	3-may-10	7,34%	11,97%

# Bisemana	Fecha de corte	Trocha	Tendido
6	8-mar-10	0%	0%
7	22-mar-10	17%	24%
8	5-abr-10	30%	37%
9	19-abr-10	35%	63%
10	3-may-10	48%	83%

Avance

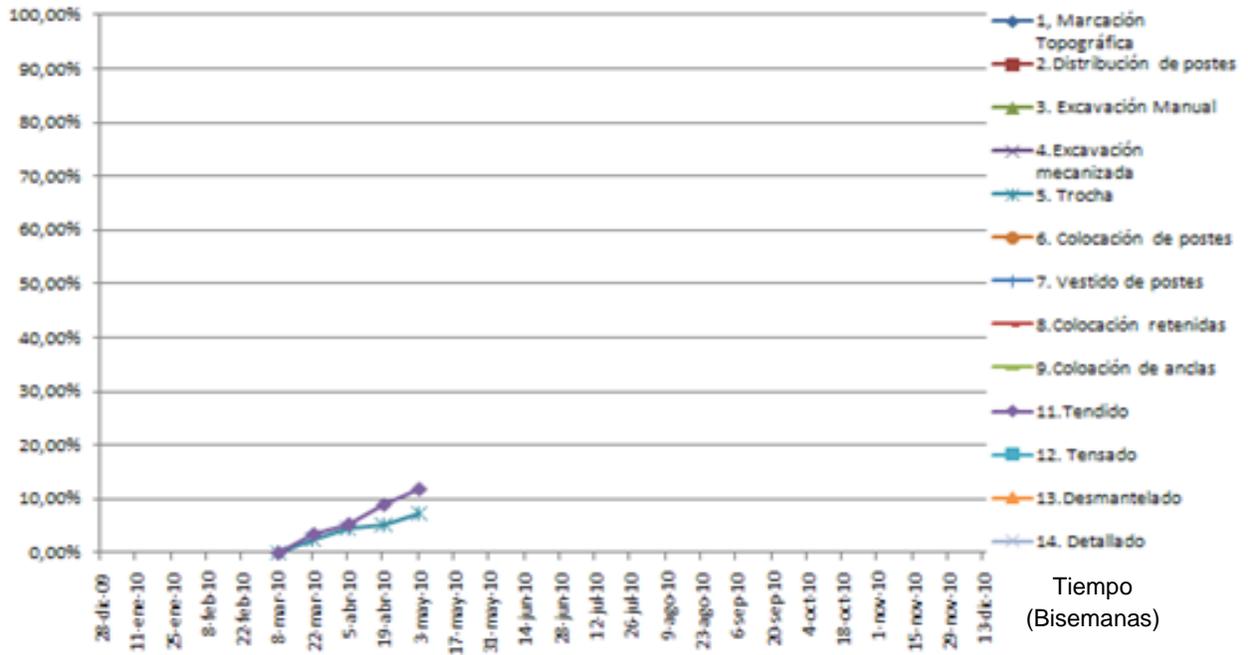


Figura 4. Avance de cada actividad según su peso en el proyecto. Fuente: Herramienta valor ganado.

Avance

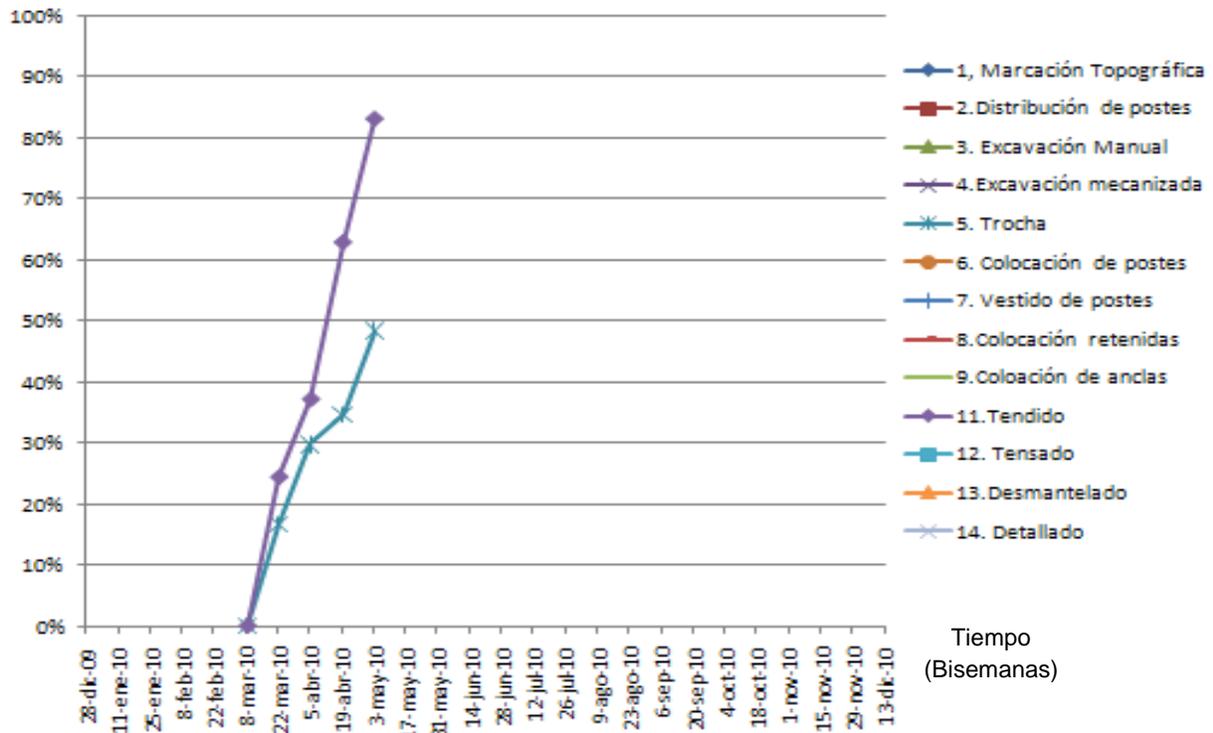


Figura 5. Avance de cada actividad individual. Fuente: Herramienta valor ganado

Análisis de los resultados

Aplicación digital

Como se sabe el objetivo de este trabajo ha sido el desarrollo de una aplicación que permita tener un control de los costos que están directamente relacionados con la construcción de líneas de distribución que realiza el departamento del Centro de Construcción de líneas del ICE, por ello el primer paso para la implantación de la cultura de valor ganado ya se ha dado con el presente proyecto.

La herramienta para generar la información fue desarrollada en Visual Basic 6.0 con el ideal de lograr una aplicación eficiente y de fácil uso para el futuro usuario, pensando en que en la mayoría de los casos será de uso diario, además por la cantidad de recursos que se manejan, es importante que todo esté a la vista y de forma ordenada para evitar confusiones.

Al estar en un ambiente de multiproyectos, este sistema permite manejar de manera eficiente que recursos se han utilizado en cada actividad, dando seguimiento por ejemplo a la mano de obra, con sus tasas de remuneración y horas trabajadas, con la facilidad de seleccionar qué base de datos se requiere para ir generando la información necesaria que servirá para el análisis del avance de un determinado proyecto.

