



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES

CARRERA DE COMERCIO INTERNACIONAL

DETERMINACIÓN PROBABILÍSTICA DE LA DURACIÓN DE UN
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA INDUSTRIAL
MEDIANTE EL PERT Y EL CPM.

PALACIOS HONORES ALONSO DAVID
INGENIERO EN COMERCIO INTERNACIONAL

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES

CARRERA DE COMERCIO INTERNACIONAL

DETERMINACIÓN PROBABILÍSTICA DE LA DURACIÓN DE UN
PROYECTO DE CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA INDUSTRIAL
MEDIANTE EL PERT Y EL CPM.

PALACIOS HONORES ALONSO DAVID
INGENIERO EN COMERCIO INTERNACIONAL

MACHALA
2020



UTMACH

FACULTAD DE CIENCIAS EMPRESARIALES
CARRERA DE COMERCIO INTERNACIONAL

EXAMEN COMPLEXIVO

DETERMINACIÓN PROBABILÍSTICA DE LA DURACIÓN DE UN PROYECTO DE
CONSTRUCCIÓN DE UNA PLANTA INDUSTRIAL MEDIANTE EL PERT Y EL CPM.

PALACIOS HONORES ALONSO DAVID
INGENIERO EN COMERCIO INTERNACIONAL

AGUILAR ORDOÑEZ LUIS RAMIRO

MACHALA, 03 DE DICIEMBRE DE 2020

MACHALA
03 de diciembre de 2020

Trabajo Complexivo

por David Alonso Palacios Honores

Fecha de entrega: 19-nov-2020 04:08p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 1451494197

Nombre del archivo: David_Palacios_Complexivo_Itima_correcci_n.docx (495.26K)

Total de palabras: 3882

Total de caracteres: 20478

CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

El que suscribe, PALACIOS HONORES ALONSO DAVID, en calidad de autor del siguiente trabajo escrito titulado Determinación probabilística de la duración de un proyecto de construcción de una planta industrial mediante el PERT y el CPM., otorga a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tiene potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

El autor declara que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

El autor como garante de la autoría de la obra y en relación a la misma, declara que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asume la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.

Machala, 03 de diciembre de 2020



PALACIOS HONORES ALONSO DAVID
0706071479

Resumen

La investigación de operaciones es una herramienta con enfoque científico cuya aplicación mejora la toma de decisiones en la realización de proyectos. En la actualidad es indispensable sacar el máximo provecho de los recursos, esto se puede traducir en que las empresas necesitan ser eficientes sobre todo con el factor tiempo, para lo cual se usa el PERT y el CPM. En esta investigación se identificó como problemática cómo el PERT y el CPM inciden en el tiempo de culminación de la construcción de una planta industrial en Puerto Bolívar; y, para dar solución a este problema se planteó como objetivo determinar la probabilidad de cumplimiento de la solicitud para la construcción de una planta industrial en Puerto Bolívar en 44 semanas. A través de un metodología descriptiva y usando la técnica de la revisión documental se pudo resolver un ejercicio de aplicación en seis etapas. El PERT y el CPM se relacionan y permiten interpretar gráficamente una secuencia de actividades, identificar dónde no pueden existir retrasos, cuantificar el tiempo total de culminación de un proyecto y pronosticar la probabilidad de éxito en los casos donde se trabaja con dos tiempos, máximos y mínimos, a través de la tabla de distribución normal. En conclusión, el proyecto sí se puede terminar en 44 semanas con una probabilidad de éxito muy alta.

Palabras clave: Investigación de operaciones, toma de decisiones, proyectos, PERT, CPM.

