

Programación de actividades PERT del sistema de riego automatizado para reducir costos en la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A. Chimbote -2016

Jim Alexandro Flores Tarazona¹, Jaime Eduardo Gutiérrez Ascón¹, Richard Freddy Briones Pereyra¹

Resumen

Objetivos. Programar actividades PERT del sistema de riego automatizado y la reducción de costos en la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A., año 2016. **Materiales y métodos.** La presente investigación es descriptiva, pre experimental. La población estuvo conformada por un campo de 87.00 has, siendo el tamaño de la muestra 71.90 has y su muestra ajustada de 39.12 has. Se utilizaron las técnicas de la revisión de datos, análisis de documentos y la observación, utilizándose el software WinQSB versión 2.0. **Resultados.** Se mejoró notablemente la programación y la eficiencia de los tiempos de las actividades, se evidenció que la demora de las actividades de un proyecto eleva los costos financieros. **Conclusión.** La programación de actividades PERT del sistema de riego automatizado permite reducir los costos en la empresa Agroindustria San Jacinto S.A.A.

Palabras clave: Programación de actividades PERT, automatización, reducción de costos y riego por goteo.

Programming activities PERT automated irrigation system to reduce costs in the company Agroindustrias San Jacinto SAA Chimbote -2016

Abstract

Objectives. Program PERT activities of the automated irrigation system and the reduction of costs in the company Agroindustrias San Jacinto S.A.A., year 2016. **Materials and methods.** The present research is descriptive, pre experimental. The population consisted of a field of 87.00 ha, the sample size being 71.90 ha and its adjusted sample of 39.12 ha. The techniques of data review, document analysis and observation were used, using WinQSB software version 2.0. **Results.** The scheduling and the efficiency of the times of the activities were markedly improved, it was evidenced that the delay of the activities of a project raises the financial costs. **Conclusion.** The programming of PERT activities of the automated irrigation system allows to reduce the costs in the company Agroindustria san Jacinto S.A.A.

Keywords: Programming PERT activities, automation, cost reduction and drip irrigation.

Atividades de programação PERT sistema de irrigação automatizado para reduzir os custos da empresa Agroindustrias San Jacinto SAA Chimbote -2016

Resumo

Objetivos. Atividades do programa PERT sistema de irrigação e redução de custos automatizado na empresa Agroindustrias San Jacinto AEA, 2016. **Materiais e métodos.** Esta pesquisa é descritiva, pré experimental. A população consistiu de um campo de 87.00 hectares, sendo o tamanho da amostra tem 71.90 e 39.12 têm ajustado amostra. foram utilizadas as técnicas de análise de dados, análise de documentos e observação, usando o software WinQSB versão 2.0. **Resultados.** programação é muito melhorada ea eficiência dos tempos de atividade, foi mostrado que o atraso das atividades do projeto aumenta os custos financeiros. **Conclusão.** Atividades de programação PERT sistema de irrigação automatizado pode reduzir os custos da empresa Agro San Jacinto SAA

Palavras-chave: atividades de programação PERT, automação, redução de custos e de irrigação por gotejamento

Introducción

A través de los tiempos el hombre se ha valido de múltiples habilidades para tener la realización de las actividades de forma ordenada y planificada por cualquier método. En la primera

¹Escuela de Ingeniería Industrial. Universidad César Vallejo. Chimbote, Perú. jimalexandro@gmail.com
Recibido: 25/06/2016 Aceptado: 25/10/2016

revolución industrial en los años 1760 se desarrolló movimientos tecnológicos y científicos que permitió al ser humano entrar en posesión de nuevos medios y elementos. Dentro de estos medios que se desarrollaron fueron las técnicas de programación de actividades para la época.

Una de las técnicas desarrolladas para evaluar la programación de actividades fue el método PERT (Program Evaluation and Review Technique – Técnica de Evaluación y Revisión de Programas) que sirve para la programación de actividades de proyectos con tiempos de duración.

El desarrollo de software avanzado generó programas más detallados para la evaluación de actividades en un proyecto que permitieron con exactitud el cálculo de holguras, ruta crítica y probabilidades. Adicionalmente el método PERT, es un método probabilístico que ayuda a determinar la probabilidad de terminar a tiempo las actividades del proyecto.

El problema actual es la no utilización de herramientas para la programación de actividades de los sistemas de riego automatizado. Adicionalmente la falta de capacitación al personal. La no existencia de propuestas o desarrollo de proyectos que tomen una adecuada programación de actividades.

En la actualidad las empresas no consideran una programación de actividades de acuerdo a lo que se realiza, generando muchas veces problemas de abastecimiento, o más aun actividades sin inicio o termino o peor aún actividades inconclusas.

A raíz de estas deficiencias con referencia a las actividades en lo que se refiere a sistemas de riego automatizado son muy lentas, muchas veces no se empieza con la actividad principal y mucho menos se tiene una programación de actividades, por tal razón en esta presente tesis se utiliza una herramienta para agilizar estas actividades, como es el método PERT, que ayuda a determinar los tiempos y se calculará la ruta crítica de las actividades para poder priorizarla y adicionalmente las holguras, con este método se reducirán tiempos de instalación, reducción de costos, mejora en la cadena de abastecimiento de materiales y accesorios.

Adicionalmente se reducirá la mano de obra innecesaria que genera costos adicionales. Por tal motivo se propone la siguiente pregunta: ¿De qué manera la programación de actividades PERT del sistema de riego automatizado se relaciona con la reducción de costos en la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A., año 2016?

Es por ello, que el presente estudio tiene por finalidad de proponer una programación de actividades PERT del sistema de riego automatizado para reducir costos en la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A. Chimbote -2016.

Si tuviésemos que hablar de la historia de la planificación y control de las obras, deberíamos referirnos a la primera de las construcciones realizadas por el hombre y perdida en el origen de nuestra especie. Construcciones como las pirámides de Egipto no pudieron construirse sin un plan previo y una compleja organización de recursos. Sin embargo, si queremos utilizar las actuales técnicas de planificación, podríamos reducir significativamente nuestra historia y remontarnos apenas medio siglo en Estados Unidos, cuando tanto desde el ámbito militar como desde el civil, de forma independiente, se sentaron las bases de la técnicas basadas en el método del camino crítico (Critical Path Method, CPM) y en el método PERT (Program Evaluation and Review Technique) (Yepes, 2016).