Cada proyecto es un mundo diferente, por eso se dio el manejo de mucha información relacionada con recursos, actividades y costos que fue necesario ordenar de forma tal permitiera cumplir el objetivo de la aplicación. Además es importante agregar que esta aplicación fue diseñada para el caso de que se deba modificar la información de algún recurso, o agregar nuevos elementos, respondiendo rápidamente a cambios en el personal, maquinaria y equipo.

Conforme se fue desarrollando la herramienta, se contó con el visto bueno de los

posibles usuarios, y se fueron dando las respectivas correcciones en casos de alguna disconformidad, ya que el éxito de la herramienta va de la mano con el grado de satisfacción del interesado.

Todo esto permite generar la información que hasta el momento los ingenieros encargados de la construcción de líneas de distribución no disponían, como costos por recursos y por actividad, avance del trabajo realizado según la actividad y rendimientos de los recursos, lo cual se puede obtener de la aplicación en Visual Basic.

Con respecto de los resultados que se obtienen, se concluyó que son confiables después de múltiples ensayos a prueba y error, donde se llegó un momento en que después de hacer los arreglos correspondientes, ya los errores habían desaparecido.

La forma de ingresar datos es la correcta. La información de mano de obra, como se pudo observar, es de dos tipos y, dependiendo de esto, así va a ser la manera de introducir datos. En el caso de la mano de obra San José, como el salario depende de la fecha en que ingresaron a trabajar, se debe introducir la cédula de la persona. Para la mano de obra del CAP, el salario va a depender del puesto de trabajo, por lo que la mejor forma es introducir las siglas del puesto, indicando la cédula de la persona que tiene ese puesto, porque es importante saber quién fue el que hizo tal actividad, otra particularidad se da porque la mano de obra del CAP es muy cambiante, recursos entran y salen, no se mantienen tanto tiempo como los de San José. Para la maquinaria, equipo y vehículo se digita la placa del recurso y en este último, la cantidad de días en que trabajó en la bisemana es muy importante, pues si labora menos de diez días el costo va a ser distinto de que si fueran diez.

En el presente, la información de costos existente en estos proyectos de líneas se va

reportando a una cuenta determinada, dicha información es obtenida en el campo, donde en muchos casos si la cuenta de un proyecto no está abierta o habilitada, los costos se reportan a la cuenta de otro proyecto que sí la tenga abierta, de tal manera que la información que se tendría puede ser la de muchos proyectos, o también, por ejemplo el costo de la maquinaria ICE se mantiene en una cuenta distinta de la de los otros recursos aún siendo del mismo proyecto. Esto no depende de los encargados de los proyectos, sino de cómo se habiliten las cuentas en el centro de construcción, lo cual es una de las razones para no se disponer de información para evaluar el desempeño de un proyecto en específico. Con esta aplicación se tiene la seguridad de que la información que se ha venido guardando en el proyecto seleccionando la base de datos correcta, presenta única y exclusivamente datos de ese proyecto, a su vez la información en cada uno se encuentra subdividida en cuentas que corresponden a la cuenta de cada actividad (Anexo 2).

Rendimientos

Para medir el rendimiento se hizo necesario normalizar la tabla de mano de obra y maquinaria, ya que al existir tantos puestos y tipos de maquinaria, se categorizó en tipos que cumplieran básicamente la misma función, en las siguientes categorías: liniero, auxiliar de liniero, peón, grúa, back hoe, retroexcavadora, tractor de llantas, transporte especial y siembrapostes. Estos recursos constituyen los que hacen posible que las obras de líneas de distribución se conviertan en algo concreto y, a su vez, en las variables que afectan la productividad. El consumo de vehículos y equipo menor al ser reportado de forma diaria y no por horas, no permite que se pueda medir el rendimiento de la forma que se hizo con la mano de obra y la maquinaria, de ahí que los resultados de éstos serán de costos.

Como se pudo observar en el marco teórico en la parte de Rendimientos, los vehículos alquilados no se les calcula el rendimiento, esto debido a que las horas de trabajo de la maquinaria y la mano de obra se reportan como totales en el día como si las 10 horas de la

jornada diaria pasaran trabajando (no indican el tiempo realmente efectivo de trabajo para una determinada actividad), sin detallar el costo del tiempo en que se encuentran movilizándose, por ello el costo de esa movilización va a venir del costo del trabajo de los vehículos, donde el plantel en la mayoría de los casos se encuentra en un punto que no queda cercano para algunos sectores de la línea, teniendo que movilizar al personal de trabajo.

Como se ha mencionado de forma constante, al basarse el presente trabajo en una metodología ya existente donde la cantidad de montajes terminados por actividad establece el nivel de avance del proyecto, se volvió a retomar en todas las actividades si esta forma de medir era la indicada y se redefinió para las actividades de trocha y tensado que la mejor forma de indicar su avance es por metros, pues en éstas no se realizan montajes sino que van a depender de la cantidad de metros que se corten en vegetación o se tensen, en las actividades respectivas. La actividad de tendido podría confundirse y pensar que sería mejor medirla en metros, pero aquí en el momento en que está tendiendo el personal el cable en cada poste, están colocando a su vez montajes pertenecientes a esta actividad, en caso contrario, en el proceso de tensado los montajes hasta ese punto ya han sido colocados y la atención se centra en la cantidad de cable que se necesita trabajar.

No obstante, la medición del trabajo de la actividad de trocha se pensó que debía formarse de acuerdo con el volumen existente de vegetación, pues en un sector los arbustos podrían ser muy abundantes y en otro ser poca cantidad, por eso teniendo dos tramos y si en cada uno hubiera la misma cantidad de metros que cortar, el tiempo en que se encuentren en trocha va a ser mayor en el tramo de vegetación abundante. Esta forma de medir sería la ideal, pero para lo que es el reporte de información es muy complicado indicar qué tan densa es la vegetación, de modo que se va a medir por metro de trocha, para así tener los datos y medir el avance.

Los resultados de la aplicación muestran las horas totales de cada recurso junto con el costo total del consumo de esos recursos, esto dependiendo de la actividad, y el trabajo total realizado para ella, lo cual se utilizó para el cálculo del rendimiento de los recursos. Los rendimientos mostrados corresponden a la

cantidad de horas que requiere el recurso para terminar un entregable, es decir montajes o metros, por eso se puede decir que un liniero tarda 1.8 horas por montaje en la actividad de excavación, esto representa equis cantidad de huecos excavados en el día, o en la actividad de colocación de postes, equis cantidad de postes colocados, esas cantidades de huecos o postes ya no es rendimiento sino producción diaria, lo cual no es objetivo de este proyecto, pero con la información de rendimientos y si en campo apuntaran de forma diaria cuántos postes se colocan en la actividad de colocación de postes o cuántos huecos se hacen en la actividad de excavación, se puede llegar a decir que con determinado rendimiento se produjo equis cantidad de forma diaria, es decir, relacionar ambos conceptos, este valor se obtiene por ejemplo sumando la cantidad de huecos hecha en cada día de la bisemana, y dividiéndola entre el número de días en que se estuvo excavando. Con estos dos valores de rendimiento y productividad, se pueden llegar a planeamientos por mucho más certeros, lo cual sería bueno pensar en implementarlo para un futuro.