Abstract

Operations research is a tool with a scientific approach whose application improves decision-making when carrying out projects. Currently it is essential to get the most out of resources, this can translate into companies needing to be efficient especially with the time factor, for which PERT and CPM are used. In this investigation it was identified as problematic how the PERT and the CPM affect the completion time of the construction of an industrial plant in Puerto Bolívar; In order to solve this problem, the objective was to determine the probability of compliance with the request for the construction of an industrial plant in Puerto Bolívar in 44 weeks. Through a descriptive methodology and using the technique of documentary review, an application exercise could be solved in six stages. PERT and CPM are related and allow a graphical interpretation of a sequence of activities, identify where there can be no delays, quantify the total completion time of a project and forecast the probability of success in cases where you work with two times, maximum and minimums, through the normal distribution table. In conclusion, the project can be completed in 44 weeks with a very high probability of success.

Keywords: Operations research, decision making, projects, PERT, CPM.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	6
1. DESARROLLO	8
1.1 Fundamentación teórica	8
1.1.1 <i>La investigación de operaciones.</i>	8
1.1.2 <i>Aplicación de la investigación de operaciones.</i>	8
1.1.3 <i>El PERT y su aplicación en proyectos del sector de la construcción.</i>	9
1.1.4 <i>El CPM y su aplicación en proyectos del sector de la construcción.</i>	11
1.2 Metodología de investigación	12
1.3 Reactivo práctico	12
2. CONCLUSIONES	15
Bibliografía	16
ANEXOS	18

LISTA DE TABLAS

	pág.
TABLA 1. Análisis y clasificación de las actividades del proyecto	13
TABLA 2. Identificación de la ruta crítica para el proyecto de construcción	14

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Clasificación de los tiempos inciertos en actividades de proyectos de construcción	10
Figura 2. Grafo del CPM para la planta industrial	13

LISTA DE ANEXOS

	pág.
A 1. Tabla de distribución normal para probabilidades de estadístico z	18

INTRODUCCIÓN

La reducción de los tiempos de duración de proyectos se remonta al año 1957 cuando en Estados Unidos, durante la Guerra Fría, surge un sistema de administración de proyecto denominado Programa de Evaluación y Revisión Técnica (PERT), que buscaba acelerar los tiempos de fabricación de los misiles Polaris (Carrasco, 2017). Su uso en la guerra años más tarde experimentaría una adaptación para poder aplicar este concepto en el sector de la construcción y producción.

Así mismo los autores Gómez y Orobio (2015) datan en su estudio que en 1957 también en Estados Unidos se desarrolló el concepto del Método de la Ruta Crítica (CPM) ante la necesidad de programar los proyectos para determinar su duración y la relación lógica entre las actividades, afirmando también que es el método más utilizado en la industria de la construcción. En Ecuador se han producido varios estudios en el campo de la investigación de operaciones, Ruiz y Pupo (2017) aplican el PERT y el CPM en una procesadora de camarón, Pupo, Ruiz y Pacheco (2018) en la industria de la producción de cerveza, y además existe una gran cantidad de estudios en repositorios académicos que desarrollan estos conceptos en casos de estudio del sector de la construcción.

La problemática identificada es contenida en la pregunta de investigación de cómo el PERT y el CPM inciden en el tiempo de culminación de la construcción de una planta industrial en Puerto Bolívar. Si bien las actividades de los proyectos de construcción responden a un orden secuencial y lógico, el CPM se pretende emplear para identificar dónde no deben existir retrasos, y el PERT para tener una mejor perspectiva del panorama del proyecto y estimar las posibilidades de culminarlo en distintos tiempos de duración.

La ventaja competitiva que esta investigación busca crear en quienes hagan uso de la información generada es permitirles tomar mejores decisiones y enseñarles a reducir el tiempo de demora de un proyecto de construcción usando PERT y CPM. Se planteó

como objetivo general determinar la probabilidad de cumplimiento de la solicitud para la construcción de una planta industrial en Puerto Bolívar en 44 semanas; específicamente se espera determinar el tiempo esperado de culminación del proyecto, identificar la serie crítica de actividades en un grafo mediante el CPM, y determinar la probabilidad del cumplimiento del requerimiento a través de un modelado matemático.