A lo largo del tiempo se han creado decenas de métodos que logren dar una idea del tiempo de terminación de un proyecto cualquiera con el fin de disminuir la incertidumbre, tal es el caso de la programación de proyectos mediante algoritmos de flujo en redes (CPM, PERT) los cuales asumen que siempre existe capacidad en los recursos que deben ser asignados a las actividades. Muchos de estos métodos arrojan resultados poco acercados a la realidad ya que no tienen en cuenta que los recursos con los cuales trabajan son limitados y no infinitos como muchos de ellos suponen (Carranza, 2015).

La relación que existe entre la administración y la ingeniería es muy importante tener en cuenta que con el apoyo de CPM, PERT y el software PROJECT, se realizará una administración de proyecto eficaz cumpliendo con la información necesaria para llevar a cabo un control durante el proceso de ejecución de actividades del proyecto, haciendo de esto el manejo óptimo de recursos tanto económicos y técnicos (Adaya, 2014).

Project Management Institute (2013) menciona que las actividades deben de ser cuantificadas en costos y el mejor método para controlarlas es la Gestión del Valor Ganado (EVM) es una metodología que combina medidas de alcance, cronograma y recursos para evaluar el desempeño y el avance del proyecto. El método del valor ganado es muy utilizado para la medida del desempeño de los proyectos. Integra la línea base del alcance con la línea base de costos, junto con la línea base del cronograma, para generar la línea base para la medición del desempeño, que facilita la evaluación y la medida del desempeño y del avance del proyecto por parte del equipo del proyecto. El EVM establece y monitorea tres dimensiones clave para cada paquete de trabajo y cada cuenta de control: valor planificado, el valor ganado y el costo real.

En la administración de costos el objetivo es la reducción total o parcial de los costos de producción, dentro de estas estrategias para la reducción de costos son las acciones que se han tomado en las primeras etapas del ciclo de vida de producción para que estas puedan disminuir los costos de las etapas de producción y consumo posteriores. También existe la reducción de costos por medio de la administración de actividades; las condiciones competitivas indican que las empresas deben entregar los productos que desean los clientes, a tiempo y al costo más bajo posible; esto significa que una organización debe esforzarse de manera continua por el mejoramiento de los costos (Hansen, 2007).

Pérez (2015) menciona que el ahorro de recursos, como es la mano de obra, reduce circunstancialmente a automatizar procesos en la industria y la automatización va más allá de una simple mecanización de los procesos ya que ésta provee a operadores humanos mecanismos para asistirlos en los esfuerzos físicos del trabajo; la automatización reduce ampliamente la necesidad sensorial y mental del humano.

El presente estudio tiene como objetivo general el de evaluar la programación de actividades PERT del sistema de riego automatizado y la reducción de costos en la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A., año 2016.

Materiales y métodos

La presente investigación es pre experimental. Este tipo de diseño se utilizará porque se va a manipular la variable independiente, describiendo el comportamiento a través de la medición los parámetros establecidos.

Con el diseño de pre experimentación, se determinará la reducción de costos, para obtener un eficiente sistema de riego automatizado. Dentro de las variables de investigación fueron las siguientes: variable independiente programación de actividades PERT y la variable dependiente reducción de costos. Para esto se realizó la matriz operacional, en esta matriz se define las variables (X) e (Y), también muestra las dimensiones e indicadores, los cuales son fundamentales para esta investigación. La población de la presente investigación estará conformada por un campo de 87.00 has, donde el tamaño de la muestra fue de 71.90 has y su muestra ajustada de 39.12 has.

Dentro de las técnicas usadas fue la revisión de datos, análisis de documentos y la observación. La presente investigación utilizó como método el análisis descriptivo, como un análisis ligado a la hipótesis.

Para alcanzar los resultados se utilizó el software WinQSB versión 2.0 en cada uno de ellos, con los resultados obtenidos se mejora la programación de actividades PERT y la correlación existentes con la reducción de costos mediante la prueba de hipótesis en cada uno de los resultados.

Resultados

En el Cuadro 1 se observa la descripción y conformidad de actividades del sistema de riego automatizado. Mediante un Check list, se identificó 21 actividades divididas en dos partes: la primera parte es la instalación del sistema de riego y la segunda parte del sistema de automatización. Los resultados obtenidos no permiten identificar claramente las actividades mediante el Check list del sistema de riego automatizado a realizar de acuerdo al tiempo de su duración de cada una, este tiempo de duración es en días.

Cuadro 1: Listado de actividades del sistema de riego automatizado.

| ACTIVIDADES | CHECK LIST |
|---|------------|
| 1. Instalación de sistema de riego | |
| Replanteo topográfico | X |
| Apertura de zanjas para la instalación de matrices | X |
| Instalación de tuberías matrices | X |
| Apertura de zanja para la instalación de divisoras | X |
| Instalación de tuberías divisoras | X |
| Tapado de zanja matriz | X |
| Tapado de zanja divisora | X |
| Armado de arco de riego | X |
| Instalación de arcos de riego en campo | X |
| Instalación de sistema de filtrado (incluye ingreso y salida PVC) | X |
| Tendido de mangueras de riego | X |
| Lavado de tuberías | X |
| Pruebas hidráulicas y regulación de válvulas | X |
| Instalación de sistema de fertilización | X |
| 2. Instalación de sistema de automatización | |
| Montaje de controlador y componentes | X |
| Montaje de RTU RF en campo | X |
| Purga de micro tubos 8 mm | X |
| Prueba de mandos hidráulicos | X |
| Pruebas de pulso de Dream a solenoides | X |
| Prueba de riego en automático | X |
| Capacitación | X |

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la Tabla 1 se observa el cálculo de la cuota, intereses y la amortización en forma anual hasta el año 5. Para poder iniciar las actividades como proyecto se necesita S/. 1,150,773.87, de los cuales la empresa solo aportara S/. 850,773.87, la diferencia a un préstamo bancario a una TEA=30% a un periodo de 5 años, este préstamo bancario genera un cuota anual de S/. 123,174.46, un interés total en los 5 años de S/. 315,872.32. Estos intereses se conocen como costo financiero de las actividades del sistema de riego automatizado.