Tomando los resultados obtenidos con la aplicación, valores de costos basados en reportes de dos meses de trabajo de la línea Corredor Tecnológico y la cantidad de montajes y metros corresponden a datos supuestos que se ingresaron para probar que efectivamente se da el cálculo adecuado, se va a explicar la utilidad. Se persigue con resultados como estos, es que, por ejemplo, en la actividad de trocha se observa que las horas máximas son las del liniero en el cuadro 1, con 2209 horas totales y que para un trabajo realizado de 511 metros, tiene un rendimiento de 6,29, esto señala que para realizar un metro de trocha se requieren 6,29 horas liniero. Para motivos de planeamiento, se usarán las horas del recurso que presente más horas para completar la actividad, aunque el auxiliar del liniero requiera tan sólo 3,03 horas, y el peón 3,89 horas. Ejemplificando esto a manera de analogía, sería semejante a lo que se hace cuando se diseña una estructura, para que ésta resista se debe optar por la combinación de carga que soporte todas las cargas que se le impondrán, de ese mismo modo con el rendimiento, si la combinación de recursos queda: $6,29 \text{ Hliniero} + 3,89 \text{ Hpeon} + 3,03 \text{ HAuxiliar de liniero} = 1 \text{ metro}$, se debe planear para 6,43 horas, pues eso da la seguridad de que

no le va a hacer falta tiempo a ningún recurso para terminar con su trabajo, donde las 2,4 horas restantes del liniero y las 3,3 del auxiliar, es un tiempo en el cual ellos ayudarán al liniero a terminar con la labor. Para el tendido (cuadro 2) la combinación de recursos es $7,1 \text{ Hliniero} + 0,47 \text{ Hpeón} + 0,9 \text{ HAuxiliar de liniero} + 0,15 \text{ Hgrúa} + 0,11 \text{ Hbackhoe} = 1 \text{ montaje}$, donde de igual forma se hace el mismo análisis que con trocha. Es conveniente recalcar que estos datos no son reales, tienen fines de ejemplificar, observando en la actividad de tendido la gran cantidad de horas liniero para realizar un montaje.

Otra forma de ver el provecho obtenido con esta información, es que si se conoce que el liniero requiere de 3524,5 horas totales para la actividad de tendido, y sabiendo que la jornada de trabajo es de 10 horas por día, y si se tiene una duración planeada para esa actividad de 30 días, con tales datos se puede determinar la cantidad necesaria de linieros, que para este caso serían 12 linieros. De forma inversa, teniendo dispuesta tal cantidad de linieros disponible, por ejemplo, cinco linieros y conociendo que duran 3524,5 horas totales para finalizar la actividad, en una jornada de 10 horas diarias, se consigue la cantidad de días requeridos para concluir dicha actividad de vestido: 70 días, por cuanto al tener menos linieros serán más días, en este caso más del doble que para cuando se tienen 12 linieros. Por ello disponer de información de esta índole en un proyecto con características particulares, puede ser utilizada para asignar recursos y hacer comparaciones, basado en prácticas pasadas y conociendo las condiciones en que se realizó el proyecto en que se está basando para realizar el planeamiento.

Según las funciones de cada recurso para la actividad de trocha las labores son mayormente realizadas por auxiliares y peones que por linieros, no así en tendido (figuras 9, 10 y 11 del Apéndice 4) donde los linieros efectúan esa actividad, no obstante, se observa en los resultados que en ambos casos hay una cantidad superior de horas de trabajo del liniero, en comparación con esos dos recursos, esto porque muchos de los trabajadores con grado de auxiliar o peón fueron ascendidos a liniero, así hay en esa cuadrilla un porcentaje mayoritario de trabajadores linieros.

Por cuanto conocer el rendimiento para las actividades en específico para cada proyecto,

permite mejorar para próximas experiencias ciertas situaciones que tal vez lo afectan y no permiten que los recursos den un buen desempeño.

En general el rendimiento de la mano de obra en las obras de líneas va a depender de muchas situaciones, como lo es nivel de fatiga y cansancio al final de la jornada de trabajo; la temperatura y humedad del lugar donde se desarrolla el proyecto, como por ejemplo, el calor que baja grandemente el desempeño provocando deshidratación, esto lleva a los encargados a preocuparse por la compra de bebidas hidratantes; o en caso contrario, en condición de lluvia, tienen que parar labores o trabajar con mayor cuidado debido al peligro de una descarga eléctrica en el caso de que estén trabajando en contacto con el conductor; en otros casos al estar subidos en el poste va a depender de la habilidad de cada quien para trabajar en esas condiciones, donde claramente se observa que no es cualquiera que tiene esa facilidad para estar a una altura de alrededor 15 metros sujeto solo con una línea de vida y efectuando un trabajo en específico, lo que se puede observar en las figuras 3, 4, 5 y 6 del Apéndice 4.

Asimismo, si no reciben un buen trato por sus superiores o no tienen una buena comunicación con los mismos o con sus compañeros, pueden sentirse desmotivados y en muchos casos una persona con una mentalidad negativa no le permite hacer bien el trabajo y afecta a los demás, de ahí la importancia de un buen proceso de selección de personal. Las normas de seguridad que se tengan son muy importantes, pues por ejemplo un accidente o la muerte de alguna persona por causas de inseguridad de los procesos constructivos puede afectar la productividad de los demás trabajadores, que laborarían temerosos de que algo malo les pueda pasar, como ejemplo de esto está el accidente que pasó de un liniero en la línea Corredor Tecnológico, que se cayó desde un poste, lo que generó tensión en la cuadrilla.

Una aspecto de gran influencia en los rendimientos es la falta de capacitación de los trabajadores sobre el trabajo que realizan, pues muchos tal vez no sepan en qué consiste su labor o por qué tal montaje se coloca en un poste y en otro no, por ejemplo, así puede causar que no realicen el trabajo de forma adecuada, teniendo que realizar el trabajo de nuevo. Un esfuerzo importante que se ha dado por parte del

Departamento de Líneas del ICE, es la creación de la Escuela de Linieros, ubicada en La Garita de Alajuela, la cual brinda a los linieros un título que certifica que han llevado una serie de cursos enfocados tanto en la parte técnica como de relaciones interpersonales, para el mejor desempeño de sus labores, con el objetivo de que comprendan la razón de ser de cómo se ejecutan las labores, y no realicen el trabajo simplemente por hacerlo.

En el caso de la maquinaria, si ésta no ha recibido el mantenimiento adecuado su nivel de trabajo se puede ver reducido, así como si el operario de la máquina no sabe usarla bien, ésta no dará su máximo potencial, como sucede en la realidad con la máquina desbrozadora que se encuentra en la obra Corredor Tecnológico, que tritura palos de todo tamaño de vegetación, pero ha venido presentando fallas de forma constante y no por falta de revisión, quizá sea que su vida útil está llegando a su fin.

