



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO
PROGRAMA DE MAESTRÍA Y DOCTORADO EN INGENIERÍA
INGENIERÍA QUÍMICA – INGENIERÍA QUÍMICA Y ADMINISTRACIÓN DE
PROYECTOS

APLICACIÓN DEL MÉTODO “EVALUADOR DE PROBABILIDAD DE ÉXITO” AL
PROYECTO DE UNA PLANTA DE ALQUILACIÓN

TESIS
QUE PARA OPTAR POR EL GRADO DE:
MAESTRO EN INGENIERÍA

PRESENTA:
I.Q. DIEGO CORTÉS CORTÉS

TUTOR PRINCIPAL
M. EN I. JOSÉ ANTONIO, ORTIZ, RAMÍREZ, F.Q. UNAM

Ciudad Universitaria, CD. MX. septiembre 2019



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

JURADO ASIGNADO:

Presidente: MBA. Elisa Guinea Corres
Secretario: M.I. Ezequiel Millan Velasco
Vocal: Dr. Modesto Javier Cruz Gómez
1er. Suplente: I.Q. Olga Marta Monterrubio Chavolla
2do. Suplente: M.I. José Antonio Ortiz Ramírez

Lugar donde se realizó la tesis: Universidad Nacional Autónoma de México.

TUTOR DE TESIS:

M.I. JOSÉ ANTONIO ORTIZ RAMÍREZ

FIRMA

Agradecimientos

La tesis de maestría representa el paso final de este camino que comenzó hace dos años, los cuales han sido una gran curva de aprendizaje. Este trabajo ha puesto en escena una plataforma perfecta para poder desarrollar mis habilidades, reforzar mis conocimientos, interactuar con algunas de las mentes más agudas que conozco y me ha preparado para dar el gran paso hacia a la industria.

En primer lugar, aprovecharía esta oportunidad para agradecer a la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Química por la excelente formación académica que me han brindado. También me gustaría agradecer a mi mentor, el M.I. José Antonio Ortiz Ramírez por su constante apoyo, paciencia, consejos y confianza en mis capacidades. Le agradezco profundamente por su tiempo, por guiarme y por señalar siempre el camino correcto cada vez que me desvié del enfoque del trabajo.

Agradezco al MBA. Elisa Guinea Corres, M.I. Ezequiel Millan Velasco, Dr. Modesto Javier Cruz Gómez y a la I.Q. Olga Marta Monterrubio Chavolla por su tiempo, apoyo, compromiso, sabiduría, paciencia y sus comentarios que me han permitido enriquecer el presente trabajo.

Además, un especial agradecimiento al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT) por el apoyo económico que me permitió desarrollar mis estudios de maestría de manera satisfactoria.

A mis padres Silvia e Ismael les agradezco infinitamente su amor, paciencia, apoyo y esfuerzo. Todo lo que soy hoy es por ustedes, gracias por enseñarme a ser siempre honesto, respetuoso y responsable. Gracias por sus enseñanzas, ahora sé que siempre habrá dudas, obstáculos y errores, pero con disciplina, trabajo duro y perseverancia no hay límites y se puede alcanzar el éxito. Sé que estoy en deuda con ustedes, que les debo todo. Este logro es por y para ustedes, los amo.

A mis hermanos Guadalupe y Jesús, muchísimas gracias por las palabras de aliento, su amor único e inigualable y por las risas que compartimos a diario. Los amo y los admiro.

A mi sobrina Ayelén, gracias por llenar mi corazón de alegría y amor. Solo basta tu presencia para que la vida se vuelva una fiesta.

A mis abuelos, mis tías y mi cuñado, muchas gracias por siempre estar al pendiente de mí, por sus palabras de motivación y constante apoyo.

A mis amigos Celia De la Cruz, Eber Contreras, José Aguilar, Fernando Flores, Alexis Hellmer, Antonio Huerta, Ariel Sánchez, David Ortiz, Alfonso García y Erik González, le agradezco el apoyo, la motivación, el cariño, las buenas anécdotas y sobre todo su valiosa amistad. Mi admiración y aprecio para cada uno de ustedes.

Índice general

Índice de tablas	IV
Índice de ilustraciones	V
Introducción.....	1
Problemática	2
Objetivos.....	2
Organización de la tesis.....	3
1. Revisión de la literatura.....	5
1.1 Dirección de proyectos.	5
1.2 ¿Por qué los proyectos fracasan?.....	6
1.3 Enfoque actual de la dirección de proyectos.....	8
1.3.1 Planeación del proyecto.....	9
1.3.2 Ejecución del proyecto.	10
1.3.3 ¿Cuáles son las deficiencias en el enfoque actual de la dirección de proyectos?.....	12
1.4 Método “Evaluador de Probabilidad de Éxito” (POSE).....	12
1.4.1 Requerimientos del método “Evaluador de Probabilidad de Éxito”.	14
1.4.2 Método “Evaluador de probabilidad de éxito” en la planeación del proyecto.	17
1.4.3 Método “Evaluador de Probabilidad de Éxito” en la ejecución del proyecto.....	24
1.5 Conclusiones	27
2. Crystal Ball para ejecutar la simulación Monte Carlo.....	28
2.1 Introducción a Crystal Ball®	28
2.2 Simulación Monte Carlo en OCB	31
2.2.1 Paso 1: Construir el modelo.	32
2.2.2 Paso 2: Ejecutar la simulación Monte Carlo	39
2.2.3 Paso 3: Analizar las salidas.	46
2.2.4 Paso 4: Retroalimentación al modelo.	51
2.2.5 Variables de decisión.....	54
2.3 Conclusiones	60
3. Proyecto de una Planta de Alquiler.....	61
3.1 Generalidades del proyecto y bases de diseño de la unidad de alquiler.....	62

3.1.1	Descripción del proceso Phillips Petroleum Co.:	62
3.1.2	Bases de diseño de la unidad de alquiler:	74
3.2	Línea base del Proyecto de una Planta de Alquiler:	85
3.3	Conclusiones	87
4.	Método “Evaluador de Probabilidad de Éxito” para la planeación del Proyecto de una Planta de Alquiler:	88
4.1	Probabilidad de al menos el 85 % de éxito de lograr el presupuesto deseado para el Proyecto de una Planta de Alquiler:	89
4.2	Probabilidad de al menos el 85% de éxito de lograr el cronograma deseado para el Proyecto de una Planta de Alquiler:	97
4.3	Conclusiones	103
5.	Método “Evaluador de Probabilidad de Éxito” durante la ejecución del Proyecto de una Planta de Alquiler:	105
5.1	El método “Evaluador de Probabilidad de Éxito” para el monitoreo y control del presupuesto del proyecto de la Planta de Alquiler:	106
5.2	El método “Evaluador de Probabilidad de Éxito” para el monitoreo y control el cronograma del proyecto de la Planta de Alquiler:	109
5.3	Conclusiones	111
6.	Conclusiones generales	112
Anexo A. Métodos Monte Carlo		114
Historia de los Métodos Monte Carlo		114
Métodos de Monte Carlo		115
Principios básicos de los métodos Monte Carlo:		115
Generación de valores aleatorios:		116
Método de muestreo		116
Anexo B. Muestreo de Hipercubo Latino:		118
Anexo C. Simulaciones Oracle Crystal Ball		120
Anexo D. Línea base del Proyecto de la Planta de Alquiler:		121
Anexo E. Proyecto de una Planta de Alquiler (Planeación)		135
Anexo F. Proyecto de una Planta de Alquiler (Ejecución)		138
Referencias		139