Tabla 1. Cálculo de la cuota, interés y la amortización en soles.

| PRÉSTAMO (TEA=30%) | | | | |
|--------------------|----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|
| | SALDO DE DEUDA | CUOTA | INTERES | AMORTIZACION |
| 1 | S/. 300,000.00 | S/. 123,174.46 | S/. 90,000.00 | S/. 33,174.46 |
| 2 | S/. 266,825.54 | S/. 123,174.46 | S/. 80,047.66 | S/. 43,126.80 |
| 3 | S/. 223,698.73 | S/. 123,174.46 | S/. 67,109.62 | S/. 56,064.85 |
| 4 | S/. 167,633.89 | S/. 123,174.46 | S/. 50,290.17 | S/. 72,884.30 |
| 5 | S/. 94,749.59 | S/. 123,174.46 | S/. 28,424.88 | S/. 94,749.59 |
| | | | S/. 315,872.32 | S/. 300,000.00 |

Fuente: Elaboración propia, 2016

En el Cuadro 2 se observan las actividades, su duración en días y sus predecesores de cada actividad del sistema de riego automatizado. Con estos datos se podrá elaborar una adecuada programación de actividades con su duración y saber cuál actividad es primero mediante las actividades predecesoras.

Con los resultados obtenidos se podrá construir un diagrama PERT con su duración en días y sus predecesores.

Cuadro 2: Listado de actividades con su duración (días) y sus predecesores.

| | ACTIVIDADES | Duración (días) | Predecesor |
|---|---|-----------------|------------|
| | 1. Instalación de sistema de riego | | |
| A | Replanteo topográfico | 4 | - |
| B | Apertura de zanjas para la instalación de matrices | 12 | A |
| C | Instalación de tuberías matrices | 20 | B |
| D | Apertura de zanja para la instalación de divisoras | 12 | C |
| E | Instalación de tuberías divisoras | 15 | D |
| F | Tapado de zanja matriz | 5 | E |
| G | Tapado de zanja divisora | 15 | F |
| H | Armado de arco de riego | 4 | G |
| I | Instalación de arcos de riego en campo | 5 | H |
| J | Instalación de sistema de filtrado (incluye ingreso y salida PVC) | 15 | I |
| K | Tendido de mangueras de riego | 17 | J |
| L | Lavado de tuberías | 7 | K |
| M | Pruebas hidráulicas y regulación de válvulas | 3 | L |
| N | Instalación de sistema de fertilización | 7 | M |
| | 2. Instalación de sistema de automatización | | |
| O | Montaje de controlador y componentes | 6 | J |
| P | Montaje de RTU RF en campo | 4 | O |
| Q | Purga de micro tubos 8 mm | 6 | P |
| R | Prueba de mandos hidráulicos | 4 | Q |
| S | Pruebas de pulso de Dream a solenoides | 2 | R |
| T | Prueba de riego en automático | 2 | S |
| U | Capacitación | 1 | N |

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la Figura 1 se observa el cálculo de las holguras mediante el software WinQSB, donde nos indica que no se dispone de holguras desde la actividad A hasta N, estas actividades no pueden retrasarse sin afectar el proyecto general son actividades críticas. En cambio las actividades desde la O hasta la U presentan holguras, esto significa que dichas actividades se pueden retrasar hasta 9.25 días sin retrasar el proyecto.

Con los resultados se podrá identificar las holguras de cada actividad y la ruta crítica de las actividades

| 06-25-2016 17:55:41 | Activity Name | On Critical Path | Activity Mean Time | Earliest Start | Earliest Finish | Latest Start | Latest Finish | Slack (LS-ES) | Activity Time Distribution | Standard Deviation |
|------------------------|------------------|---------------------|-----------------------|-------------------|--------------------|-----------------|------------------|------------------|-------------------------------|-----------------------|
| 1 | A | Yes | 4 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 2 | B | Yes | 12 | 4 | 16 | 4 | 16 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 3 | C | Yes | 20 | 16 | 36 | 16 | 36 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 4 | D | Yes | 12 | 36 | 48 | 36 | 48 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 5 | E | Yes | 15 | 48 | 63 | 48 | 63 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 6 | F | Yes | 5 | 63 | 68 | 63 | 68 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 7 | G | Yes | 15 | 68 | 83 | 68 | 83 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 8 | H | Yes | 4 | 83 | 87 | 83 | 87 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 9 | I | Yes | 5 | 87 | 92 | 87 | 92 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 10 | J | Yes | 15 | 92 | 107 | 92 | 107 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 11 | K | Yes | 17 | 107 | 124 | 107 | 124 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 12 | L | Yes | 7 | 124 | 131 | 124 | 131 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 13 | M | Yes | 3 | 131 | 134 | 131 | 134 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 14 | N | Yes | 7 | 134 | 141 | 134 | 141 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 15 | O | no | 6 | 107 | 113 | 116.25 | 122.25 | 9.25 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 16 | P | no | 4 | 113 | 117 | 122.25 | 126.25 | 9.25 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 17 | Q | no | 5.6667 | 117 | 122.6667 | 126.25 | 131.9167 | 9.25 | 3-Time estimate | 1 |
| 18 | R | no | 4 | 122.6667 | 126.6667 | 131.9167 | 135.9167 | 9.25 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 19 | S | no | 2 | 126.6667 | 128.6667 | 135.9167 | 137.9167 | 9.25 | 3-Time estimate | 0.3333 |
| 20 | T | no | 2 | 128.6667 | 130.6667 | 137.9167 | 139.9167 | 9.2500 | 3-Time estimate | 0.3333 |
| 21 | U | no | 1.0833 | 130.6667 | 131.7500 | 139.9167 | 141 | 9.2500 | 3-Time estimate | 0.25 |
| | Project | Completion | Time | = | 141 | DIAs | | | | |
| | Number of | Critical | Path(s) | = | 1 | | | | | |

Figura 1. Cálculo de las holguras de la programación en el software WinQSB.