Se aplicó una metodología descriptiva no experimental de corte transversal, y se levantó información mediante la técnica de investigación de la revisión documental. Posterior a esta introducción, se presenta el desarrollo del reactivo práctico antecedido por la fundamentación teórica. Las conclusiones se presentan al final del documento, y sucesivamente se exponen las fuentes citadas en el apartado de bibliografía. Sin más que acotar se invita al lector a adentrarse en esta investigación titulada “El PERT y el CPM como herramientas importantes en la estimación de tiempos de duración en proyectos de construcción”.

1. DESARROLLO

1.1 Fundamentación teórica

1.1.1 *La investigación de operaciones*. El enfoque sistémico de este concepto lo define como una herramienta útil en la toma de decisiones basada en un método científico para plantear y resolver modelos matemáticos orientados a la optimización de resultados (Vega, Lao y Castellanos, 2016). La utilidad de la investigación de operaciones, en cualquier sector donde se aplique, radica en que permite realizar simulaciones hasta encontrar una situación donde se puedan obtener mejores resultados, y todo este proceso se respalda a través de un método técnico y cuantificable.

Los autores Velásquez y Chacha (2017) explican que la investigación de operaciones abarca un proceso ordenado el cual inicia con la observación del entorno, esto le permite formular el problema y recopilar datos, posteriormente se vale de la información para construir un modelo matemático y luego de haber sido validado obtiene soluciones. A raíz de los estudios antes citados se considera que el concepto de investigación de operaciones es muy amplio, es por ello que se necesita identificar el tipo de modelado matemático que se requiere para cada situación específica. A continuación se describen algunos de los campos y sectores de aplicación.

1.1.2 *Aplicación de la investigación de operaciones*. Este concepto no tan nuevo ha evolucionado a lo largo de los años, y de la mano su aplicación a distintos sectores también, detallando a continuación los principales:

- Según Vega et al. (2016) su primera aplicación fue durante la Revolución Industrial en el sector de la producción. En los estudios de Ruiz y Pupo (2017) y Pupo et al. (2018) se demuestra cómo hasta en los últimos cinco años se aplica en este sector, específicamente en el de la cervecería y la camaronicultura.

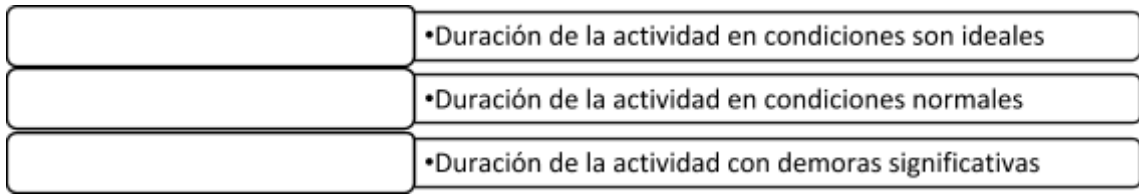
- De acuerdo con Carrasco (2017) estuvo presente durante la Guerra Fría en el sector militar; también manifiestan que se aplica en el sector de la construcción, siendo una herramienta muy útil para los arquitectos.
- El autor Geoffrion (como se citó en Vega et al., 2016) reporta una aplicación en el ámbito profesional y académico.
- La investigación de Hillier (como se citó en Vega et al., 2016) registra como que formó parte del campo de la informática a través del desarrollo de software.
- Según Velásquez y Chacha (2017) se aplica también en el campo de la logística, específicamente en la cadena de abastecimiento.

Sin duda alguna la investigación de operaciones tiene una alta practicidad y flexibilidad en su aplicación, volviéndola una herramienta gerencial muy útil. Considerando que en el presente estudio se busca resolver un problema del sector de la construcción, a continuación se presenta la fundamentación teórica de dos conceptos de la investigación de operaciones que según Anderson et al. (2016) son necesarios para dar solución al problema: El PERT y el CPM.