Índice de tablas

Tabla 1. Costos directos esperados para el proyecto (Modelo determinista)	29
Tabla 2. Distribución de costos para cada criterio de los costos directos del proyecto.....	30
Tabla 3. Modelo para los costos directos del proyecto construido en OCB.....	36
Tabla 4. Posible escenario para cada suposición de los costos directos del proyecto.....	47
Tabla 5. Estimado de H-H para la Ingeniería Básica, Detalle y Complementaria.	54
Tabla 6. Resumen de los resultados de la Tabla de decisión.....	59
Tabla 7. Butanos-Butenos de la unidad de MTBE.	74
Tabla 8. Alimentación de butanos a la Sección Deisobutanizadora.....	74
Tabla 9. Características del hidrógeno utilizado en la unidad de alquiler	75
Tabla 10. Características del ácido fluorhídrico.....	75
Tabla 11. Condiciones de la materia prima en L.B.	75
Tabla 12. Especificación de los productos.	76
Tabla 13. Condiciones de los productos.....	76
Tabla 14. Vapor de servicio.....	78
Tabla 15. Condiciones del aire de servicio.....	79
Tabla 16. Condiciones del agua (servicios).....	79
Tabla 17. Características del combustible de servicio.....	80
Tabla 18. Electricidad (servicios).....	80
Tabla 19. Sistema contraincendios.	81
Tabla 20. Características de la electricidad suministrada a los motores.	82
Tabla 21. Características de la iluminación.....	82
Tabla 22. Bases de diseño intercambiadores de calor.	83
Tabla 23. Normas, códigos y especificaciones para la unidad de alquiler.	84
Tabla 24. Información del Proyecto de una Planta de Alquiler	86
Tabla 25. Evaluación para un riesgo específico (verde: bajo, amarillo: medio y rojo: alto).	90
Tabla 26. Impacto de un riesgo en los objetivos principales del proyecto.....	90
Tabla 27. Tabla de probabilidad de ocurrencia para un riesgo específico.	90
Tabla 28. Parámetros de simulación para el estimado de costos de la unidad de alquiler.	91
Tabla 29. Combinación de resultados entre la RGP y la RCP para el presupuesto.....	96
Tabla 30. Parámetros de simulación para el estimado de tiempo de la unidad de alquiler	98

Índice de ilustraciones

Ilustración 1. Naturaleza integradora de los grupos de procesos de la dirección de proyectos.....	9
Ilustración 2. Grupos de Proceso de Planificación por área de conocimiento.	10
Ilustración 3. Creación del Presupuesto y Cronograma del Proyecto.	16
Ilustración 4. Los 6 pasos del método “Evaluador de Probabilidad de Éxito” durante la planeación del proyecto.	17
Ilustración 5. Distribución de probabilidad para el impacto de un riesgo.....	21
Ilustración 6. Distribución del impacto del riesgo con un determinado plan de respuesta. ..	22
Ilustración 7. Distribución del presupuesto y cronograma del proyecto vs Probabilidad de éxito.	23
Ilustración 8. Distribución del presupuesto y cronograma del proyecto vs Probabilidad de éxito en varios niveles.	24
Ilustración 9. Los 4 pasos del método "Evaluador de Probabilidad de Éxito" para la ejecución del proyecto.	25
Ilustración 10. Barra de herramientas de Oracle Crystal Ball.	29
Ilustración 11. Pantalla de Bienvenida de Oracle Crystal Ball.....	31
Ilustración 12. Proceso de estudio de simulación en cualquier Software.....	32
Ilustración 13. Menú Definir de Crystal Ball.	32
Ilustración 14. Galería de distribuciones de probabilidad.	33
Ilustración 15. Definición de suposición para el equipo.	35
Ilustración 16. Definición de previsión del costo directo total estimado.	36
Ilustración 17. Cuadro de diálogo para definir correlaciones.....	37
Ilustración 18. Cuadro para elegir la suposición para correlacionar.	38
Ilustración 19. Correlación entre el equipo y pintura con un coeficiente de correlación de 0.5.....	39
Ilustración 20. Menú Ejecutar de Crystal Ball	40
Ilustración 21. Cuadro de diálogo Preferencias de ejecución (Pruebas).	41
Ilustración 22. Cuadro de diálogo Preferencias de ejecución (Muestreo).	42
Ilustración 23. Cuadro de diálogo Preferencias de ejecución (Velocidad).....	43
Ilustración 24. Cuadro de diálogo Preferencias de ejecución (Opciones).....	44
Ilustración 25. Panel de control de la simulación.....	44
Ilustración 26. Cuadro de diálogo Preferencias de ejecución (Estadísticas).	45
Ilustración 27. Proceso que se repite cada prueba en una simulación.....	47
Ilustración 28. Gráfico de previsión para el "Costo directo total estimado".	48
Ilustración 29. Gráfico de previsión para el costo directo total estimado para una probabilidad del 80%.....	50
Ilustración 30. Gráfico de sensibilidad para el costo directo total estimado.	52
Ilustración 31. Gráfico de previsión para el costo directo total estimado con los valores deterministas del equipo y de los instrumentos.	53
Ilustración 32. Variable de decisión para el porcentaje de reducción.	55
Ilustración 33. Menú Herramientas	56
Ilustración 34. Panel de Previsión objetivo.	56

Ilustración 35. Panel Variables de decisión.....	57
Ilustración 36. Panel de Opciones.	58
Ilustración 37. Salidas de la Tabla de decisión.....	58
Ilustración 38. DFP de la Planta de Alquiler.	73
Ilustración 39. Probabilidad de éxito de lograr el presupuesto deseado para la unidad de alquiler sin plan de respuesta a los riesgos.	92
Ilustración 40. Cálculo de la reserva de contingencia para el presupuesto (RCP).	94
Ilustración 41. Probabilidad de éxito de lograr el presupuesto para la unidad de alquiler con plan de respuesta a los riesgos.	95
Ilustración 42. Gráfico de previsión de la combinación 1 de la Tabla 29.	97
Ilustración 43. Probabilidad de éxito de lograr el cronograma para la unidad de alquiler sin plan de respuesta a los riesgos.	99
Ilustración 44. Cálculo de la reserva de contingencia para el cronograma (RCC).	101
Ilustración 45. Probabilidad de éxito de lograr el cronograma para la unidad de alquiler con plan de respuesta a los riesgos.	102
Ilustración 46. Probabilidad de éxito de lograr el presupuesto para el proyecto restante ...	108
Ilustración 47. Probabilidad de éxito de lograr el cronograma para el proyecto restante. .	110

Introducción

En la actualidad la aplicación de los conocimientos, procesos, herramientas y técnicas de la dirección de proyectos establece una base sólida para que las organizaciones desarrollen proyectos de manera eficaz y eficiente con el fin de crear valor y múltiples beneficios. Sin embargo, aunque hoy en día existen muchos cuerpos de conocimientos y enfoques que apoyan la dirección de proyectos en la práctica, las estadísticas muestran que el 47% de los proyectos fallan en el costo, el 51% fallan en cronograma (tiempo) y el 45% experimentan un deslizamiento en el alcance (Project Management Institute, Pulse of the Profession, 2016).

El gran porcentaje de fracaso en los proyectos se debe principalmente a deficiencias en el enfoque actual de planeación y ejecución de los proyectos que conducen a: una planeación deficiente, deslizamiento del alcance, deficiencias en la ejecución y un pobre análisis de riesgos. Para evitar estos grandes porcentajes de fracaso, en este trabajo se propone la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de éxito* (POSE, Probability of Success Evaluator) que les permitirá a los líderes de las organizaciones evaluar la probabilidad de éxito de lograr plenamente los objetivos de su proyecto desde la etapa de planeación y durante la etapa de ejecución.

El método propuesto fue desarrollado por el Dr. Tejas Pawar de la Universidad de Texas y tiene el objetivo de determinar el nivel de certeza o probabilidad de éxito de lograr el presupuesto y cronograma para cualquier proyecto mediante la combinación de la administración de riesgos y la simulación Monte Carlo ejecutada a través del software Oracle Crystal Ball.

A lo largo de este trabajo, se resaltarán los múltiples beneficios que se obtienen en la etapa de planeación y ejecución con la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de éxito* (POSE). El propósito es crear un documento que facilite la aplicación del método para lograr un proyecto exitoso en términos de alcance, costo y tiempo que conduzca a las organizaciones a la creación de valor del negocio.

Para lograr este propósito se aplicará el método *Evaluador de Probabilidad de éxito* (POSE) al caso de estudio que consiste en la construcción de una Planta de Alquilación con una capacidad para producir 36,000 barriles diarios (bd) de alquilado partiendo de refinado proveniente de una unidad de MTBE. Para este proyecto se considera un alcance de Ingeniería, Procura, Construcción y Pruebas y Puesta en Marcha.

La aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de éxito* (POSE) al Proyecto de una Planta de Alquilación nos permitirá obtener un presupuesto y un cronograma que nos ofrezcan una solución aceptable con una probabilidad de éxito de al menos un 85%.

Problemática

El gran porcentaje de fracaso en los proyectos debido a las deficiencias en el enfoque actual de planeación y ejecución conduce a las organizaciones en muchas situaciones a: incumplimiento de plazos, sobrecostos, pérdida de reputación, intereses insatisfechos, etc. Teniendo en cuenta esto, queda en evidencia la necesidad de aplicar el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) con el objetivo de aliviar estas deficiencias y aumentar las posibilidades de que los proyectos tengan éxito.