Fuente: Software WinQSB ver. 2.00, 2016

En la Figura 2 se observa el llenado de datos en el software WinQSB como las actividades y sus predecesoras, los tiempos pesimistas, normales, optimistas: para poder calcular el tiempo esperado de cada actividad en la programación PERT.

| Activity Number | Activity Name | Immediate Predecessor (list number/name, separated by ',') | Optimistic time (a) | Most likely time (m) | Pessimistic time (b) |
|-----------------|---------------|--|---------------------|----------------------|----------------------|
| 1 | A | | 2 | 4 | 6 |
| 2 | B | A | 10 | 12 | 14 |
| 3 | C | B | 18 | 20 | 22 |
| 4 | D | C | 10 | 12 | 14 |
| 5 | E | D | 13 | 15 | 17 |
| 6 | F | E | 3 | 5 | 7 |
| 7 | G | F | 13 | 15 | 17 |
| 8 | H | G | 2 | 4 | 6 |
| 9 | I | H | 3 | 5 | 7 |
| 10 | J | I | 13 | 15 | 17 |
| 11 | K | J | 15 | 17 | 19 |
| 12 | L | K | 5 | 7 | 9 |
| 13 | M | L | 1 | 3 | 5 |
| 14 | N | M | 5 | 7 | 9 |
| 15 | O | J | 4 | 6 | 8 |
| 16 | P | O | 2 | 4 | 6 |
| 17 | Q | P | 2 | 6 | 8 |
| 18 | R | Q | 2 | 4 | 6 |
| 19 | S | R | 1 | 2 | 3 |
| 20 | T | S | 1 | 2 | 3 |
| 21 | U | T | 0.5 | 1 | 2 |

Figura 2. Listado de actividades en el software WinQSB y sus tiempos pesimista, normal y optimista.

Fuente: Software WinQSB ver. 2.00, 2016

En la Figura 3 se observa la obtención de datos en el software WinQSB como las varianzas, desviación estándar, tiempo esperado y la ruta crítica. La ruta crítica obtenida está en las actividades A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L-M-N con un total de 141 días.

| 06-25-2016 17:55:41 | Activity Name | On Critical Path | Activity Mean Time | Earliest Start | Earliest Finish | Latest Start | Latest Finish | Slack (LS-ES) | Activity Time Distribution | Standard Deviation |
|---------------------|---------------|------------------|--------------------|----------------|-----------------|--------------|---------------|---------------|----------------------------|--------------------|
| 1 | A | Yes | 4 | 0 | 4 | 0 | 4 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 2 | B | Yes | 12 | 4 | 16 | 4 | 16 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 3 | C | Yes | 20 | 16 | 36 | 16 | 36 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 4 | D | Yes | 12 | 36 | 48 | 36 | 48 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 5 | E | Yes | 15 | 48 | 63 | 48 | 63 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 6 | F | Yes | 5 | 63 | 68 | 63 | 68 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 7 | G | Yes | 15 | 68 | 83 | 68 | 83 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 8 | H | Yes | 4 | 83 | 87 | 83 | 87 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 9 | I | Yes | 5 | 87 | 92 | 87 | 92 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 10 | J | Yes | 15 | 92 | 107 | 92 | 107 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 11 | K | Yes | 17 | 107 | 124 | 107 | 124 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 12 | L | Yes | 7 | 124 | 131 | 124 | 131 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 13 | M | Yes | 3 | 131 | 134 | 131 | 134 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 14 | N | Yes | 7 | 134 | 141 | 134 | 141 | 0 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 15 | O | no | 6 | 107 | 113 | 116.25 | 122.25 | 9.25 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 16 | P | no | 4 | 113 | 117 | 122.25 | 126.25 | 9.25 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 17 | Q | no | 5.6667 | 117 | 122.6667 | 126.25 | 131.9167 | 9.25 | 3-Time estimate | 1 |
| 18 | R | no | 4 | 122.6667 | 126.6667 | 131.9167 | 135.9167 | 9.25 | 3-Time estimate | 0.6667 |
| 19 | S | no | 2 | 126.6667 | 128.6667 | 135.9167 | 137.9167 | 9.25 | 3-Time estimate | 0.3333 |
| 20 | T | no | 2 | 128.6667 | 130.6667 | 137.9167 | 139.9167 | 9.2500 | 3-Time estimate | 0.3333 |
| 21 | U | no | 1.0833 | 130.6667 | 131.7500 | 139.9167 | 141 | 9.2500 | 3-Time estimate | 0.25 |
| Project | | Completion | Time | = | 141 | DIAs | | | | |
| Number of | | Critical | Path(s) | = | 1 | | | | | |

Figura 3: Obtención datos en el software WinQSB de las varianzas, desviación estándar, tiempo esperado y la ruta crítica.

Fuente: Software WinQSB ver. 2.00, 2016

En la Figura 4 se observa el cálculo de la probabilidad de realizar las actividades usando en método PERT en el software WinQSB en 150 días ya que el método PERT es un método probabilístico. Según el cálculo la probabilidad de acabar en 150 días es de 99.98 %.

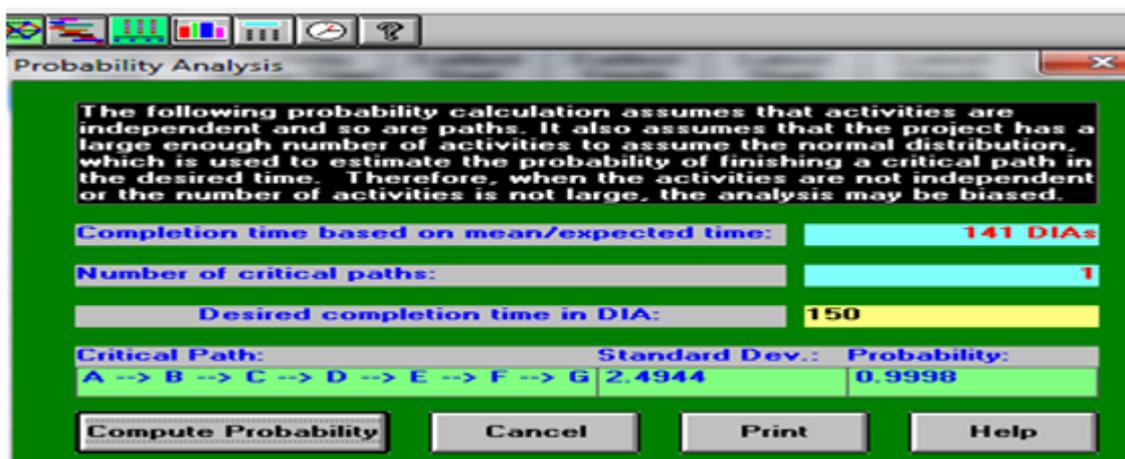


Figura 4: Cálculo del análisis de la probabilidades de la terminación de actividades en el software WinQSB

Fuente: Software WinQSB ver. 2.00, 2016

Los resultados de la variable dependiente reducción de costos fueron los siguientes resultados. Con respecto al resultado de los tiempos de operación se mejoró la operación ya que el sistema de riego automatizado en su origen estaba en operación manual y con la mejora de la operación automático se tiene un mayor control de los tiempos y los costos, reduciéndolos significativamente. En el resultado de ahorro de recursos, se mejoró la optimización de recursos como la mano de obra y la de consumo de agua. En ambos casos hay un ahorro considerable de recursos que se traduce en mayor rentabilidad.