Para llegar a valores confiables de rendimientos que permitan al ingeniero tomarlos como base para realizar planeamientos certeros, utilizándolos como insumo dentro de la ejecución del plan estratégico para cumplir con los objetivos de competitividad, deben realizarse múltiples observaciones o disponer de datos para el mismo tipo de obra en diferentes condiciones, además contar con una metodología consistente y normalizada para la toma de datos permite tener resultados confiables para los análisis de tiempo, costo, avance, en fin, que se quieran.

Valor ganado

Para la herramienta de valor ganado se decidió realizarla en Excel, ya que al ser un programa de Microsoft conocido por la mayoría de personas, permite al ingeniero manipular la información para generar los gráficos que desee, y realizar otros análisis que requiera.

Este archivo de Excel está directamente conectado con la base de datos que se indique en la hoja de mantenimiento (donde lo que se digita es la ubicación de la base de datos), esto permite generar de forma automática la información real de trabajo y costos para el proyecto que se esté analizando. Esta herramienta, facilita monitorear en diferentes

puntos de tiempo como va el avance del proyecto con respecto de lo que se tenía planeado, por eso es necesario poner fases de tiempo al paquete de trabajo que permitan crear la línea base del proyecto, en este caso dicho costo será repartido en las bisemanas de trabajo, que corresponden a las fechas de corte donde se revisa el avance.

Cuando se habla de la duración de una obra de distribución, ésta se indica por bisemanas, existiendo proyectos con una duración de, inclusive apenas dos bisemanas, estos con poca duración muchas veces son reconstrucciones o agregados de líneas ya existentes que no habían sido completamente terminadas. En fin, la idea a la que se quiere llegar es la factibilidad de medir el progreso de esta forma, donde los planes de trabajo se hacen para esta unidad de tiempo, esto va a permitir comparar el avance del trabajo que se ha reportado con el que se tenía planeado en las bisemanas que conforman un proyecto.

Como se ha dicho anteriormente en este documento, se pretende para realizar el plan de un proyecto, tomar como base los rendimientos de otro con características semejantes, pero también cómo fue el comportamiento del avance, si fue acorde con lo que se esperaba, pues en caso contrario, esos rendimientos no son una buena base o deberían hacerse ciertos ajustes para utilizarlos.

Valor ganado implica medir el progreso del proyecto en determinadas fechas de corte, donde a esa fecha se podrá ver la variación del costo de acuerdo con el avance del proyecto así como entre el costo planeado y el costo en que se ha incurrido realmente hasta esa fecha, esto para realizar correcciones en caso de desvío o algún problema que se presente en determinado momento.

El avance del trabajo realizado se hará de acuerdo con las unidades de trabajo finalizadas que se van reportando de cada actividad del personal en el campo, esto permite tener el porcentaje terminado por actividad y a la fecha de corte. Los costos obtenidos del reporte de horas de trabajo de mano de obra, maquinaria, días de uso de equipo menor, de vehículos alquilados, compra de materiales por caja chica y viáticos incurridos, pertenecen a los costos reales del proyecto.

El valor planeado va en conformidad con la cantidad de unidades de trabajo especificada

en planos para cada actividad, considerando la cantidad de horas requerida para finalizar cada una de ellas, esto permitió estimar su peso en el proyecto, sobre lo cual se calcula el porcentaje de avance real de la actividad en todo el proyecto. Este valor planeado por ende va ligado a los rendimientos que se obtendrán de un proyecto determinado, de ahí la necesidad de crear la base de información con la que se generaría la curva Valor Planificado. Para el caso de poder realizar en esta sección un análisis de valor ganado, la cantidad de horas planeadas para cada montaje o metro en cada actividad fue una suposición.

En la gran mayoría de los proyectos un factor que interviene de forma directa en el avance de un proyecto es el tiempo de desplazamiento de la cuadrilla y el equipo a su respectivo lugar de trabajo. Aquí la logística juega un importante papel, teniendo un plan de cómo distribuir los recursos de manera oportuna (figura 20 y 21 del Apéndice 4) para la actividad requeridos en el momento cuando se necesiten a lo largo de toda la línea, la cual pueden ser de muchos kilómetros, en donde una mala selección de la ubicación del plantel a la hora de planear provocará un incremento de gastos en comparación a que si se hubiera situado en un lugar apropiado. En caso de escasez de medios de transporte es algo que se debe solventar lo más rápido posible, esto se ha de prever en relación con la cantidad de recursos que se tengan dispuestos para el proyecto.

Es importante resaltar que para probar que la herramienta dé los resultados esperados, los datos ingresados se basaron en costos reales de una obra conocida como Corredor Tecnológico, ubicada en el Sur del país. Esta obra se seleccionó debido a que como apenas se está implantando esta metodología, es en este proyecto donde se tiene información de costos en los meses de marzo y abril del 2010 es una obra que comenzó desde el año pasado, por ende, ya muchas actividades van muy avanzadas, lo cual no permite ver toda la información de todas las bisemanas de trabajo, en este caso serían sólo cuatro bisemanas y se tomará como si se estuviera empezando la obra con esa información, es decir, la obra estaría iniciando en marzo, en la bisemana 7 del 2010, para poder analizar valor ganado.

La información de trabajo realizado como se indicó en la parte de resultados de este

documento, corresponde a datos hipotéticos, los cuales son para la actividad de trocha y tendido. Esto se puede observar en la gráfica de avance (Figura 1 de Resultados), donde el avance real en cada bisemana está muy cercano de los valores planeados, dicho valor corresponde a un 5% de avance por bisemana, el cual se va acumulando hasta llegar al 100%, en 20 bisemanas de trabajo. Este tipo de gráfica permite ver como se da el avance (% de trabajo realizado) de la obra en cada fecha de corte para compararlo con el porcentaje de avance planeado, mostrando así lo que falta por realizar. La línea de este avance planeado termina obviamente en la fecha programada para finalizar, mientras que la de valor ganado va a depender del avance que lleve el proyecto, es decir, las actividades que aún no comienzan tienen un cero por ciento de su valor planeado y el valor ganado se va observando conforme se vayan terminando los entregables, en este caso se observaría el porcentaje terminado.

Los resultados muestran que el avance del proyecto va acorde con el trabajo que van realizando las cuadrillas, las cuales son asignadas de acuerdo con la estructura de trabajo definida. Como se puede observar en el Cuadro 3 y en la figura 1 de la parte de resultados, para la fecha de corte se tenía un plan de trabajo del 20%, y al comparar éste con el porcentaje de valor adquirido, se observa que el proyecto lleva un porcentaje insignificante de retraso, un 0,7% menos, esto indica que todo va marchando según lo esperado.