Además, en la actualidad los líderes de las organizaciones deben ser capaces de dirigir proyectos con presupuestos más ajustados, cronogramas más cortos, escasez de recursos y una tecnología en constante cambio (PMBOK[®], Project Management Body of Knowledge). Por lo que la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) resulta un aliado para evaluar estas situaciones y determinar la probabilidad de éxito de que los proyectos puedan ser ejecutados bajo esas condiciones.

Objetivos

Objetivos generales:

- Aplicar el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) al proyecto de una Planta de Alquilación con la finalidad de mostrar la utilidad de este método para contrarrestar las principales causas de fracaso en los proyectos.

Objetivos particulares:

- Desarrollar una solución empresarial para el presupuesto y el cronograma de una Planta de alquiler que nos proporcione una probabilidad de éxito de al menos un 85%.
- Evaluar la probabilidad de éxito de la solución empresarial para el presupuesto y el cronograma de la Planta de alquiler bajo el supuesto de que el proyecto está en ejecución y que la fase de ingeniería del proyecto se ha completado.

Organización de la tesis

En el primer capítulo se presenta la revisión de la literatura la cual está dividida en cuatro principales secciones. Las primeras tres secciones están destinadas a presentar una visión general de la dirección de proyectos, describir las causas que conducen al fracaso de los proyectos y mostrar el enfoque actual de planeación y ejecución de la dirección de proyectos, esto con el objetivo de mostrar las deficiencias de las que el Dr. Tejas Pawar hace mención. Posteriormente, en la última sección de este capítulo se hace la introducción del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) y se describe detalladamente las mejoras que se pueden lograr con su aplicación, así como la descripción de su aplicación paso a paso.

Debido a que el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) utiliza el software Oracle Crystal Ball para llevar a cabo la simulación Monte Carlo, en el capítulo 2 se desarrolla una guía para Oracle Crystal Ball con la ayuda de un ejemplo de los costos directos de una planta química. El objetivo de este capítulo es discutir las funciones básicas y necesarias que se deben utilizar para la correcta aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE).

En el tercer capítulo se introduce el caso de estudio de la Planta de Alquiler, en este se abordan algunas generalidades y aspectos críticos del proyecto y se establece la línea base que funge como requerimiento y dato de entrada para la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE). La línea base que se establece ha sido posible gracias a la información recuperada del trabajo de tesis “Planeación y Administración de una Planta de Alquiler” (Martínez, 1998).

En el capítulo cuatro se aplican los pasos del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) correspondientes a la etapa de planeación para desarrollar una solución empresarial para el presupuesto y el cronograma de una Planta de alquiler que nos proporcione una probabilidad de éxito de al menos un 85%.

En el capítulo cinco se aplican los pasos del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) correspondientes a la etapa de ejecución para obtener la probabilidad de éxito de la solución empresarial para el presupuesto y el cronograma de la Planta de Alquiler considerando que la fase de ingeniería se ha completado.

Por último, en el capítulo 6 se muestran las conclusiones sobre los resultados obtenidos con la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) al Proyecto de la Planta de Alquiler.

1. Revisión de la literatura

1.1 Dirección de proyectos.

De acuerdo a la Guía del PMBOK® (2017), un proyecto es un esfuerzo temporal que se lleva a cabo para crear un producto, servicio o resultado único; es una secuencia de actividades únicas, complejas y coordinadas (Watson, 2009; Wsocki, 2007) con el fin de cumplir un objetivo al producir un conjunto de entregables con restricciones de alcance, tiempo, costo y calidad claramente especificadas (Westland, 2006).

En la actualidad, los proyectos son una forma clave de crear valor y beneficios en las organizaciones, por lo que una correcta aplicación e integración adecuada de conocimientos, habilidades, herramientas y técnicas de la dirección de proyectos son fundamentales para la ejecución eficaz y eficiente de los mismos (PMI, 2017). La ejecución de los proyectos de forma eficaz y eficiente permite a las organizaciones: Generar una ventaja competitiva, cumplir los objetivos del negocio, satisfacer las necesidades de los involucrados, responder a los riesgos de manera oportuna, gestionar las restricciones, aumentar la probabilidad de éxito, optimizar el uso de los recursos de la organización, etc.

Dentro de este contexto, las organizaciones buscando una manera de mantenerse a la vanguardia en la economía global caótica y competitiva actual, recurren a la dirección de proyectos y al uso de sus procesos, herramientas y técnicas en busca de estos beneficios, crecimiento y sustentabilidad (PMI, Pulse of the Profession, 2016).

A pesar de que existen muchos cuerpos de conocimientos y enfoques que apoyan la dirección de proyectos en la práctica y que permiten a las organizaciones cumplir los objetivos del negocio, las estadísticas muestran que solamente el 52% de los proyectos tienen éxito y cumplen los objetivos originales definidos en la planeación (PMI, Pulse of the Profession, 2016); esto significa que el 48% de los proyectos que se desarrollan en el mundo en varias industrias tienden al fracaso provocando en muchas situaciones: Incumplimiento de plazos, sobrecostos, calidad deficiente, re trabajo, pérdida de reputación para las organizaciones, intereses insatisfechos, etc. Además, se tiene que el 47% de los proyectos fallan en el costo,

el 51% fallan en cronograma (tiempo) y el 45% experimentan un deslizamiento en el alcance (PMI, Pulse of the Profession, 2016).

Pero, ¿A qué se debe el gran porcentaje de proyectos fallidos? Antes de dar respuesta a esta pregunta debemos discutir ¿Qué consideramos como éxito en un proyecto? Debido a que uno de los desafíos más comunes de la dirección de proyectos es determinar si un proyecto es o no exitoso.

Tradicionalmente, las métricas de tiempo, costo y alcance han sido los factores más importantes para definir el éxito de un proyecto (Bannerman, P, 2008). Sin embargo, recientemente profesionales y académicos han determinado que el éxito del proyecto también debe medirse teniendo en cuenta los criterios adicionales vinculados a la estrategia organizacional y a la entrega de resultados de negocio (PMBOK, 2017).

En este trabajo para fines prácticos se entenderá como éxito el logro de los principales atributos del proyecto (cronograma (tiempo), presupuesto (costo) y alcance), es decir, el criterio clásico de la práctica que la literatura tiende a considerar una medida del éxito de la dirección del proyecto.

Se ha decidido utilizar esta definición de éxito, porque este criterio clásico también conocido como la triple restricción sigue siendo la medida más utilizada para medir el éxito de un proyecto. Su valor principal es que ofrece una medida simple y directa del rendimiento del proyecto dentro de los límites de los parámetros de diseño más inmediatos (tiempo, costo y alcance).

1.2 ¿Por qué los proyectos fracasan?

Para realizar un análisis de las causas que provocan el gran porcentaje de proyectos fallidos es necesario mencionar que este trabajo se centrará en aquellas que se relacionen con el factor técnico del desarrollo del proyecto, es decir, aquellos procesos o prácticas que deben integrarse para la dirección del proyecto y se dejará afuera el factor humano, por ejemplo: la comunicación, falta de liderazgo, experiencia inadecuada del equipo del proyecto, etc.

Las razones por las que los proyectos fallan son numerosas, sin embargo, se ha llegado a la conclusión que las razones principales de acuerdo a los puntos de vista de varios autores (Black, K., 1996, Larson, R. & Larson, E. 2009 y Eapen, John, 2015) son:

Planeación deficiente. La clave más importante para el éxito de un proyecto puede ser la planeación. Si bien es poco probable que los planificadores de proyectos tengan conocimiento de todas las actividades y recursos necesarios para llevar a cabo operaciones exitosas del proyecto, es imperativo que comprendan tanto sobre las metas y objetivos del proyecto como sea posible antes del lanzamiento del mismo (Black, Ken, 1996).

En una investigación realizada a través de 70 ingenieros dedicados a la dirección de proyectos, Black (1996) encontró que el 60% de las fallas del proyecto estaban relacionadas con la planeación, fallas que de acuerdo con Pawar (2017) están ligadas con la falta de herramientas que permitan validar si el plan creado para el proyecto se ejecutará dentro del alcance, plazo y presupuesto estimado, debido a que muchas veces estos estimados terminan siendo irrealistas y por lo tanto provocan el fracaso del proyecto.