En Tabla 2 se observa la comparación de la demora del tiempo de apertura y cierre manual o automática mensualizado del sistema de riego automatizado. En la apertura y cierre manual se demora en toda la operación 474.50 horas en comparación con la apertura y cierre automática que solo alcanza los 4.75 horas en toda la operación. En la Tabla 3 se observa el costo de apertura y cierre mensual en soles de la operación manual y automático. El costo total de la operación manual es de S/. 2,174.79 en comparación con el costo total de la operación automática S/. 21.75 esto nos indica que hay una diferencia en el costo de la operación manual y automática de S/. 2,153.04 que representa un 99 % más en costo por parte de la operación manual.

En la Figura 5 se observan la tendencia polinómica del tiempo en minutos de apertura y cierre manual con la función $y = 0.0038x^6 - 0.154x^5 + 2.4375x^4 - 19.064x^3 + 75.838x^2 - 138.92x + 263.7$ con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.5239$ y la tendencia polinómica del tiempo de apertura y cierre automático con la función $y = 4E-05x^6 - 0.0015x^5 + 0.0244x^4 - 0.1906x^3 + 0.7584x^2 - 1.3892x + 2.637$ con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.5239$.

Tabla 2: Tiempo de apertura y cierre mensual en horas de la operación manual y automático.

| Mes | Tiempo de demora mensual apertura y cierre manual del sistema automatizado (horas) | Tiempo de demora mensual apertura y cierre automático del sistema automatizado (horas) |
|------------|--|--|
| ENERO | 40.30 | 0.40 |
| FEBRERO | 36.40 | 0.36 |
| MARZO | 40.30 | 0.40 |
| ABRIL | 39.00 | 0.39 |
| MAYO | 40.30 | 0.40 |
| JUNIO | 39.00 | 0.39 |
| JULIO | 40.30 | 0.40 |
| AGOSTO | 40.30 | 0.40 |
| SEPTIEMBRE | 39.00 | 0.39 |
| OCTUBRE | 40.30 | 0.40 |
| NOVIEMBRE | 39.00 | 0.39 |
| DICIEMBRE | 40.30 | 0.40 |
| TOTAL | 474.50 | 4.75 |

Fuente: Elaboración propia, 2016

Tabla 3: Costo de apertura y cierre mensual en soles de la operación manual y automático.

| Mes | Costo del tiempo de demora de apertura y cierre manual del sistema automatizado | Costo del tiempo de demora de apertura y cierre manual del sistema automatizado |
|------------|---|---|
| ENERO | S/. 184.71 | S/. 1.85 |
| FEBRERO | S/. 166.83 | S/. 1.67 |
| MARZO | S/. 184.71 | S/. 1.85 |
| ABRIL | S/. 178.75 | S/. 1.79 |
| MAYO | S/. 184.71 | S/. 1.85 |
| JUNIO | S/. 178.75 | S/. 1.79 |
| JULIO | S/. 184.71 | S/. 1.85 |
| AGOSTO | S/. 184.71 | S/. 1.85 |
| SEPTIEMBRE | S/. 178.75 | S/. 1.79 |
| OCTUBRE | S/. 184.71 | S/. 1.85 |
| NOVIEMBRE | S/. 178.75 | S/. 1.79 |
| DICIEMBRE | S/. 184.71 | S/. 1.85 |
| TOTAL | S/. 2,174.79 | S/. 21.75 |

Fuente: Elaboración propia, 2016



Figura 5: Comparativo del costo mensualizado en soles de la apertura y cierre manual o automático.

Fuente: Elaboración propia, 2016

En la Figura 6 se observa el comparativo de operarios por turno de operación, siendo lo más resaltante la opción de operación automático ya que solo se necesitaría solo 4 operarios en toda la operación de un día a diferencia de la operación manual que necesitaría 6 operarios.

En el Cuadro 3 se observa el comparativo del costo de la mano de obra en la operación manual (S/. 85,800.00) y automático (S/. 57,200.00) en un año de operación. Esto nos indica que hay una diferencia de costo de mano de obra entre la operación manual y automática de S/. 28,600.00 que representa un 33% más de costo de la mano de obra.

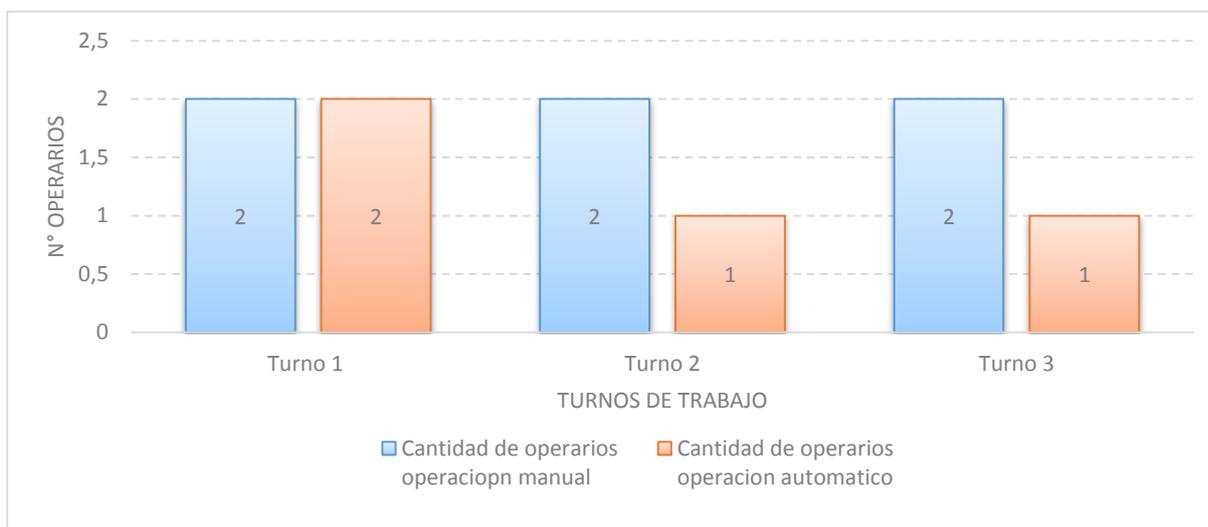


Figura 6: Comparativo de operarios en turno de trabajo entre la operación manual y automática.