1.1.3 *El PERT y su aplicación en proyectos del sector de la construcción.* Los autores Flores, Gutiérrez y Briones (2016) lo definen como un método probabilístico útil para la estimación de la probabilidad de culminar a tiempo las actividades de un proyecto, es por ello que se usa en su programación. El PERT en la vida diaria se puede usar en distintos contextos y sirve para respaldar la toma de decisiones; por ejemplo, en este caso de estudio, sin tener claro el tiempo exacto que puede tardar en construirse una planta industrial, a través de este método de programación se puede determinar la probabilidad de que se entregue la obra en el tiempo que está solicitando el propietario.

Según Keefter y Verdini (como se citó en Enrique, Villagrán, Buenaño, Altamirano y Cruz, 2018) la aplicación del PERT, relacionando al sector de la construcción, es común en proyectos no repetitivos o con dificultad para estimar un tiempo de duración; o como expresan Anderson et al. (2016), Ballesteros, Larsen y González (2018) y Ramos y Flores (2016) de una manera más técnica, el PERT se usa para la gestión de tiempos de actividad inciertos, clasificados de la siguiente forma:

Figura 1. Clasificación de los tiempos inciertos en actividades de proyectos de construcción



Fuente: Extraído del estudio de Anderson et al. (2016) y Ballesteros et al. (2018)

De acuerdo con Anderson et al. (2016), cuando los tiempos de las actividades son inciertos, el PERT trabaja con un tiempo esperado (t) y se calcula con la siguiente fórmula:

$$t_{Actividad} = \frac{(a+4m+b)}{6} \quad (1)$$

Con la información obtenida, los autores Anderson et al. (2016) manifiestan que se puede identificar la variación de valores, para calcular esto se hace uso de la siguiente fórmula de la varianza:

$$\sigma^2_{Actividad} = \left[\frac{(b-a)}{6} \right]^2 \quad (2)$$

Posteriormente, Anderson et al. (2016) manifiestan que se hace uso del CPM para identificar la serie de actividades que conforman la ruta crítica, y a través de la suma de las varianzas de cada actividad se obtiene la varianza total del proyecto. Los autores indican que el siguiente paso es calcular la desviación estándar del proyecto a través de la siguiente fórmula:

$$\sigma = \sqrt{\sigma^2} \quad (3)$$

El último paso que determina la probabilidad de que el proyecto se concluya en un tiempo específico se ha segmentado en dos fases:

- 1) Se mide la diferencia entre el tiempo esperado y el tiempo hipotético de culminación del proyecto a través de la siguiente fórmula:

$$z = \frac{(x-\mu)}{\sigma} \quad (4)$$

- 2) Se usa el valor de z para a través de la Tabla de la distribución normal ...Ver A1... identificar la probabilidad.

1.1.4 *El CPM y su aplicación en proyectos del sector de la construcción.* El CPM es un procedimiento que se enfoca en identificar y prestar atención especial a la serie de actividades que no deben tener ningún retraso en el proyecto, ya que al hacerlo, la demora de su culminación será igual a la sumatoria de todos los retrasos experimentados en esa serie de actividades, según Ballesteros et al. (2018) y Pupo et al. (2018). En el sector de la construcción, la simultaneidad en la ocurrencia de actividades es algo común, sin embargo, entre todas las actividades en simultáneo al menos una no puede retrasarse, sino se retrasa la entrega de la obra; es aquí donde se aplica el CPM.

De acuerdo con Anderson et al. (2016) el CPM está más orientado a ser aplicado en proyectos industriales donde los tiempos de actividad son conocidos, teniendo como principio la relación existente entre el tiempo y los costos para reducir la duración de un proyecto en razón de los recursos materiales y humanos extra que se asignen. Sin embargo, también manifiestan que estas características en conjunto con las del PERT han permitido crear software de utilidad para el sector de la construcción.