Deslizamiento de alcance. La Guía del PMBOK® (2017) define este concepto como la expansión incontrolada del alcance del producto o del proyecto sin ajustes de tiempo, costo y recursos, o sin la aprobación del cliente. En la encuesta realizada por el PMI (Project Management Institute) a 2900 profesionales de la dirección de proyectos de varias industrias se concluyó que el 45% de los proyectos fallan debido al deslizamiento del alcance (PMI, Pulse of the Profession, 2016). Los cambios son inevitables; por lo tanto, es obligatorio para todo proyecto contar con algún tipo de proceso de control de cambios que permita incorporar estos cambios al plan del proyecto y saber si sigue siendo viable para los estimados iniciales (Pawar, 2017).

Deficiencias en la ejecución. Las deficiencias en la ejecución se deben principalmente a las incertidumbres y riesgos que enfrenta el proyecto, además del proceso de toma de decisiones que le sigue. Durante la ejecución, es necesario monitorear la salud del proyecto y compararla con el plan del proyecto de la línea base para tomar acciones preventivas o correctivas que permitan lograr lo planeado, sin embargo, una mala planeación afecta considerablemente esta parte, por lo que el fracaso del proyecto se vuelve mayor (Black, Ken, 1996).

Pobre análisis de riesgos. La encuesta del PMI muestra que solo el 63% de las organizaciones realizan prácticas de administración de riesgos de manera frecuente en el desarrollo de sus proyectos (PMI, Pulse of the Profession, 2016). A medida que un proyecto se desarrolla con el tiempo, el mundo evoluciona, los mercados financieros cambian, el clima de negocios cambia, existen cambios de tecnología y cambios de clima gubernamentales y culturales (Black, Ken, 1996). Prácticamente ningún proyecto se realiza en un sistema estático, por lo que un análisis de riesgos debe ser una parte esencial del proceso de planeación. Un paso inicial importante es examinar los riesgos junto con los beneficios potenciales antes de determinar si continuar o terminar el proyecto.

Pawar (2017) establece que estas cuatro razones descritas anteriormente se deben a deficiencias en el enfoque actual de la dirección de proyectos y que es necesario el desarrollo de un método que permita aliviarlas. Por este motivo, en las siguientes secciones se describe brevemente el enfoque actual para demostrar estas deficiencias de las que habla el autor.

1.3 Enfoque actual de la dirección de proyectos.

La dirección de cada proyecto se puede basar en estos atributos: alcance, costo, tiempo, calidad y riesgos. En el campo de la dirección de proyectos hay dos aspectos fundamentales: la planeación y ejecución del proyecto (Pawar, 2017).

De acuerdo al PMI (2013), la dirección de los proyectos se logra a través de la aplicación de los procesos de la dirección de proyectos, estos procesos se superponen y actúan unos sobre otros de múltiples formas. Además, se vinculan entre sí a través de las salidas que producen, es decir, el grupo de procesos de planeación suministra al grupo de procesos de ejecución el plan para la dirección del proyecto y los documentos del proyecto. Así mismo, es importante mencionar que estos procesos son iterativos y requieren una naturaleza integradora por medio del grupo de procesos de monitoreo y control (ilustración 1).

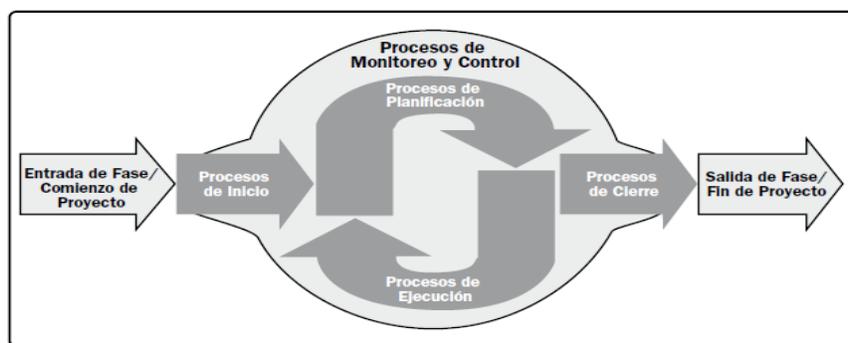


Ilustración 1. Naturaleza integradora de los grupos de procesos de la dirección de proyectos¹

1.3.1 Planeación del proyecto.

El objetivo de la fase de planeación de un proyecto es preparar la estructura para la ejecución y el control del proyecto. Esta fase es un factor importante para el éxito del proyecto y, como tal, es reconocido como uno de los factores críticos de éxito de la dirección de proyectos (Pinto & Slevin, 1988; Turner, 1999; Zwikael y Sadeh, 2007).

La planeación del proyecto implica especificar un conjunto de decisiones sobre la forma en que el trabajo del proyecto debe ejecutarse en el futuro. El propósito principal de la planeación es establecer un conjunto de instrucciones con suficiente detalle para que el equipo del proyecto sepa qué se debe hacer, cuándo se debe hacer y qué recursos se deben usar para producir con éxito los entregables del proyecto (Meredith & Mantel, 2006). Por lo tanto, los gerentes de proyecto no solo deben asegurarse de que sus acciones se ejecuten de acuerdo con el plan, sino que, lo que es más importante, que el plan sea confiable y represente de manera adecuada los requisitos de las partes involucradas (Zwikael, 2009).

Durante esta fase es importante el desarrollo del Plan para la Dirección del Proyecto, que consiste en definir, preparar y coordinar todos los componentes del plan y consolidarlos en un plan integral para la dirección del proyecto. El beneficio clave de este proceso es la producción de un documento comprensivo que define la base para todo el trabajo del proyecto y el modo en que se realizará el trabajo (PMI, 2017). Además de describir el modo en que el proyecto será ejecutado, monitoreado, controlado y cerrado.

¹ Ilustración extraída de: A Guide to the Project Management Body of Knowledge (Guía PMBOK®) - Fifth Edition, Official Spanish Translation, Paperback PMI, p.45 (2013)

Dentro de la metodología de la dirección de proyectos del PMI existen 49 procesos que se distribuyen en las 10 áreas de conocimiento (PMI, 2017). De acuerdo a la Guía del PMBOK®, el 49% de todos los procesos que debe realizar el gerente de proyecto durante el ciclo de vida del proyecto tienen lugar durante el proceso de planeación (ilustración 2). Las acciones tomadas durante este proceso por lo tanto tienen un impacto directo en el éxito o el fracaso de un proyecto (Zwikael, 2009).

1. Integración del Proyecto	Desarrollar el Plan para la Dirección del Proyecto	2. Alcance del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Planificar la Gestión del Alcance • Recopilar requisitos • Definir el Alcance • Crear el EDT
3. Cronograma del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Planificar la Gestión del Cronograma • Definir las actividades • Secuenciar las actividades • Estimar la duración de las actividades • Desarrollar el Cronograma 	4. Costos del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Planificar la Gestión de los Costos • Estimar los costos • Determinar el presupuesto
5. Calidad del Proyecto	• Planificar la Gestión de la Calidad	6. Comunicaciones del Proyecto	• Planificar la Gestión de las Comunicaciones
7. Recursos del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Planificar la Gestión de Recursos • Estimar los Recursos de las actividades 	8. Riesgos del Proyecto	<ul style="list-style-type: none"> • Planificar la Gestión de los Riesgos • Identificar los riesgos • Realizar el análisis cualitativo de los riesgos • Realizar el análisis cuantitativo de los riesgos • Planificar la respuesta a los riesgos
9. Adquisiciones del Proyecto	• Planificar la gestión de las adquisiciones	10. Involucrados del proyecto	• Planificar la Gestión de los involucrados

Ilustración 2. Grupos de Proceso de Planificación por área de conocimiento².

1.3.2 Ejecución del proyecto.

La fase de ejecución suele ser la fase más larga del proyecto en términos de duración, en esta fase se realizan los entregables y se presentan al cliente para su aceptación. Mientras el equipo del proyecto está produciendo físicamente cada entregable, el gerente del proyecto implementa una serie de procesos de dirección para monitorear y controlar las actividades que está llevando a cabo el equipo del proyecto (Westland, 2006).

² Elaboración propia basada en la tabla 1-4 del libro “A Guide to the Project Management Body of Knowledge- Sixth Edition, (2017)

Durante esta fase dirigir y gestionar el trabajo del proyecto es el proceso fundamental para liderar y llevar a cabo el trabajo definido en el plan para la dirección del proyecto e implementar los cambios aprobados para alcanzar los objetivos del proyecto (PMI, 2017).

Este proceso también implica ejecutar las actividades planificadas del proyecto para completar los entregables del mismo y alcanzar los objetivos establecidos. Además de este proceso, también durante esta fase es necesario monitorear y controlar el trabajo del proyecto, es decir, dar seguimiento, revisar e informar el avance general a fin de cumplir con los objetivos de desempeño definidos en el plan para la dirección del proyecto (PMI, 2017).