En un caso hipotético de que el porcentaje real no haya llegado ni a la mitad del programa esperado, empiezan las preocupaciones por parte de los encargados: de en qué estará fallando la cuadrilla o qué situación está afectando el avance. En este caso sería de utilidad verificar si la cantidad de recursos es la adecuada para cada actividad, condiciones en que se está desarrollando la actividad, cuando al revisar las actividades que están en análisis en los meses de trabajo en trocha, es muy probable que el tener la máquina desbrozadora en mal estado, los trabajadores están realizando los trabajos con motosierras u otras herramientas rudimentarias que no permiten un avance a como si se tuviera a disposición la desbrozadora en toda su capacidad, teniendo en cuenta el nivel de densidad de la vegetación que se encuentra realmente. En general, el avance de construcción

de este tipo de proyectos fluctúa porque como todo hecho, se pueden presentar escenarios que no se tenían contemplados como lo es las inclemencias del clima, teniendo que para una bisemana se planea avanzar en la actividad de tendido un 20%, y si llueve 5 días, ese 20% no se puede alcanzar por factores fuera de control, logrando un avance aproximado del 12% en la realidad.

A raíz de esto, el ingeniero debe replantear que pasos por seguir para que estos retrasos no se vayan acumulando hasta llegar a un momento en que el problema es irreversible y se empiecen a percibir grandes pérdidas económicas. Así debe realizar un reajuste de los valores que tenía previstos, tomando en consideración todos los aspectos que han venido aquejando el proyecto meses atrás y pensando en cómo podrían seguir interfiriendo con el avance, definiendo de una forma más precisa el alcance. Este tipo de pronósticos aumentará de forma directa los costos del proyecto.

Cabe destacar que en un proyecto de líneas, puede darse el caso de que la cantidad inicial de postes se haya aumentado en una determinada fecha de corte, por eso es importante que a la hora de aumentar el número de montajes que se tenía planeado, se tenga el dato y gráfica de cómo ha sido el avance y línea base hasta esa fecha guardados en un documento, pues si se cambia abruptamente, la línea de avance real claramente va a cambiar, y el trabajo que se tenía hasta la fecha no va a quedar correctamente registrado. Por ejemplo, si el proyecto a esa fecha de corte lleva un 19,3% de avance, al incrementar el alcance original, el porcentaje real de trabajo que se tiene con respecto del nuevo valor de trabajo va a disminuir, llegando a reducir el avance dependiendo del aumento que se haya dado del número de postes por construir, esto reflejaría de forma inadecuada como ha sido el comportamiento del proyecto en esos meses.

Con respecto de la gráfica de valor ganado (Figura 2), la que muestra los costos reales acumulativos (AC), los costos del trabajo realizado (VG) y los costos presupuestados, todo a la fecha de corte, es decir, por bisemana, permite analizar qué tan bien se va en el proyecto en esos dos aspectos de avance y costo. Pudiéndose dar que el proyecto vaya bien en el avance, es decir, esté dentro del programa, pero que sus costos se salgan del presupuesto, o de

modo inverso que los costos vayan bien pero que vaya atrasado en trabajo realizado. Estas situaciones se pueden detectar con la ayuda de las medidas de variación de costo y programa, dando la señal de que algo no está bien si su valor es negativo. Otros indicadores son los índices de rendimiento, donde si su resultado es distinto de 1, se deben hacer revisiones de porqué se presentan variaciones en determinado período.

Según los datos prueba, los resultados que se obtuvieron reflejan que el proyecto presenta ciertas variaciones a lo largo de esas cuatro bisemanas como se observa en el cuadro 4 y en la figura 2 de resultados, pues en algunos aspectos según las medidas de variación el proyecto está bien pero en otros no, dichas medidas se encuentran en el cuadro 5. En la bisemana número 7 se logró un avance importante, pues el trabajo va más bien adelantado como indica el índice de desempeño SPI, esto se puede ver en un porcentaje de avance real mayor al previsto. En la bisemana 8, se empieza a distorsionar un poco el plan, un indicio de esto, es la medida de variación de SV con un valor negativo, revela que el trabajo va atrasado debido a que PV es menor a VG, pero lo importante de revisar los datos es que la diferencia no es tan grave como para pensar en medidas extremas de corrección, esto va respaldado por el índice de desempeño SPI con un valor de 0.99, es decir, esta casi según lo programado, observándose a su vez un CPI mayor a 1, es decir, se ha gastado menos de lo que realmente representa el trabajo realizado. Esto es bueno en el sentido de que no se ha gastado mucho pero se debe tener cuidado de que se esté haciendo el trabajo con los materiales requeridos y de calidad, ya esto se verá reflejado en el resultado final y en algún momento puede afectar. Hasta este punto se ha observado un comportamiento tal como se esperaba en la medida de lo posible.

La situación empieza a cambiar a partir de la bisemana 9, siendo ambas medidas de variación negativas señala que algo no anda bien, tanto en el avance del trabajo como en los costos. Lo consiguiente es inspeccionar los índices, si son menores a 1, se da una alerta de sobrecosto y retraso en el cronograma. Esto conduce a que se haga una revisión de los valores de PV, AC y VG, donde se observa que los gastos se han incrementado hasta el punto de

superar los costos previstos, existiendo una pequeña discrepancia entre el valor de porcentaje planeado y porcentaje de avance real, esto apunta que en esas últimas dos bisemanas se incurrió en costos mayores, no manifestando el trabajo realmente realizado que fue menor en comparación a la plata gastada. Lo anterior puede deberse a una mala administración de los recursos realmente necesarios para cada actividad, mal desempeño del trabajador, tiempos de espera de los materiales que escasean sean proporcionados y específicamente en la actividad de trocha quizá los trabajadores sí estuvieron laborando pero debido a permisos que aún no se han concedido por parte de instituciones como MINAET no permiten avanzar en regiones donde se tenía en plan. En esos casos se comprende la importancia de ir controlando el avance en fechas de corte para que el inconveniente no sea arrastrado en las bisemanas posteriores.

La gráfica del Costo según Avance (Figura 3) relaciona lo que se ha gastado realmente con el trabajo realizado, es decir muestra el costo asociado al avance en la fecha de corte, por eso requiere la información de las dos gráficas anteriores. Demostrando la realidad del proyecto en costo y avance y suponiendo 300.000.000 de colones como presupuesto total para ese proyecto, se puede ver cuánto se ha gastado y cuánto falta para llegar al tope del plan, o en dado caso se esté pasando de ese total en algún nivel del avance.

Como se pudo ver, valor ganado da un panorama de cómo se comporta un proyecto, siendo su objetivo que los encargados puedan detectar problemas en el tiempo adecuado y tomar acciones correctivas para solucionarlos. Si desde el inicio se hicieran las consideraciones respectivas de los posibles problemas que se pueden presentar, las desviaciones con respecto del plan serían mínimas, esto se encuentra contemplado en la planificación, lo cual vendría a ser como un factor adicional de seguridad para posibles eventualidades.