Fuente: Elaboración propia, 2016

Cuadro 3: Costo de la mano de obra en soles de la operación manual y automático

| Mes | Operación manual | Operación automático |
|-----------|--------------------------------------|--|
| Enero | S/. 6,600.00 | S/. 4,400.00 |
| Febrero | S/. 6,600.00 | S/. 4,400.00 |
| Marzo | S/. 6,600.00 | S/. 4,400.00 |
| Abril | S/. 6,600.00 | S/. 4,400.00 |
| Mayo | S/. 6,600.00 | S/. 4,400.00 |
| Junio | S/. 6,600.00 | S/. 4,400.00 |
| Julio | S/. 9,900.00 | S/. 6,600.00 |
| Ago | Cantidad operarios operación manual. | Cantidad de operarios operación automática |
| Sept | | |
| Octubre | S/. 6,600.00 | S/. 4,400.00 |
| Noviembre | S/. 6,600.00 | S/. 4,400.00 |
| Diciembre | S/. 9,900.00 | S/. 6,600.00 |
| | S/. 85,800.00 | S/. 57,200.00 |

Fuente: Elaboración propia, 2016

En el Cuadro 4 se observa el comparativo del consumo de agua mensual (m³) de la operación manual y automático de sistema automatizado. En el consumo de agua de la operación manual en el año es de 2,294,809.50 m³ en comparación con el consumo de agua de la operación automática 2,024,527.00 m³ esto nos indica que hay una diferencia de consumo de agua de entre la operación manual y automática de 270,282.50 m³ que representa un 11.77% más de consumo de agua por parte de la operación manual. En el Cuadro 5 se observa el comparativo del costo de consumo de agua mensual en soles de la operación manual y automático. El costo total del consumo de agua de la operación manual es de S/. 202,452.70 en comparación con el costo total del consumo de agua de la operación automática S/. 202,452.70 esto nos indica que hay una diferencia en el costo del consumo de agua de entre la operación manual y automática

de S/. 27,028.25 que representa un 11.77 % más en costo del consumo de agua por parte de la operación manual.

En la Figura 7 se muestran las tendencias polinómica del consumo de agua de la operación manual con la función $y = 0.8253x^6 - 30.199x^5 + 412.96x^4 - 2531.7x^3 + 6347.2x^2 - 3712x + 17785$ con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.9764$ y la tendencia de polinómica del consumo de agua de la operación automático con la función $y = 0.7779x^6 - 28.285x^5 + 382.67x^4 - 2294.8x^3 + 5404.7x^2 - 1985.5x + 14508$ con un coeficiente de determinación $R^2 = 0.9797$.

Cuadro 4: Consumo de agua (m3) mensual de la operación manual y automático

| MESES | M3 OPERACIÓN MANUAL | M3 OPERACIÓN AUTOMÁTICO |
|------------|---------------------|-------------------------|
| ENERO | 183,644.00 | 160,688.50 |
| FEBRERO | 207,340.00 | 186,606.00 |
| MARZO | 229,555.00 | 206,599.50 |
| ABRIL | 199,935.00 | 177,720.00 |
| MAYO | 183,644.00 | 160,688.50 |
| JUNIO | 155,505.00 | 133,290.00 |
| JULIO | 160,688.50 | 137,733.00 |
| AGOSTO | 160,688.50 | 137,733.00 |
| SEPTIEMBRE | 177,720.00 | 155,505.00 |
| OCTUBRE | 183,644.00 | 160,688.50 |
| NOVIEMBRE | 199,935.00 | 177,720.00 |
| DICIEMBRE | 252,510.50 | 229,555.00 |
| TOTAL | 2,294,809.50 | 2,024,527.00 |

Fuente: Elaboración propia, 2016

Cuadro 5: Costo del consumo de agua (m3) mensual en soles de la operación manual y automático

| Meses | Costo consumo de agua operación manual | Costo consumo de agua operación automático |
|------------|--|--|
| Enero | S/. 18,364.40 | S/. 16,068.85 |
| Febrero | S/. 20,734.00 | S/. 18,660.60 |
| Marzo | S/. 22,955.50 | S/. 20,659.95 |
| Abril | S/. 19,993.50 | S/. 17,772.00 |
| Mayo | S/. 18,364.40 | S/. 16,068.85 |
| Junio | S/. 15,550.50 | S/. 13,329.00 |
| Julio | S/. 16,068.85 | S/. 13,773.30 |
| Agosto | S/. 16,068.85 | S/. 13,773.30 |
| Septiembre | S/. 17,772.00 | S/. 15,550.50 |
| Octubre | S/. 18,364.40 | S/. 16,068.85 |
| Noviembre | S/. 19,993.50 | S/. 17,772.00 |
| Diciembre | S/. 25,251.05 | S/. 22,955.50 |
| Total | S/. 229,480.95 | S/. 202,452.70 |