Los beneficios clave de este proceso son que permite a los involucrados comprender el estado actual del proyecto, reconocer las medidas adoptadas para abordar los problemas de desempeño y tener visibilidad del estado futuro del proyecto con los pronósticos del cronograma y de costos (Guía del PMBOK®, 2017).

Actualmente, las organizaciones utilizan el enfoque de Gestión Integrada que evalúa simultáneamente las métricas asociadas con los atributos para determinar el estado del proyecto (Piney, 2007, Bodych, 2012). Sin embargo, cada uno de los atributos del proyecto tiene sus propias métricas y se controlan simultáneamente a medida que se ejecuta el proyecto, por ejemplo: el control de costos usa el Sistema de administración del valor ganado (EVM, Earned Value Management), el control del cronograma utiliza herramientas como Diagrama de Gantt, Método de ruta crítica (CPM, Critical Path Method) y la Técnica de Revisión y Evaluación de Programas (PERT, Program Evaluation and Review Techniques) y el control de riesgos usa la Matriz de Probabilidad e Impacto (Pawar, 2017).

Estas técnicas han demostrado ser muy efectivas y se utilizan ampliamente en la industria. Sin embargo, un problema que enfrentan las organizaciones es que la gran variedad de las técnicas evalúa el rendimiento de los atributos del proyecto de forma individual y no muestran el desempeño general del proyecto. Aunque, el enfoque de gestión integrada evalúa las métricas asociadas con el alcance, costo, tiempo, calidad y riesgo, el gerente de proyecto todavía tiene dificultades para proporcionarse a sí mismo y a los involucrados el éxito del proyecto, es decir, un resumen general de cómo se desarrolla el proyecto y cuál será el resultado probable (Pawar, 2017).

1.3.3 ¿Cuáles son las deficiencias en el enfoque actual de la dirección de proyectos?

Teniendo en cuenta el enfoque actual de la dirección de proyectos para la planeación y ejecución, Pawar (2017) establece que, a pesar de la evolución de los procesos en el campo de la dirección de proyectos, todavía existen ciertas deficiencias o inconvenientes en el enfoque actual.

Deficiencias de los procesos actuales de planeación de proyectos. El grupo de procesos de planeación que se muestran en la ilustración 2 describen mediante entradas, herramientas y salidas de qué forma se debe desarrollar el plan del proyecto. Una vez que se formula el plan, la pregunta sigue siendo, si este plan realmente funcionará para ejecutar el proyecto con éxito o no. Si funciona, ¿Cuál es la probabilidad de que logre todos los objetivos del proyecto? Por lo tanto, el problema radica en que no existen muchas herramientas que permitan al gerente de proyecto validar el plan del proyecto (Pawar, 2017).

Deficiencias en la ejecución del proyecto. El problema que enfrentan las organizaciones es que la gran variedad de técnicas da como resultado muchas métricas. Estas métricas, aunque útiles individualmente, no permiten fácilmente determinar el desempeño general del proyecto; más bien evalúan el desempeño individualmente que de alguna manera deben ser integrados para obtener una evaluación general del desempeño del proyecto (Pawar, 2017). Sin embargo, como ya se ha mencionado con este enfoque el gerente de proyecto aún tiene dificultades para proporcionar una evaluación fácil de entender cómo va el proyecto y cómo terminará (Probabilidad de éxito).

Teniendo en cuenta las deficiencias discutidas, Pawar (2017) ha desarrollado el Método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE, Probability of Success Evaluator) que se explica en la siguiente sección.

1.4 Método “Evaluador de Probabilidad de Éxito” (POSE)

El método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) es una herramienta que combina la administración de riesgos y la simulación Monte Carlo ejecutada a través del software Oracle Crystal Ball para determinar el nivel de certeza o probabilidad de éxito de lograr el presupuesto y cronograma para cualquier proyecto.

Este método ha sido desarrollado con el objetivo de hacer frente a las deficiencias del enfoque actual de la dirección de proyectos y contrarrestar los efectos de las causas que provocan el gran porcentaje de proyectos fallidos, por lo que a través de su aplicación se pueden establecer mejoras en la etapa de planeación y de ejecución, estas mejoras se discuten a continuación.

Mejoras en la planeación del proyecto. En comparación con el proceso actual de planeación del proyecto (ilustración 2), el método incorpora un proceso más que consiste en la aplicación del *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) con el fin de evaluar la probabilidad de éxito general del proyecto de lograr el presupuesto y cronograma definido en el plan con un determinado alcance, esto por supuesto considerando una evaluación integral de los riesgos del proyecto, así como su plan de respuesta.

El objetivo adicional de determinar la probabilidad de éxito del proyecto en la fase de planeación es validar que se ha formulado un plan que proporciona una solución empresarial aceptable, es decir, con una evaluación aceptable de que cumpla los objetivos. En el proceso actual de planeación del proyecto se realizan iteraciones para formular un plan aceptable, sin embargo, se desconoce la funcionalidad de este plan, porque la probabilidad de que cumpla con éxito lo planeado se desconoce, de ahí surge la importancia de aplicar la herramienta.

Pawar (2017) establece que después de la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) a la línea base del plan del proyecto, el resultado responde a las siguientes preguntas:

- ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto tenga éxito? Por éxito, se refiere a cumplir el presupuesto y el cronograma del proyecto bajo un determinado alcance.
- ¿Es la reserva de contingencia suficiente para cubrir todas las incertidumbres que el proyecto puede potencialmente enfrentar?

Mejoras en la ejecución del proyecto. En el enfoque actual de ejecución, monitoreo y control de proyectos se utilizan herramientas para evaluar el progreso del proyecto y estimar el progreso futuro en términos de alcance, costo y tiempo, pero estas herramientas a menudo no representan directamente los posibles riesgos y oportunidades que el proyecto puede encarar.

La aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) a los proyectos nos permite predecir la probabilidad de éxito del proyecto restante contabilizando directamente los riesgos y oportunidades que un proyecto enfrentará a medida que se vaya ejecutando.

Pawar (2017) establece que una vez que se aplica el método en la etapa de ejecución, el resultado dará respuesta a la siguiente pregunta:

- ¿Cuál es la probabilidad de que el proyecto restante logré con éxito el presupuesto y cronograma planeado?

Para llevar a cabo la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) es necesario seguir una serie de diez pasos, de los cuales seis se desarrollan durante la planeación del proyecto y los cuatro restantes se desarrollan en la etapa de ejecución. Cada uno de estos pasos se lleva a cabo de manera individual para el presupuesto y el cronograma, por lo que es necesario primero aplicar el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) al presupuesto del proyecto y posteriormente al cronograma. Es importante mencionar que antes de discutir en que consiste cada uno de estos pasos, se deben establecer ciertos requerimientos necesarios para su aplicación, por lo que en la siguiente sección se aborda este tema.

1.4.1 Requerimientos del método “Evaluador de Probabilidad de Éxito”.

Para poder aplicar el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) es necesario contar con los siguientes requerimientos: la línea base del proyecto en términos de alcance, costos y tiempo, la ruta crítica y las reservas de gestión para el presupuesto y el cronograma. Estos requerimientos funcionan como datos de entrada para la construcción de los modelos que se simularán en el software de Oracle Crystal Ball.

1.4.1.1 Línea base del proyecto en términos de alcance, costos y tiempo

Para cumplir con este requerimiento, el gerente del proyecto en primera instancia debe de establecer la línea base del alcance, esto significa que se debe definir una versión aprobada del enunciado del alcance y de su estructura de desglose del trabajo (EDT/WBS). Posteriormente, se procede a construir parcialmente la línea base del tiempo que consiste en definir las actividades del proyecto, secuenciar estas actividades y estimar su duración.

Finalmente, para construir parcialmente la línea base de los costos es necesario que se estimen los costos para cada una de las actividades previamente definidas.

Para fines del estudio y la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) los estimados de costo y tiempo para las actividades del proyecto deberán establecerse como una distribución de probabilidad, en este caso se utilizará la estimación por tres puntos en donde se define un valor mínimo, máximo y más probable.

1.4.1.2 La ruta crítica

Una vez que se ha definido parcialmente la línea base en términos de tiempo se procede a establecer la ruta crítica del proyecto, la cual está definida por el PMBOK® (2017) como el método utilizado para estimar la mínima duración del proyecto y determinar el nivel de flexibilidad en la programación de los caminos de red lógicos dentro del cronograma.