El modelo de red del CPM se representa en un grafo que se lee de izquierda a derecha, contiene los tiempos de duración de cada actividad, y usa arcos dirigidos (flechas) para respetar la relación de precedencia entre estas (Ramos y Flores, 2016). Los estudios de

Ruiz y Pupo (2017) y Pupo et al. (2018) demuestran cómo el CPM permite identificar el tiempo de ejecución más temprano y el tiempo de culminación más tardío de las actividades, y así mismo sus holguras, a través de dos pasos:

- 1) El paso adelantado, recorriendo el grafo de izquierda a derecha y valiéndose de la suma de los tiempos de las actividades.
- 2) El paso retrasado, recorriendo el grafo de derecha a izquierda y valiéndose de la resta de los tiempos de las actividades.

1.2 Metodología de investigación

Esta investigación toma como referencia el estudio de Ruiz y Pupo (2017), se aplica la metodología descriptiva no experimental de corte transversal. Se utilizó la técnica de la revisión documental para el levantamiento de información desde repositorios de revistas científicas indexadas, repositorios académicos de universidades de prestigio y libros indexados. El estudio se desarrolla en las siguientes etapas:

- 1) Identificar todas las actividades del proyecto, reconociendo las predecesoras y sucesoras, y el tiempo de duración de cada actividad.
- 2) Calcular la duración promedio y la varianza de cada actividad.
- 3) Representar las actividades del proyecto en una red.
- 4) Identificar la ruta crítica.
- 5) Calcular la varianza y la desviación estándar del proyecto.
- 6) Medir la diferencia entre los tiempos e identificar la probabilidad dentro de la tabla de distribución normal.

1.3 Reactivo práctico

Cierta empresa construye una moderna planta industrial en las afueras de Puerto Bolívar. La coordinación del arquitecto y los subcontratistas requerirá un esfuerzo

importante para cumplir con la fecha de terminación de 44 semanas (aproximadamente 10 meses) solicitada por el propietario.

El proyecto se ha segmentado en ocho actividades y la unidad de tiempo de duración es en semanas. Para calcular el tiempo estimado de cada actividad se aplica la Fórmula 1 y para calcular la varianza de cada actividad se aplica la Fórmula 2. Los nuevos datos se agrupan en la siguiente tabla:

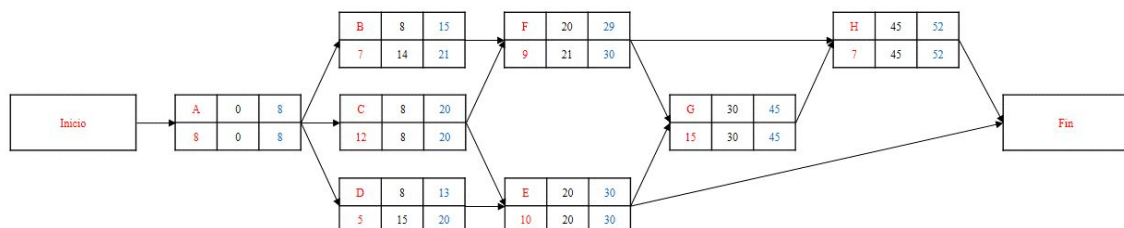
TABLA 1. Análisis y clasificación de las actividades del proyecto

Actividad	Predecesora	a	m	b	t	σ
A	-	4	8	12	8	1.78
B	A	6	7	8	7	0.11
C	A	6	12	18	12	4.00
D	A	3	5	7	5	0.44
E	C - D	6	9	18	10	4.00
F	B - C	5	8	17	9	4.00
G	E - F	10	15	20	15	2.78
H	F - G	5	6	13	7	1.78

Fuente: Datos proporcionados en el reactivo práctico 2107 de la UTMACH

Con la información del tiempo esperado de la TABLA 1 y aplicando el CPM se procede a diagramar la red y calcular los tiempos de inicio y terminación más tempranos y tardíos en cada actividad:

Figura 2. Grafo del CPM para la planta industrial



Fuente: Datos proporcionados en el reactivo práctico 2107 de la UTMACH

Ahora se construye una tabla en la cual se procede a identificar las holguras y con ello también las actividades que conforman la ruta crítica:

TABLA 2. Identificación de la ruta crítica para el proyecto de construcción

Actividad	Inicio más temprano (ES)	Inicio más tardío (LS)	Terminación más temprana (EF)	Terminación más tardía (LF)	Holgura (LS - ES)	¿Ruta crítica?
A	0	0	8	8	0	Sí
B	8	14	15	21	6	No
C	8	8	20	20	0	Sí
D	8	15	13	20	7	No
E	20	20	30	30	0	Sí
F	20	21	29	30	1	No
G	30	30	45	45	0	Sí
H	45	45	52	52	0	Sí

Fuente: Datos proporcionados en el reactivo práctico 2107 de la UTMACH

La ruta crítica comprende las actividades A – C – E – G – H. El tiempo total para completar el proyecto, que es la sumatoria del tiempo de cada una de estas actividades, es de 52. Así mismo, se realiza la sumatoria de las varianzas de todas las actividades de la ruta crítica ...Ver TABLA 1... y se obtiene que la varianza total del proyecto es de 14.33 semanas. Con el valor de la varianza total del proyecto se aplica la Fórmula 3 para identificar su desviación estándar $\sigma = \sqrt{14.33}$, obteniendo un resultado de 3.79. Como parte del último paso, aplicamos la Fórmula 4:

$$z = \frac{(52-44)}{3.79}$$

$$z = 2.113$$

El valor de z de 2.72 según la Tabla de distribución normal ...Ver A1... expresa que existe un 98.26% de probabilidad de construir la moderna planta industrial en las afueras de Puerto Bolívar en 44 semanas. Si consideramos que culminar el proyecto en 52 semanas tiene un 100% de probabilidad y a esto restamos el 98.26% de probabilidad de que sea concluido en 44 semanas, tenemos un 1.74% de probabilidad de entregar la construcción de la moderna planta industrial 8 semanas antes de lo esperado.

2. CONCLUSIONES

De la aplicación del CPM y el PERT se pudo calcular el valor de z para un proyecto de construcción de una moderna planta industrial en las afueras de Puerto Bolívar, por lo tanto se concluye que sí es posible terminar esta construcción en 44 semanas existiendo una probabilidad de 1.74% de terminar entregando la obra 8 semanas antes de lo esperado. El proyecto sí se debe tomar en las condiciones en las cuales lo solicita el propietario. Además, se concluye que:

- El grafo del CPM agiliza la identificación de los tiempos de culminación del proyecto y brinda una mejor perspectiva de cómo se desarrollan las actividades, habiendo identificado que la ruta crítica de la planta industrial la comprenden las actividades A – C – E – G – H, y si existiese un retraso en alguna de estas actividades, entonces la entrega de la obra sufriría también ese mismo retraso.
- El tiempo esperado de culminación del proyecto es de 52 semanas, obteniendo este valor de la ruta crítica calculada a través del tiempo esperado de cada actividad. En las mejores condiciones, mientras no se presente ningún evento que altere el tiempo de duración de las actividades, el proyecto puede tardar 31 semanas¹; mientras que, si el proyecto experimenta todas las condiciones para que las actividades demoren su tiempo tardío de culminación, la duración sería de 81 semanas².
- La estimación de la probabilidad depende de la solicitud del propietario del proyecto y de la ruta crítica del tiempo esperado, al usar estos dos valores no se obtiene el porcentaje de éxito, sino un valor racional que debe ser interpretado a través de una tabla de distribución normal, y en este caso el valor calculado fue 2.113 que significa el 98.26% de probabilidad de éxito.

¹ Este resultado es la sumatoria del tiempo más temprano de culminación de las actividades comprendidas en la ruta crítica A – C – E – G – H.

² Este resultado es la sumatoria del tiempo más tardío de culminación de las actividades comprendidas en la ruta crítica A – C – E – G – H.