Fuente: Elaboración propia, 2016

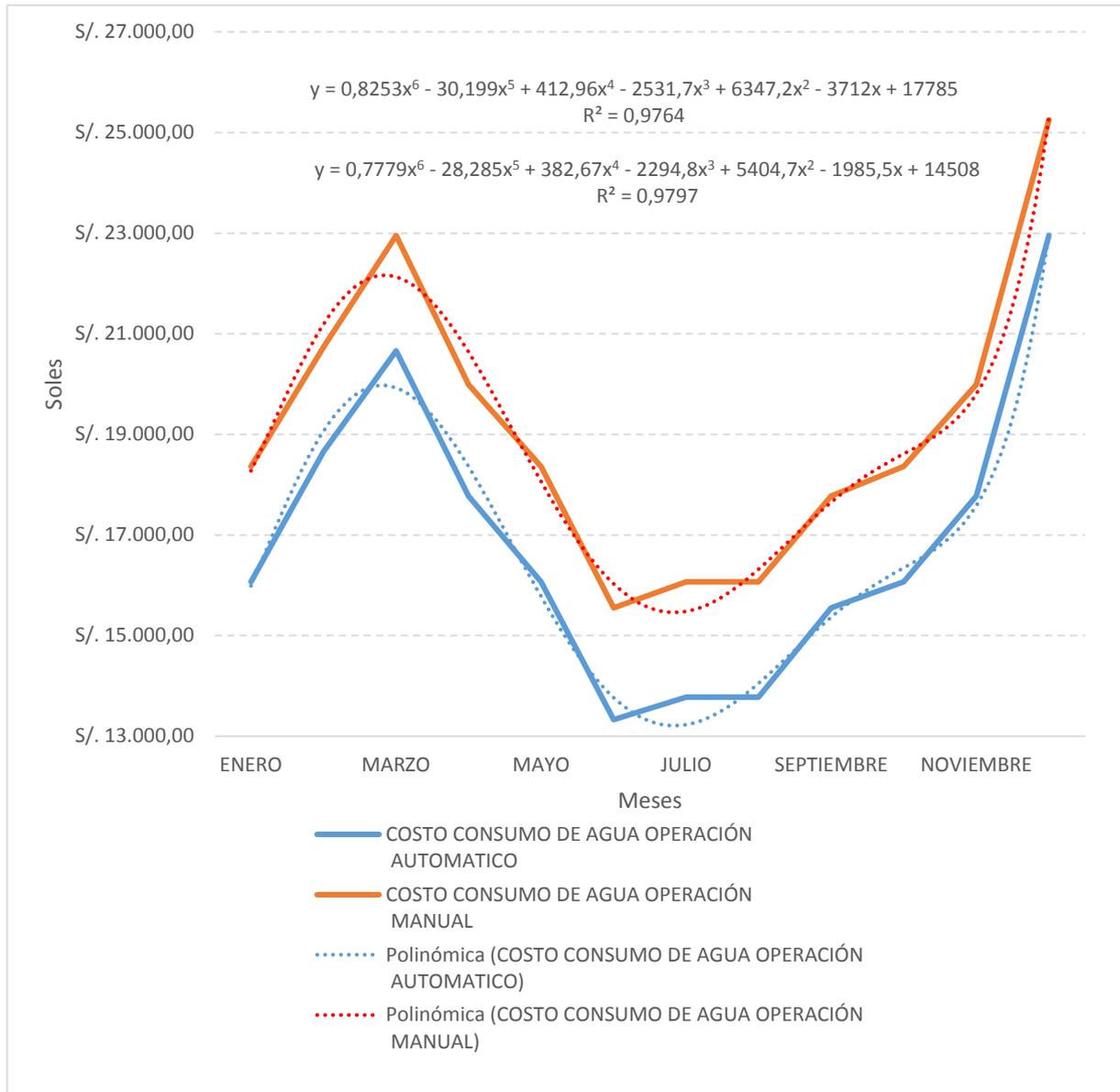


Figura 7. Comparativo del costo del consumo de agua mensual (m³) en la operación manual y automático.

Fuente: Elaboración propia, 2016

Con los resultados obtenidos se podrá comparar el costo de la mano de obra, la cantidad de operarios para la operación, el consumo de agua y el costo para las dos operaciones en forma manual y automática, y adicionalmente se podrá tomar la decisión de orientarse más al automatismo de la operación y compararlo con el ahorro de recursos.

Discusión

En el desarrollo de esta investigación con referente a los resultados de actividades, se realizó una lista de actividades con personal afines para poder lograr un consenso de dichas actividades, para lo cual mediante la elaboración de un Check list de obtuvieron 21 actividades principales. Cabe mencionar que esta identificación es muy importante para la realización del método PERT, al respecto Adaya, (2014) menciona que para aplicar CPM o PERT se requiere conocer la lista de actividades que incluye un proyecto.

En los resultados obtenidos de costos financieros, se realizó la elaboración de un flujo de caja con préstamo bancario para determinar el costo financiero. Esto ayudará a planificar y el apoyo en gestión para que se complete a tiempo las actividades, ya que existen compromisos financieros y administrativos. Esto también concuerda con Murillo (2015), la gestión de los costos del proyecto incluye los procesos relacionados con planificar, estimar, presupuestar, financiar, obtener financiamiento, gestionar y controlar los costos de modo que se complete el proyecto dentro del presupuesto aprobado.

Con los resultados obtenidos de tiempo de actividades, se podrá elaborar una adecuada programación de actividades con sus tiempos (optimista, pesimista y más probable) y saber cuál actividad es primero mediante las actividades predecesoras, esto concuerda también Adaya (2014), para cada actividad, puede existir un conjunto de actividades predecesoras que deben de ser completadas antes de que comience la nueva actividad. Se construye una malla o red del proyecto para graficar relaciones de precedencia entre las actividades

Con los resultados de holguras se podrá identificar las holguras de cada actividad y la ruta crítica existente, cabe mencionar que la holgura de un suceso es el margen de tiempo que se tiene para alcanzar dicho suceso. Cuando este margen es nulo, se dice que el suceso es crítico. En cambio Terrazas (2011), señala que las holguras o márgenes (H) son definidas de una manera general como la diferencia entre los tiempos tardíos y tempranos cabe mencionar que existen tres tipos de holguras la libre, la no lo libre y la total.

En los resultados obtenidos de ruta crítica, se calculó el tiempo esperado de cada actividad con sus varianzas para determinar la ruta crítica, en cambio Escallón (2015), manifiesta que el método de la ruta o camino crítico es un proceso administrativo de planeación, ejecución y control de todas y cada una de las actividades y componentes de un proyecto que deben desarrollarse dentro de un tiempo crítico al costo óptimo. El autor también indica que si en el caso que existan dos o más rutas críticas, deberá utilizarse en la distribución de los tiempos de finalización el de mayor varianza.

Con respecto a los resultados de la variable dependiente sobre la reducción de tiempos de operación manual y automático se determinó que existe diferencia entre una y otra operación. Para ello Salvador y otros (2007) manifiestan que el sistema automatizado reduce considerablemente los tiempos de operación en la fluidización de la harina en los silos de recibo en comparación a una operación manual. También Torres (2010), menciona que la automatización de un proceso de producción no tiene como finalidad desplazar al ser humano en operación manual. Su principal objetivo es salvaguardar la seguridad y eliminar la rutina humana en su operación manual, que solo provoca desperdicios de la producción si no también consumo de energía elevados, todo esto genera altos costos de producción. Al respecto también Domínguez y col (2009), menciona que los costos actuales de la empresa son muy altos con la operación manual comparados con los que podría realizar al automatizar su maquinaria, ya que con su maquinaria automatizada sería capaz de cubrir la totalidad de la demanda de envase.