La determinación de la ruta crítica juega un papel importante, ya que durante la evaluación de la probabilidad de éxito de lograr el cronograma del proyecto solo se consideran las actividades críticas del proyecto. Por fortuna, hoy en día cualquier software de planeación de proyectos determina de manera muy rápida la ruta crítica de cualquier proyecto, en este trabajo se utilizará Microsoft Project® para determinar por defecto la ruta crítica, sin embargo, para más detalles del cálculo de la ruta crítica consultar la Guía del PMBOK® (2017) y Kramer, S. W. & Jenkins, J. L. (2006).

1.4.1.3 Reserva de gestión

Por último, para completar todos los requerimientos necesarios para aplicar el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) se deben de especificar las reservas de gestión tanto para el presupuesto como para el cronograma.

Estas reservas de gestión son definidas por del PMBOK® (2017) como cantidades específicas en términos de costo y tiempo que se retienen por razones de control de gestión y que se reservan para cubrir trabajo no previsto dentro del alcance del proyecto.

El objetivo principal de las reservas de gestión es contemplar las variables “desconocidas-desconocidas” que pueden afectar a un proyecto, es decir, aquellos eventos que no están contemplados que ocurran en las reservas de contingencia como parte de la gestión de

riesgos. Es importante mencionar que la reserva de gestión no pertenece a la línea base del proyecto (ilustración 3) y es necesario la aprobación del patrocinador para que el director del proyecto haga uso de la misma durante el desarrollo del proyecto.

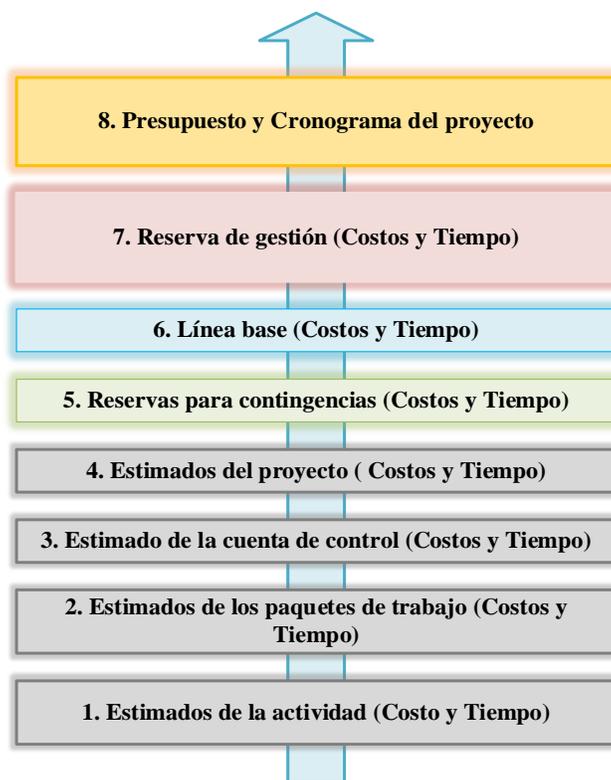


Ilustración 3. Creación del Presupuesto y Cronograma del Proyecto.

No hay una regla generalmente aceptada en cuanto a cuáles deberían ser estas reservas de gestión. Por lo general, se decide en función de experiencias pasadas de proyecto similares que se han ejecutado para una organización y una industria específica. Además, dependen del grado de riesgo que la organización está dispuesta a aceptar y las áreas dispuestas a aceptar el riesgo, es decir, de los factores ambientales de la empresa.

En este caso, para fines del estudio y la demostración de la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) se considerará como un 3% del costo estimado del proyecto. Sin embargo, esta decisión debe ser tomada por la alta dirección de la organización y no se deduce de ningún método matemático, es simplemente basada por el juicio de los expertos. Por lo tanto, se vuelve importante analizar las repercusiones de la decisión tomada sobre su valor en términos de costo y tiempo.

Una vez descrito cada uno de los datos de entrada, podemos dar pie a la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE), por lo que en las siguientes secciones se explica a detalle cada uno de los diez pasos que integran al método.

1.4.2 Método “Evaluador de probabilidad de éxito” en la planeación del proyecto.

Como se mencionó anteriormente, el método se desarrolla a través de diez pasos: los primeros seis pasos se llevan a cabo durante la planeación del proyecto y los siguientes cuatro pasos se aplican en la ejecución. Para esta sección nos enfocaremos en describir los primeros seis pasos que se muestran en la ilustración 4. Con la aplicación de estos primeros seis pasos del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) se podrá establecer la solución empresarial para el presupuesto y el cronograma para cualquier proyecto bajo la probabilidad de éxito requerida.

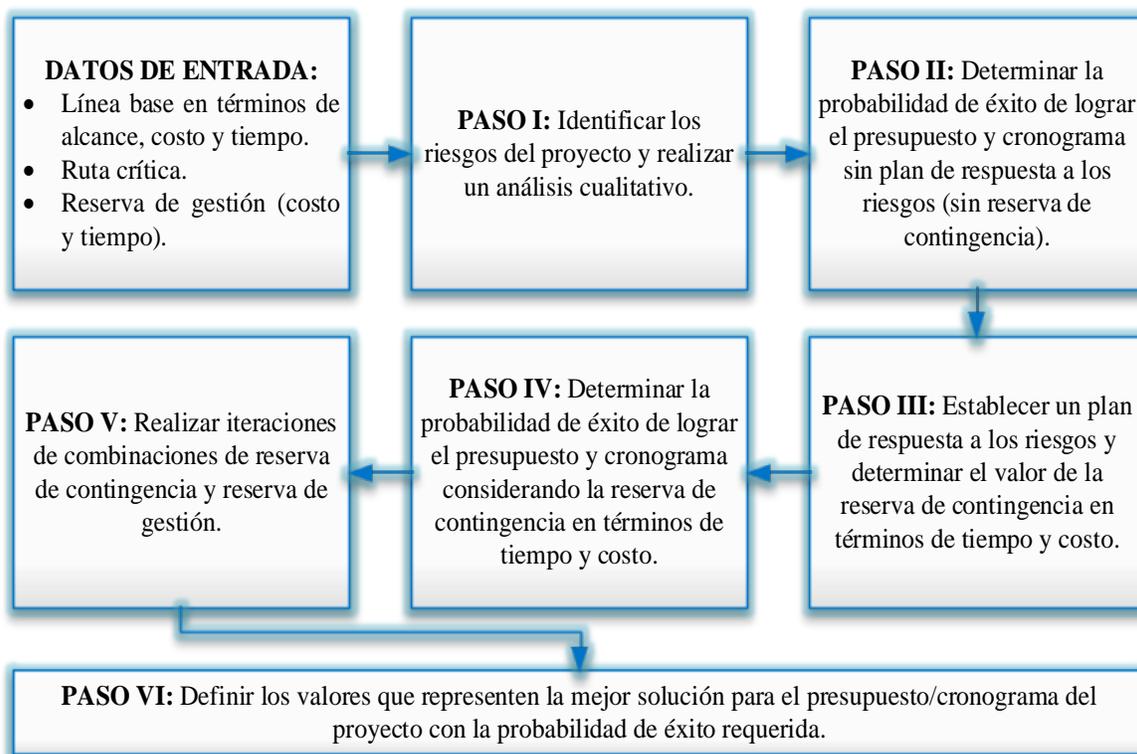


Ilustración 4. Los 6 pasos del método “Evaluador de Probabilidad de Éxito” durante la planeación del proyecto.

Cada uno de los seis pasos del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) durante la planeación del proyecto se describe a continuación:

1.4.2.1 Paso 1: Identificar los riesgos del proyecto y realizar un análisis cualitativo

Dentro de cada proyecto el riesgo se puede presentar en dos niveles, el primero de ellos referido a los riesgos individuales que pueden afectar la consecución de los objetivos del mismo y el segundo como el grado de riesgo de la totalidad del proyecto que surge de la combinación de los riesgos individuales del proyecto y otras fuentes de incertidumbre. Entendido esto, la Guía del PMBOK® (2017) define ambos niveles de riesgo de la siguiente manera:

- **Riesgo individual del proyecto.** Es un evento o condición incierta que, si se produce, tiene un efecto positivo o negativo en uno o más de los objetivos del proyecto.
- **Riesgo general del proyecto.** Es el efecto de la incertidumbre sobre el proyecto en su conjunto, provenientes de todas las fuentes de incertidumbre incluidos riesgos individuales, que representan la exposición de los involucrados a las implicancias de las variaciones en el resultado del proyecto, tanto positivas como negativas.