En general, en la construcción de una obra de distribución, los retrasos en el avance de una obra se pueden deber a muchas situaciones, como se dijo el rendimiento va directamente ligado a si se logra o no avanzar según lo planeado. Muchos factores no se pueden controlar, como que las autoridades correspondientes no den los permisos necesarios o se tarden en hacerlo, como por ejemplo, en la

actividad de trocha, sujeta en la mayoría de los casos a que MINAET permita cortar cierta vegetación que puede afectar una línea como se mencionó en párrafos anteriores, otro ejemplo es cuando una línea deba pasar por una propiedad que tiene dueño, por eso deben solicitarse los permisos correspondientes; a su vez están los retrasos en la entrega de materiales que se necesitan para continuar con equis actividad. La falta de supervisión puede afectar el avance de los procesos y en proyectos de gran longitud se dificulta tener control sobre lo que está haciendo todo el personal a la vez. Esto requeriría que haya un encargado de supervisar en cada punto del proyecto, lo cual no es factible para ellos. Además los proyectos ubicados a la orilla de la carretera, que son la mayoría, tienen el inconveniente de que deben ver cómo continuar con sus labores con el tráfico vehicular, donde asignan a una persona encargada de mantener el control cuando se está pasando cable o se necesite usar el espacio de la carretera (figura 6 del apéndice 4). Con un buen planeamiento tomando en cuenta desde el inicio situaciones que se podrían dar como las citadas, se lograrían excelentes resultados de control.

La comunicación entre cuadrillas es sumamente importante a fin de mejorar el avance. Por ejemplo en la actividad de tendido hay personas ubicadas en diferentes sectores de la línea que deben dar indicaciones a otras para que continúen con determinado montaje o actividad. Muchas veces hay escasez de éstos, lo cual se puede ver reflejado en un retraso de los procesos. Los encargados de las obras así como los ingenieros deben preocuparse por proporcionar a tiempo estos medios de comunicación, así como incentivar la comunicación de la cuadrilla en reuniones donde expresen las dificultades que han tenido en el día anterior logrando así que estén motivados en el sentido de que sepan que su opinión es importante. Hoy día estas reuniones son realizadas al inicio de la jornada de trabajo para que tratar de ir solventando día a día cualquier inconveniente, las cuales pueden durar de 5 minutos a lo que se necesite. En el transcurso de la reunión se tratan entre otros temas, el plan de trabajo del día, estrategia constructiva enfocado a la optimización de los procesos mecanizando todo lo que se pueda. Reiterando a su vez, la importancia de brindar capacitaciones para incrementar el conocimiento técnico y de cómo

relacionarse con sus compañeros, con el fin de que se desempeñen de la mejor manera, lo que va ligado directamente a lograr un flujo progresivo de las operaciones y a saber qué hacer en caso de que surja alguna contrariedad.

Con respecto de los costos, el costo de un proyecto a otro puede variar en gran medida. Ello se debe a que a pesar de que es la misma base constructiva, unas líneas conllevan claramente mucho más tiempo que otras, pues son de mayor longitud, mayor número de postes, mayor complejidad en ciertos montajes, mayor cantidad de aberturas, en fin, requiriendo mayores consumos de recursos. Es curioso ver, que una línea puede presentar las mismas características antes mencionadas que otro proyecto, pero puede ser más costosa debido al terreno del proyecto. En actividades como excavación (figura 7 del Apéndice 4), el costo puede variar mucho de un lugar a otro, dado que existen sitios que presentan terrenos muy difíciles de excavar por sus características, donde se han topado con postes que se deben cimentar en macizos rocosos, lo cual marca una gran diferencia con respecto de un terreno granular, por ejemplo, donde los costos de excavación son en realidad mucho menores.

Se incurre en más gastos, cuando se debe visitar un poste en más de una ocasión para una misma actividad, por ejemplo en vestido de postes, lo usual es colocar los aisladores, cruceros y arriostres de una sola vez, pero puede darse el caso de que no les hayan dado los aisladores y por ende van en una primera oportunidad a colocar cruceros y arriostres y en una segunda a poner aisladores, lo cual duplica los costos. Esto ilustra que un retraso de insumos así como en otros casos retraso de información por parte del cliente, hace que los costos en un proyecto aumenten.

La actividad de paro (actividad #10, anexo 2) genera cierta confusión sobre si es una actividad o si debería tomarse como una condición de alguna otra actividad, en ella se corta la corriente de un punto de la línea a otro, donde es necesario intervenirla cuando se requiere hacer alguna reparación o algún trabajo especial en un momento determinado del proceso de construcción de la línea, también se desarrolla cuando existe algún riesgo de electrocución. El paro también conocido como suspensión programada, como su nombre lo dice, se programa desde varias bisemanas antes de

realizarlo. En el proceso de esta actividad, se ejecutan trabajos en actividades específicas, por ejemplo, en el tendido, contribuyendo en este caso al avance de trabajo en la actividad de tendido. Por ende, se decidió que el consumo de recursos, lo cual influye en los costos si se registrará para la actividad de paro, pero para el reporte del trabajo realizado, se registra para la actividad específica donde se está generando el avance de trabajo. Es por tal motivo que en la herramienta de Excel, no haya trabajo en la actividad número 10 en el cuadro de avance, el cual corresponde a la actividad de paro, pero si está reflejado en el cuadro de costos como una actividad que junto con la cuenta de costos indirectos se prorratea entre todas las demás actividades.

Los costos que se podrán controlar con la herramienta como se sabe son los de mano de obra, maquinaria, equipo, vehículo alquilado, materiales y viáticos, donde la mano de obra se podría decir que es un costo que se mantiene constante en el tiempo, pues cada quincena las horas ordinarias de trabajo siempre van a iguales, solo en caso de que se laboren horas extras y horas dobles, este dato de costo de mano de obra podría variar. Los costos de viáticos por bisemana implican altas cantidades de dinero, incluyen la dormida, el transporte y la comida de todo un personal de trabajo por proyecto. Por lo tanto la forma de ejercer un control de costo es asignando la cantidad necesaria de recursos para cada actividad, dependiendo de las necesidades de cada proyecto y del momento que se requieran.

De ahí la importancia de contar con información valiosa que pueda ayudar a planear con mayor precisión los proyectos, tanto en tiempo como en costos, mejor aún si se cuenta con información del proyecto en distintas condiciones, lo cual se quiere empezar a recaudar para los proyectos de líneas de distribución ya que actualmente no se tiene.

Línea de balance

Como se explicó en el marco teórico el método de línea de balance permite medir el avance en obras que tengan procesos respetivos, pues su ideal original parte de la producción en serie

donde las actividades intervienen a una misma unidad de producción. Ahora su aplicabilidad en la construcción de líneas de distribución se analiza a continuación.

Para un balance de actividades, se debe tomar en cuenta el rendimiento esperado por unidad, la cantidad de días de trabajo, las horas diarias de trabajo, tamaño de la cuadrilla, horas hombre necesarias en cada actividad, es decir, se debe disponer de esa información si se quiere emplear esta técnica.

Actualmente, en el campo, los trabajadores van señalando por poste qué montajes van terminando en cada actividad (figura 1. Apéndice 4). El tema de valor ganado se manejó midiendo el avance por porcentaje de avance de montajes o metros de línea, aunque es un concepto totalmente aparte del de la línea de balance, se podría empezar con un razonamiento parecido, en el sentido de que en muchos de los proyectos desarrollados por el centro de construcción de líneas algunos postes ya presentan cierto nivel de avance. Este tema es utilizado cuando las actividades en un proyecto empiezan desde cero en cada unidad, lo cual funcionaría sólo para algunos de este tipo de proyectos, de ahí que el porcentaje se base ahora en montajes o metros de línea, y por tal razón no se cuenta con información de rendimiento por poste, porque como ya se ha dicho no es factible hacerlo de esta manera.