En los resultados de ahorro de recursos se determinó que la operación automática optimiza los recursos, como mano de obra y consumo de agua, también Torres (2010), manifiesta que la productividad de las personas es de 1800 piezas al mes con un total de ventas al mes de S/. 18,000 en comparación de un sistema automático con una productividad de 50,400 piezas al mes con un total de ventas al mes de s/. 50,400 en una línea de producción de envases de vidrio. Adicionalmente compara el autor que la operación manual tiene menos utilidad por mes que el proceso automatizado.

También Pérez (2015), muestra la estimación del ahorro por concepto de mano de obra el cual ronda los \$4 600 por mes, además de las cargas sociales por el mismo concepto, en caso de prescindir de los servicios de los funcionarios. Adicionalmente el autor indica que la automatización propuesta, es que se lograría reducir el número de plazas que operan dicha área, pasando de seis personas por turno en la actualidad a cuatro personas por turno cuando se implemente la propuesta si se hace efectiva. Lo que ahorraría el equivalente a los salarios de seis operadores y permitiría un retorno de inversión acelerado (en tan solo tres meses), o en su

defecto abre la posibilidad de reubicar seis operarios a otras áreas de la empresa, donde requieran más mano de obra.

Adicionalmente Guerrero (2010), indica que de acuerdo al fabricante ACMA la máquina de embalaje 4000T, produce 170 piezas de jabón por min. En un sistema automatizado 3 obreros y 1 supervisor de línea hacen 10 200 jabones por hora lo que nos da 214 200 pastillas por jornada laboral, mientras que con un sistema sin automatizar 9 obreros y 1 supervisor de línea hacen 150 jabones por hora, lo que da 3600 jabones por día.

Conclusiones

Se mejoró notablemente la programación de actividades ya que anteriormente existían demasiadas actividades en diferentes unidades y con tiempos elevados para su ejecución, dichas actividades se ordenaron y se generó una lista nueva con 21 actividades en una sola unidad.

Que la demora de las actividades de un proyecto eleva los costos financieros ya que muchos de ellos trabajan con préstamos bancarios de los cuales genera intereses, ya que existen compromisos comerciales y administrativos.

La eficiencia de los tiempos de las actividades se mejoró a partir de la determinación de 21 actividades, estas actividades se calculó sus tiempos (optimista, pesimista y más probable) en una sola unidad con sus predecesoras para facilitar la creación del diagrama PERT.

En el tema de las holguras las que tienen valor cero no pueden retrasarse ya que generaran retrasos en las actividades y prolongaran la ruta crítica. Por tal razón no debe de retrasarse ninguna actividad ya que existen plazos que cumplir o de entrega.

La demora en la ruta crítica es por las holguras iguales a cero, ya que estas prolongan o alargan la ruta crítica. Adicionalmente el cálculo de la ruta crítica sirve para usar la estadística para poder determinar si las actividades se pueden terminar en más tiempo de lo programado.

Referencias bibliográficas

- Adaya, C. (2014). Administración de proyectos con CPM, PERT y Project (Cambio del anclaje superior del puente río Papaloapan). Tesis para obtener el título de Ingeniero Civil. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería y Arquitectura. México D.F - México. pp. 135.
- Carranza, W., y Paternina, A., Carlos D. (2015). Asignación de recursos limitados en la programación de proyectos usando simulación. Artículo científico. Universidad del Norte, Facultad de Ingeniería Industrial. Barranquilla, Colombia. 2015. pp. 15.
- Dominguez, J., Gonzalez, Genaro., Peralta, J., y Maldonado C. (2009). Automatización de una sopladora de plástico. Tesina. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. México D.F-México. pp 88.
- Escallon, H., Ordoñez, K. (2015). Herramientas de gestión del tiempo en las etapas de planeación y seguimiento de los proyectos. Trabajo de grado presentado como requisito para optar el Título: Especialista en Gestión Integral de Proyectos. Universidad San Buenaventura – Cali, Facultad de Ingeniería. Santiago de Cali. pp. 51.
- Pérez, E. (2015). Propuesta de automatización en bodega de producto terminado en industria manufacturera de productos de higiene personal en Costa Rica. InterSedes. Vol. XVI. (34-2015) ISSN: 22152458 . Costa Rica. pp. 20.
- Guerrero, L., Carbajal, S., Vega, M. (2010). Automatización en la máquina de empacado de jabón de tocador. Tesis de grado. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. México DF-México. pp.126.

- Hansen, R., Maryanne, M. (2007). Administración de costos. Contabilidad y control. Quinta edición. Cengage Learning Editores, S.A. México. 2007. 1035 p. ISBN13: 9786074813432 / ISBN10: 6074813434
- Murillo, J., y Oviedo, I. (2015). Adaptación e integración de proyectos tecnológicos de conectividad -Red LAN - a los estándares del Project Management Institute PMI como modelo para la gestión de proyectos tecnológicos en instituciones públicas gubernamentales en Medellín. Corporación Universitaria Minuto de Dios, Facultad de Educación Virtual y Distancia, Monografía para optar el título de: Especialización en Gerencia de Proyectos. Bello, Antioquia. pp 67.
- Project Management Institute. (2013). Guía de los fundamentos para la dirección de proyectos (Guía del PMBOK®). Quinta edición. Estados Unidos. pp 244-245 ISBN: 9781628250091
- Salvador, A., Licea, J., Rodríguez, I., Sánchez, G., Velásquez, Gabriel. (2007). Automatización en la fluidización de harina en silos de recibo. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica. Seminario de titulación. México D.F-México.
- Terrazas, R. (2011) Planificación y programación de operaciones Artículo científico. Departamento de Administración, Economía y Finanzas. Año 14, N° 28, 2 da serie ISSN: 19943733. pp. 31.
- Torres, L. (2010). Automatización en línea de producción de envases de vidrio. Instituto Politécnico Nacional. Escuela Superior de Ingeniería Mecánica y Eléctrica Tesis de grado. México D.F-México.
- Yepes, V. (2016). Orígenes de PERT CPM. 2016. [fecha de consulta: 09 marzo 2016]. Disponible en: <http://procedimientosconstruccion.blogs.upv.es/2013/07/26/los-origenes-del-pert-y-del-cpm>.