Mencionado esto, el paso uno del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) consiste en identificar los riesgos del proyecto y posteriormente realizar un análisis cualitativo para la priorización de los mismos. El desarrollo de este paso está referido de acuerdo a lo definido en la Guía del PMBOK® (2017), la cual establece que:

Identificación de riesgos. Este proceso consiste en identificar los riesgos individuales del proyecto, así como las fuentes de riesgo general del proyecto y documentar sus características. Además, de reunir información para que el equipo del proyecto pueda responder adecuadamente a las amenazas que el proyecto puede potencialmente enfrentar. Los participantes en las actividades de identificación de riesgos pueden incluir los siguientes: director del proyecto, miembros del equipo del proyecto, especialista de gestión de riesgos del proyecto, clientes, expertos en la materia, etc.

Es importante mencionar que, identificar los riesgos es un proceso iterativo, ya que pueden surgir nuevos riesgos individuales del proyecto a medida que el proyecto avanza a través de su ciclo de vida, y el nivel de riesgo general del proyecto también cambiará.

Para identificar los riesgos del proyecto la Guía del PMBOK® (2017) recomienda el uso de algunas herramientas y técnicas que aparecen a continuación:

- **Revisiones de documentación:** el acta de constitución, los contratos y la documentación de planificación puede permitir la identificación de los riesgos del proyecto.
- **Técnicas de recopilación de información:** tormenta de ideas, técnica Delphi, entrevistas, análisis causal puede permitir la identificación de los riesgos.
- **Análisis FODA:** este análisis estudia el proyecto para identificar sus fortalezas y debilidades y, por lo tanto, identifica también los riesgos (oportunidades y amenazas).
- **Técnicas de diagramación:** entre estas se encuentran los diagramas de causa y efecto y los diagramas de flujo. Los cuales, si se utilizan como parte de la identificación de riesgos, permiten identificar riesgos adicionales para el proyecto.

Finalmente, el desarrollo de algunas de estas técnicas nos da como resultado (salidas) la creación del registro de riesgos. Este registro puede establecerse de acuerdo a la metodología C-R-E (Causa-Riesgo-Efecto), la cual nos permite separar claramente los riesgos de sus causas y de sus efectos en los objetivos del proyecto.

Una vez que se han identificado los riesgos del proyecto y se han establecido claramente en el registro de los riesgos, se procede a realizar un análisis cualitativo.

Análisis cualitativo: Este proceso consiste en priorizar los riesgos individuales del proyecto para análisis o acción posterior, evaluando la probabilidad de ocurrencia e impacto de dichos riesgos, así como otras características. Es importante mencionar que, las evaluaciones son subjetivas, ya que se basan en la percepción del riesgo por parte del equipo del proyecto, juicio de expertos y otros involucrados.

Para llevar a cabo este análisis se necesita determinar lo siguiente:

- La probabilidad de ocurrencia de cada riesgo, para ello se utiliza una escala estándar como Bajo, Medio y Alto o una que vaya de 0 a 1.
- El impacto que tendría cada riesgo si ocurriera, para ello se utiliza una escala estándar como Bajo, Medio y Alto o una que vaya de 0 a 1.

Para el análisis cualitativo la Guía del PMBOK® (2017) recomienda el uso de algunas herramientas y técnicas que aparecen a continuación:

- **Matriz de probabilidad e Impacto de riesgos:** Una matriz de probabilidad e impacto es una cuadrícula para vincular la probabilidad de ocurrencia de cada riesgo con su impacto sobre los objetivos del proyecto en caso de que ocurra dicho riesgo. Una organización puede evaluar un riesgo por separado para cada objetivo (por ejemplo, costo, tiempo y alcance) al tener una matriz de probabilidad e impacto para cada uno.
- **Evaluación de la calidad de los datos para el estudio de riesgos:** Con esta técnica se evalúan qué datos de riesgo son útiles realmente para la administración de riesgos. Incluye examinar el grado de entendimiento de los riesgos, exactitud, calidad, confiabilidad e integridad de los datos.
- **Categorización de riesgos:** Se evalúan los riesgos por su origen, utilizando la estructura de desglose del riesgo (RBS, Risk Breakdown Structure) que permite determinar las áreas del proyecto más expuestas a los efectos de la incertidumbre.

Finalmente, el desarrollo de algunas de estas técnicas da como resultado la actualización del registro de riesgos. Particularmente, el análisis cualitativo nos permitirá establecer el impacto de los riesgos en términos de costo y tiempo, además de su priorización como riesgo Bajo, Medio o Alto.

1.4.2.2 Paso 2: Determinar la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto y cronograma sin plan de respuesta a los riesgos (sin reserva de contingencia).

Una vez que los riesgos han sido identificados y se ha realizado el análisis cualitativo se procede a ejecutar la primera simulación de Monte Carlo con ayuda del software Oracle

Crystal Ball, el cual nos permitirá determinar la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto y cronograma del proyecto sin considerar un plan de respuesta a los riesgos (sin reserva de contingencia). Para esta simulación se consideran como entradas los requerimientos descritos en la sección 1.4.1 y los riesgos con su probabilidad de ocurrencia e impacto identificados en el paso anterior.

En este caso, el impacto de los riesgos identificados se puede describir como una distribución de probabilidad contemplando un estimado de tres puntos. En la ilustración 4 se muestra una distribución de probabilidad de impacto considerando un impacto mínimo, máximo y más probable para un riesgo determinado.

Como puede notarse, el valor del impacto más probable tiende a tener una probabilidad más alta, mientras que el impacto mínimo y máximo se encuentran en los extremos de la distribución. Es importante que el lector no confunda el eje de probabilidad de la ilustración 5 con la probabilidad de ocurrencia.

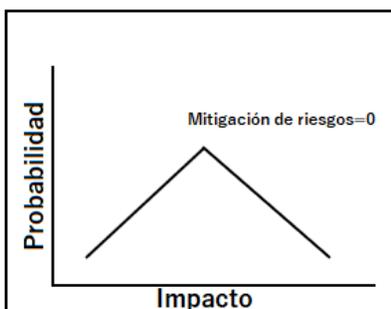


Ilustración 5. Distribución de probabilidad para el impacto de un riesgo.

Por lo regular después de ejecutar la simulación en este paso se obtendrá una probabilidad de éxito de lograr el presupuesto y cronograma bastante baja, ya que se acepta completamente el impacto del riesgo general del proyecto. Por lo que en el siguiente paso del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito (POSE)* es posible establecer un plan de respuesta a los riesgos y determinar el valor de la reserva de contingencia con el fin de minimizar su probabilidad de ocurrencia y/o impacto.

1.4.2.3 Paso 3: Establecer un plan de respuesta a los riesgos y determinar el valor de la reserva de contingencia en términos de tiempo y costo.

Después de evaluar el presupuesto y cronograma sin considerar un plan de respuesta a los riesgos, en este paso se comienza a desarrollar estrategias y acciones con el fin de reducir la probabilidad de ocurrencia y/o impacto de los riesgos identificados en el paso uno. Las acciones que se llevan a cabo involucran el desarrollo de reservas de contingencia en términos de tiempo y costo para reducir el valor del riesgo asociado con un riesgo individual.

Para la determinación de la reserva de contingencia se realizará un análisis cuantitativo a través de la simulación de Monte Carlo, lo que se busca es simular los efectos combinados de los riesgos individuales a fin de evaluar su impacto potencial en la consecución de los objetivos del proyecto. La reserva de contingencia calculada puede ir en un nivel de confianza del 80% al 90% dependiendo de los factores ambientales de la organización, ya que depende del grado de riesgos que está dispuesta a aceptar. En este sentido, se pueden establecer diferentes niveles de planes de respuesta a los riesgos con su propia reserva de contingencia.

Cada vez que se establece un plan de respuesta a los riesgos la distribución del impacto cambia como se muestra en la ilustración 6, debe tenerse en cuenta que se sigue utilizando una estimación de tres puntos, donde el impacto más probable tiene la mayor probabilidad y el impacto máximo y mínimo representan los extremos.

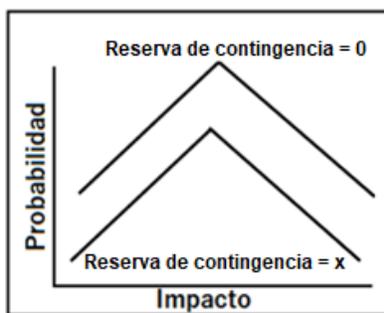


Ilustración 6. Distribución del impacto del riesgo con un determinado plan de respuesta.