Bibliografía

- Anderson, D., Sweeney, D., Williams, T., Camm, J., Cochran, J., Fry, M., & Ohlmann, J. (2016). *Métodos cuantitativos para los negocios* (13a. ed.). (V. Altamirano, Trad.) México: CENGAGE Learning. Obtenido de <https://vdocuments.site/metodos-cuantitativos-para-los-negocios-13a-ed-david-r-anderson-dennis.html>
- Ballesteros, P., Larsen, G., & González, M. (2018). Do projects really end late? On the shortcomings of the classical scheduling techniques. *JOTSE*, 8(1), 17-33. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6359561>
- Carrasco, G. (2017). Misiles y Cronómetros: la instrumentalidad de la arquitectura desde las herramientas del management. *ARQ*(96), 36-47. Obtenido de <https://scielo.conicyt.cl/pdf/arq/n96/0717-6996-arq-96-00036.pdf>
- Enrique, E., Villagrán, W., Buenaño, L., Altamirano, M., & Cruz, E. (2018). Modelación Matemática para la estimación de tiempos en un proyecto utilizando MATLAB-Simulink. *Polo del Conocimiento*, 3(10), 484-494. Obtenido de <https://pdfs.semanticscholar.org/7c6f/c753e281b1bc02dc22f612fdc8c3638c496a.pdf>
- Flores, J., Gutiérrez, J., & Briones, R. (2016). Programación de actividades PERT del sistema de riego automatizado para reducir costos en la empresa Agroindustrias San Jacinto S.A.A. Chimbote -2016. *Ingnosis*, 2(2), 341-354. Obtenido de <http://181.224.246.204/index.php/INGnosis/article/view/2005/1695>
- Gómez, H., & Orobio, A. (2015). Efectos de la incertidumbre en la programación de proyectos de construcción de carreteras. *Dyna*, 82(193), 155-164. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/496/49642141020.pdf>
- Pupo, J., Ruiz, J., & Pacheco, A. (2018). Aplicación de CPM y costos comprimidos en la producción de cerveza artesanal (Ecuador). Caso de estudio. *Revista Espacios*, 39(28), 1-20. Obtenido de https://www.researchgate.net/publication/326446804_Aplicacion_de_CPM_y_costos_comprimidos_en_la_produccion_de_cerveza_artesanal_Ecuador_Caso_de

_estudio_Application_of_Critical_Path_Method_and_compressed_costs_in_the_craft_beer_production_Case_study

- Ramos, C., & Flores, C. (2016). Reducción del tiempo de finalización del proyecto de una planta de conservas de pescado utilizando un modelo de programación lineal. *Anales Científicos*, 77(1), 110-117. Obtenido de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/6171132.pdf>
- Ruiz, J., & Pupo, J. (2017). Mejora del sistema de manufactura en procesadoras de camarón: Análisis caso exportadora MARECUADOR S.A. *Revista Espacios*, 38(54), 1-8. Obtenido de <https://www.revistaespacios.com/a17v38n54/a17v38n54p17.pdf>
- Vega, L., Lao, Y., & Castellanos, L. (2016). Modelación multicriterio de los recursos en los sistemas logísticos ¿Es una necesidad? *Avances en Ciencias e Ingeniería*, 7(4), 81-94. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/3236/323649144009.pdf>
- Velásquez, B., & Chacha, H. (2017). Diseño de un modelo matemático aplicado a la planeación de la producción y distribución de productos de consumo masivo. *Revista Publicando*, 4(12), 348-364. Obtenido de https://revistapublicando.org/revista/index.php/crv/article/view/700/pdf_506