No obstante, el método de línea de balance, implica que por cada actividad se realice siempre la misma cantidad de trabajo, es decir, por ejemplo, que en la actividad de colocación de retenidas siempre se coloquen dos retenidas por poste, lo cual es totalmente falso en la realidad de las obras de líneas, pues dependiendo del ángulo en que se ubique el poste, así va a ser la cantidad de retenidas que se coloquen, pudiendo ser hasta en seis retenidas en algunos casos que requieren tal cantidad para darle estabilidad al poste. Por otro lado, línea de balance aplica para proyectos cuyo orden de construcción es del primero al último, lo cual no se presenta en una línea de distribución, pues una cuadrilla puede estar en el poste 1 y en el poste 4 a la vez, sin

haber hecho el trabajo en los postes 2 y 3 para una actividad específica, lo que depende de la logística que se haya definido al comienzo de la jornada de trabajo.

Todo esto conlleva a que el método de línea de balance no se pueda aplicar de la forma como se plantea en la literatura. La funcionalidad que se le observó al concepto de línea de balance es poder ir observando el avance de cada actividad de manera separada con la ayuda de una gráfica así comparar el avance entre todas, poniendo atención en qué punto del avance y en qué fecha alguna actividad se llega a juntar con otra o con varias. Siempre observando el avance por porcentaje de avance de montajes o metros, así como se va obteniendo para el análisis en valor ganado.

Si se da un choque de actividades que no debiera darse, es decir, que el nivel de avance de una actividad no sea el que se tenía dispuesto, o comparando actividades en determinada bisemana, por ejemplo, que la actividad de colocación de anclas debería llevar un 20% más de avance que colocación de retenidas en la bisemana 7 para un determinado proyecto, observarlo del gráfico permite ver si así se está dando esa relación de avance.

En este tipo de gráficos que muestran el avance en cada actividad, es posible analizar la actividad según su avance como actividad individual (Figura 5), siendo la meta cumplir con el 100% de su trabajo, como se observa la actividad de trocha tiene un progreso de un 48%, mientras que la de tendido está casi por finalizar, con un 83%; no obstante se puede ver el avance de la actividad en relación con el proyecto, en donde se da la actividad por concluida al llegar al peso que tiene esa actividad en el proyecto (Figura 4), donde la actividad de trocha tiene un peso en el proyecto de 15% y lleva un 7% de avance, y para el caso del tendido su peso en el proyecto es de 14% con un avance al 3 de mayo de casi 12%, donde al ver que a la actividad de trocha le falta alrededor del 50% para culminar, ahí el encargado fijará si se debe mejorar el avance o en caso contrario confirmará que vaya acorde con el plan, indicará además que el avance mayormente a nivel de proyecto lo está proporcionando la actividad de tendido. Si se nota que el plan de avance no se está dando en la realidad, puede significar entre otras situaciones, que la actividad se atrasó tal vez por falta de recursos, por falta de fondos, insuficiencia o bajo rendimiento de los recursos, por ello se debe tomar medidas para aumentar la productividad.

Conclusiones y recomendaciones

Se observó en campo, específicamente en la línea Corredor Tecnológico del proyecto Osa, en qué consisten las actividades que componen la construcción de líneas de distribución, analizando a su vez la forma de medirles avance, comprobando así lo que se determinó en la metodología existente: medir rendimiento basado en los montajes, con la variante de las actividades trocha y tensado que se medirá el trabajo por metro.

La aplicación Gestión ATC cumple con las características deseadas por el interesado, siendo un medio que permitirá contar con información importante y necesitada por el centro de construcción de líneas de distribución como lo es rendimientos y costos por actividad.

Al ser este trabajo una puerta que abre paso a la normalización en la toma de datos, de manera que los encargados de este tipo de proyectos empiecen a organizarse para recolectar de modo persistente la información requerida para alimentar la aplicación, no se dispone hoy por hoy de tal información para el transcurso de todo un proyecto, por ello los valores de costo y avance obtenidos tanto de la aplicación en Visual como de la herramienta en Excel no reflejan un proyecto en específico, han sido sólo con fines de ejemplificar que se puede obtener y de qué manera se pueden manipular tales resultados para darles utilidad y aplicabilidad al proceso de construcción de líneas.

Disponer de una base de datos por proyecto, permitió desarrollar en Excel una herramienta para ver información determinada de un proyecto, necesaria para medir el avance, empleando el concepto valor ganado.

Las mediciones de avance en determinadas fechas de corte pueden evitar que un proyecto llegue a un punto de crisis, gracias a la facilidad de detectar desvíos en el momento en que se presentan y ahí tomar las medidas del caso, siendo en estos casos el parámetro para medir el tiempo la bisemana.

La forma de medir el porcentaje de avance por montajes y metros permite considerar los detalles existentes de cada poste, los cuales varían entre ellos, de ahí que no sea factible medirlos por poste de avance, siendo estos valores de avance de montajes y metros los que facilitaron la medición del progreso en valor ganado.

La utilidad de los índices de desempeño y las medidas de desviación aplicables en análisis de valor ganado son valores que alertan la existencia de problemas en los proyectos.

Es importante definir desde el comienzo del proyecto la línea base sobre la cual estará el avance, tomando en consideración los posibles imprevistos que se puedan presentar así como aspectos característicos del proyecto en específico como ubicación, clima de la región, geomorfología, tiempos de desplazamiento, siendo la logística que se aplique uno de los factores más trascendentales que determinan un avance continuo; en caso contrario, la planificación del presupuesto que se había hecho originalmente va a estar propensa a cambios constantes, podría no alcanzar como se esperaban los beneficios que en un principio se habían establecido.

Las pruebas hechas con información del proyecto Corredor Tecnológico muestran un porcentaje de avance satisfactorio, siendo cercano a la línea

base. Con respecto de los costos, estos se empiezan a disparar después de la tercera bisemana, implicando que se está gastando más de lo planeado, lo cual puede significar una mala administración de los recursos en cada actividad, deficiente desempeño de los trabajadores en sus labores, no contemplar las condiciones climáticas de la región en el plan, mala comunicación entre los miembros de la cuadrilla, mencionado así algunas posibles causas.

Si se le da un uso debido al programa, introduciendo todos los datos requeridos en el momento que se van dando, se podrán tener resultados confiables de rendimientos de los proyectos y valores de avance reales para una fecha de corte, haciendo llegar la información necesaria a las personas adecuadas.

Los rendimientos por obtener en el día de mañana permitirán contar con coeficientes comparativos de diferentes regiones basados en los rendimientos obtenidos con la aplicación y si se acompaña con datos de productividad para cada actividad, se pueden llegar a resultados bastante satisfactorios en búsqueda de la optimización de la construcción de obras de distribución.

Los rendimientos específicamente en proyectos de líneas de distribución van a depender en gran medida de la agilidad y nivel de conocimiento que tenga el trabajador, donde en muchos casos los montajes requeridos se deben realizar a alturas considerables y en muchos casos se hace necesario realizar maniobras para terminarlos.