ANEXOS

z	0.00	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.07	0.08	0.09
0.0	0.5000	0.5040	0.5080	0.5120	0.5160	0.5199	0.5239	0.5279	0.5319	0.5359
0.1	0.5398	0.5438	0.5478	0.5517	0.5557	0.5596	0.5636	0.5675	0.5714	0.5753
0.2	0.5793	0.5832	0.5871	0.5910	0.5948	0.5987	0.6026	0.6064	0.6103	0.6141
0.3	0.6179	0.6217	0.6255	0.6293	0.6331	0.6368	0.6406	0.6443	0.6480	0.6517
0.4	0.6554	0.6591	0.6628	0.6664	0.6700	0.6736	0.6772	0.6808	0.6844	0.6879
0.5	0.6915	0.6950	0.6985	0.7019	0.7054	0.7088	0.7123	0.7157	0.7190	0.7224
0.6	0.7257	0.7291	0.7324	0.7357	0.7389	0.7422	0.7454	0.7486	0.7517	0.7549
0.7	0.7580	0.7611	0.7642	0.7673	0.7704	0.7734	0.7764	0.7794	0.7823	0.7852
0.8	0.7881	0.7910	0.7939	0.7967	0.7995	0.8023	0.8051	0.8078	0.8106	0.8133
0.9	0.8159	0.8186	0.8212	0.8238	0.8264	0.8289	0.8315	0.8340	0.8365	0.8389
1.0	0.8413	0.8438	0.8461	0.8485	0.8508	0.8531	0.8554	0.8577	0.8599	0.8621
1.1	0.8643	0.8665	0.8686	0.8708	0.8729	0.8749	0.8770	0.8790	0.8810	0.8830
1.2	0.8849	0.8869	0.8888	0.8907	0.8925	0.8944	0.8962	0.8980	0.8997	0.9015
1.3	0.9032	0.9049	0.9066	0.9082	0.9099	0.9115	0.9131	0.9147	0.9162	0.9177
1.4	0.9192	0.9207	0.9222	0.9236	0.9251	0.9265	0.9279	0.9292	0.9306	0.9319
1.5	0.9332	0.9345	0.9357	0.9370	0.9382	0.9394	0.9406	0.9418	0.9429	0.9441
1.6	0.9452	0.9463	0.9474	0.9484	0.9495	0.9505	0.9515	0.9525	0.9535	0.9545
1.7	0.9554	0.9564	0.9573	0.9582	0.9591	0.9599	0.9608	0.9616	0.9625	0.9633
1.8	0.9641	0.9649	0.9656	0.9664	0.9671	0.9678	0.9686	0.9693	0.9699	0.9706
1.9	0.9713	0.9719	0.9726	0.9732	0.9738	0.9744	0.9750	0.9756	0.9761	0.9767
2.0	0.9772	0.9778	0.9783	0.9788	0.9793	0.9798	0.9803	0.9808	0.9812	0.9817
2.1	0.9821	0.9826	0.9830	0.9834	0.9838	0.9842	0.9846	0.9850	0.9854	0.9857
2.2	0.9861	0.9864	0.9868	0.9871	0.9875	0.9878	0.9881	0.9884	0.9887	0.9890
2.3	0.9893	0.9896	0.9898	0.9901	0.9904	0.9906	0.9909	0.9911	0.9913	0.9913
2.4	0.9918	0.9920	0.9922	0.9925	0.9927	0.9929	0.9931	0.9932	0.9934	0.9936
2.5	0.9938	0.9940	0.9941	0.9943	0.9945	0.9946	0.9948	0.9949	0.9951	0.9952
2.6	0.9953	0.9955	0.9956	0.9957	0.9959	0.9960	0.9961	0.9962	0.9963	0.9964
2.7	0.9965	0.9966	0.9967	0.9968	0.9969	0.9970	0.9971	0.9972	0.9973	0.9974
2.8	0.9974	0.9975	0.9976	0.9977	0.9977	0.9978	0.9979	0.9979	0.9980	0.9981
2.9	0.9981	0.9982	0.9982	0.9983	0.9984	0.9984	0.9985	0.9985	0.9986	0.9986
3.0	0.9986	0.9987	0.9987	0.9988	0.9988	0.9989	0.9989	0.9989	0.9990	0.9990

A 1. Tabla de distribución normal para probabilidades de estadístico z