Al estar las líneas propensas a corto circuitos en la ejecución de algunas actividades, el factor clima es imprescindible de considerar, donde un día lluvioso es un día en el que no se pudo avanzar, poniendo siempre en primer plano la seguridad del trabajador.

En las obras de distribución no es posible aplicar el método de líneas de balance, en el sentido de que la cantidad de trabajo no es la misma para cada actividad, pues depende de las características de la línea y la construcción no se desarrolla en orden del primer poste al último, sino de forma dispersa de acuerdo a la logística planteada, lo cual no cumple con la filosofía de la técnica.

En caso de que se presente algún problema al registrar datos o al hacer el análisis de valor ganado en las herramientas, se recomienda abrir la base de datos, pues si ésta está bloqueada es muy posible que ahí se encuentre el problema, lo que fácilmente se arregla copiándola en otro sitio. Aconsejando que si se va a tener la base de datos en el disco duro, ubicarla en una carpeta dentro de éste, no directamente en el disco duro.

Es importante que antes de usar la herramienta de ingreso de información se vea el mapa de sitio, el cual indica las principales funciones de ésta. Para la aplicación en Excel, se deben estudiar con detenimiento las instrucciones que vienen en la misma herramienta en la hoja con ese nombre, ello indica las acciones por seguir entre otras posibles dudas que se le puedan presentar al usuario. Así como brindarles la debida capacitación en el uso de ambos.

Apéndices

Apéndice 1. Mapa de sitio de la aplicación.

Apéndice 2. Reporte de costos obtenido de la aplicación.

Apéndice 3. Reporte de rendimientos obtenido de la aplicación.

Apéndice 4. Fotografías tomadas en la obra Corredor Tecnológico, Proyecto Osa.

Apéndice 1

Mapa de sitio de la aplicación.

Apéndice 2

Reporte de costos obtenido de la aplicación.

Apéndice 3

Reporte de rendimientos obtenido de la aplicación.

Apéndice 4

Fotografías tomadas en la obra Corredor Tecnológico, Proyecto Osa.

Anexos

Anexo 1

Escuela de linieros. **Diagrama de algunos montajes en líneas de distribución.** Introducción a Líneas de Distribución y Transmisión Eléctrica.

Anexo 2

Cruz, A. **Cuentas de Costos de las actividades de construcción de Líneas de Distribución.** San José, Centro de Construcción de Líneas de Distribución.

Anexo 3

Cruz, A. **Boletas para obtención de información de consumo de recursos.** San José, Centro de Construcción de Líneas de Distribución.

Anexo 1

Escuela de linieros. **Diagrama de algunos montajes en líneas de distribución.** Introducción a Líneas de Distribución y Transmisión Eléctrica.

Anexo 2

Cruz, A. **Cuentas de Costos de las actividades de construcción de Líneas de Distribución.** San José, Centro de Construcción de Líneas de Distribución.

Anexo 3

Cruz, A. **Boletas para obtención de información de consumo de recursos.** San José, Centro de Construcción de Líneas de Distribución.

Referencias

Chamoun, Yamal. **ADMINISTRACIÓN PROFESIONAL DE PROYECTOS.** México: McGraw-Hill.

Gray, Clifford F. & Larson, Eric W. **ADMINISTRACIÓN DE PROYECTOS.** Cuarta Edición. Mc Graw Hill/International Editores. S.A de C.V

Gido, Jack & Clements, James. **ADMINISTRACIÓN EXITOSA DE PROYECTOS.** Segunda Edición. International Thomson Editores, S.A de C.V.

Project Management Institute. **GUÍA DE LOS FUNDAMENTOS DE LA DIRECCIÓN DE PROYECTOS.** Pmbok Guide. Tercera edición.

Sherpell, Alfredo. & Alarcón, Luis. **PLANIFICACIÓN Y CONTROL DE PROYECTOS.** Ediciones Universidad Católica de Chile. Facultad de Ingeniería. Segunda Edición, 2003.

Sherpell, Alfredo. **ADMINISTRACIÓN DE OPERACIONES DE CONSTRUCCIÓN.** Ediciones Universidad Católica de Chile. Facultad de Ingeniería

Cruz White, Armando. 2008. **METODOLOGÍA PARA LA DETERMINACIÓN DE LOS RENDIMIENTOS DE LAS ACTIVIDADES CONSTRUCTIVAS DE UNA LÍNEA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICA. APLICADO AL EJEMPLO PRÁCTICO DE LA OBRA L.D. CHACARITA PALMAR-NORTE DEL CENTRO DE SERVICIO DE CONSTRUCCIÓN DE LA UEN PySA, ICE.** Informe proyecto final de graduación. Escuela de Ingeniería, Universidad de Costa Rica. 130 p.

Paniagua, Ana Yancy. 2006. **RENDIMIENTOS DE LA MANO DE OBRA EN**

CONSTRUCCIONES DE CASAS DE MADERA. Proyecto Final de Graduación. Escuela de Ingeniería en Construcción. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Disco Compacto.

Meléndez, William.1986. **DETERMINACIÓN DE LOS FACTORES DE PRODUCCIÓN QUE INCIDEN SOBRE LOS RENDIMIENTOS DEL FRIJOL.** Tesis (Ingeniero agrónomo) Universidad Nacional. 59 p.

Acuña, Luis. 2004. **VISUAL BASIC COMO SEGUNDO LENGUAJE.** Cartago, Costa Rica. Editorial Tecnológica de Costa Rica.

Instituto Costarricense de Electricidad. **INTRODUCCIÓN A LÍNEAS DE DISTRIBUCIÓN Y TRANSMISIÓN ELÉCTRICA.** Escuela de linieros. San José, Costa Rica, 2008.

Instituto Costarricense de Electricidad. **MONTAJES PARA CONSTRUCCIÓN DE REDES DE DISTRIBUCIÓN.** Dirección de Distribución. San José, Costa Rica, 2009.

Soini Mika. **IMPLEMENTATION OF LINE OF BALANCE BASED SCHEDULING AND PROJECT CONTROL SYSTEM IN A LARGE CONSTRUCTION COMPANY.** Documento de internet

[en línea]. Disponible en: <http://www.recursosvisualbasic.com.ar/hmt/tutoriales/datagrid-dbgrid.htm>

[en línea]. Disponible en: <http://www.miajas.com/informatica/ApuntesBach/Apuntespaso.htm>

[en línea]. Disponible en: <http://www.amauta-international.com/Ramirez.htm>

[en línea]. Disponible en:
<http://www.monografias.com/trabajos10/visual/visual.shtml>

[en línea]. Disponible en:
<http://www.maestrosdelweb.com/principiantes/¿que-son-las-bases-de-datos/>

[en línea]. Disponible en:
<http://www.mundoexcel.com/documentacion/publico/IniciacionMacros.pdf>

[en línea]. Disponible en:
<http://www.econ.unicen.edu.ar/academicas/catedras/sistemasdeinformacion/material/AyudaAccess.pdf>