1.4.2.4 Paso 4: Realizar la simulación Monte Carlo utilizando Oracle Crystal Ball.

Dado que ya se cuenta con un plan de respuesta a los riesgos y que se ha definido la reserva de contingencia en términos de costo y tiempo, se procede a ejecutar nuevamente la simulación Monte Carlo. Cabe destacar que para cada uno de los planes de respuesta que se

puedan definir en el paso anterior es necesario ejecutar una simulación Monte Carlo de manera de individual.

Este paso cobra gran relevancia, ya que nos permite evaluar diferentes planes de respuesta a los riesgos y con ello establecer las reservas de contingencia para el presupuesto (RCP) y para el cronograma (RCC) que nos garantice una probabilidad de éxito adecuada de lograr el presupuesto y cronograma del proyecto.

En este caso, la simulación considera como entradas los estimados de costo y tiempo de las actividades del proyecto, las reservas de contingencia para el presupuesto (RCP) y el cronograma (RCC) y finalmente las reservas de gestión del presupuesto (RGP) y del cronograma (RGC), es decir, una evaluación integral de los riesgos con el presupuesto y el cronograma del proyecto.

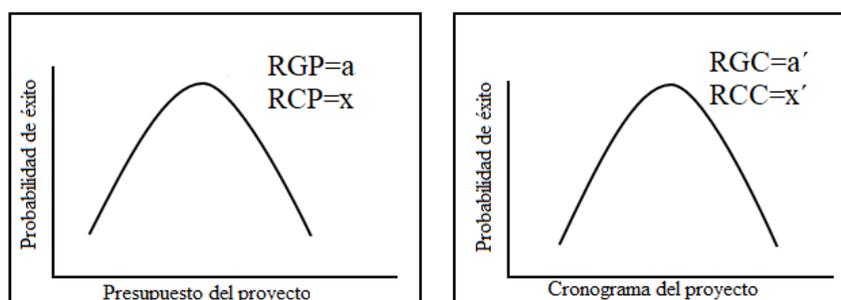


Ilustración 7. Distribución del presupuesto y cronograma del proyecto vs Probabilidad de éxito.

1.4.2.5 Paso 5: Realizar iteraciones de reservas de contingencia y reservas de gestión.

Al finalizar el paso anterior, nosotros determinamos la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto y cronograma del proyecto. En dado de caso de que ninguno de nuestros planes de respuesta a los riesgos (reserva de contingencia) nos ofrezca la probabilidad de éxito requerida de lograr el presupuesto y el cronograma del proyecto, es necesario establecer combinaciones entre la reserva de contingencia y la reserva de gestión con el fin de mejorar la probabilidad de éxito como se muestra en la ilustración 8.

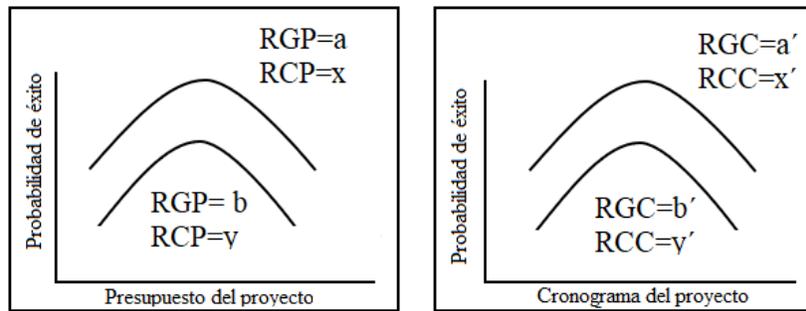


Ilustración 8. Distribución del presupuesto y cronograma del proyecto vs Probabilidad de éxito en varios niveles.

Para realizar estas combinaciones se tendrá que utilizar la reserva de contingencia que ofreció la probabilidad más alta como un valor fijo y se tendrá que simular con diferentes valores de reserva de gestión menores a lo estipulado en los requerimientos del proyecto. Dicho en otras palabras, se reducen las reservas de gestión como último recurso para tratar de obtener una probabilidad de éxito adecuada para el presupuesto y el cronograma del proyecto.

1.4.2.6 Paso 6: Definir los valores que representen la mejor solución para el presupuesto/cronograma del proyecto con la probabilidad de éxito requerida.

Posteriormente después de ejecutar varias simulaciones considerando combinaciones de reserva de contingencia y reserva de gestión tanto para el presupuesto como para el cronograma, se selecciona aquellas que nos ofrecen la mejor solución en términos de probabilidad de éxito para el presupuesto y cronograma del proyecto.

Con este paso se finaliza el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) aplicable en la etapa de planeación. Para demostrar cada uno de los pasos descritos anteriormente, en el capítulo 4 se aplican al Proyecto de una Planta de Alquiler para determinar el presupuesto y cronograma que nos proporcionen al menos un 85% de probabilidad de éxito.

1.4.3 Método “Evaluador de Probabilidad de Éxito” en la ejecución del proyecto.

Ya hemos explicado con detalle los primeros seis pasos del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) que son aplicables para la etapa de planeación del proyecto, ahora en esta sección para finalizar con la explicación del método se abordan los cuatro pasos que son aplicables en la etapa de ejecución.

Para aplicar los cuatro pasos que se muestran en la ilustración 9 se considera que el proyecto ha comenzado y que algunas de las actividades programadas del cronograma ya se han ejecutado, es decir, en este punto evaluamos la probabilidad de éxito de lograr la solución empresarial desarrollada durante los seis pasos anteriores considerando que el proyecto ya se encuentra en ejecución.

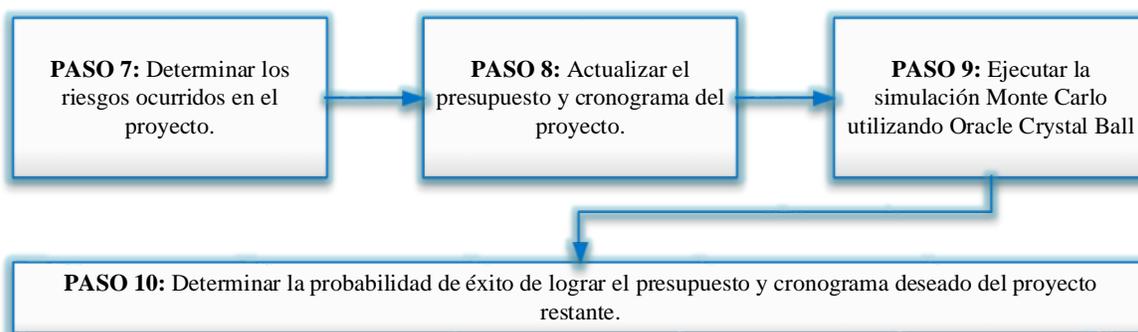


Ilustración 9. Los 4 pasos del método "Evaluador de Probabilidad de Éxito" para la ejecución del proyecto.

A continuación, se discuten los cuatro pasos del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) aplicables a la etapa de ejecución del proyecto.

1.4.3.1 Paso 7: Determinar los riesgos ocurridos en el proyecto.

El primer paso del método para la etapa de ejecución consiste en revisar y determinar los riesgos que han ocurrido en el proyecto hasta el punto en el que se encuentra actualmente. Durante la etapa de planeación del proyecto, nosotros asignamos una probabilidad de ocurrencia a cada riesgo identificado con base en el juicio de un experto o datos históricos, sin embargo, en la ejecución cambiamos esa probabilidad a 1 si el riesgo ha ocurrido.

Cuando determinamos los riesgos que han ocurrido en el proyecto, lo siguiente es determinar la parte de la reserva de contingencia que se ha utilizado para reducir su impacto en términos de costo y tiempo. Es importante tener en cuenta que: las reservas de gestión (costo y tiempo) son las últimas reservas que una compañía pone a disposición para resolver problemas y enfrentar riesgos que fueron totalmente inesperados y no identificados en el plan de administración de riesgos.

1.4.3.2 Paso 8: Actualizar el presupuesto y el cronograma del proyecto.

Anteriormente en la etapa de planeación, nosotros definimos distribuciones de probabilidad en términos de costo y tiempo para cada una de las actividades del proyecto, pero una vez que se han ejecutado estas actividades, nosotros conocemos exactamente el costo y la duración, incluido los recursos para dar respuesta a los riesgos, sus impactos y el presupuesto y cronograma restante del proyecto. Por lo que, en este paso, nosotros podemos actualizar el estado del proyecto en términos de costo y tiempo, así como obtener una imagen real del proyecto restante que se ejecutará.

1.4.3.3 Paso 9: Ejecutar la simulación Monte Carlo utilizando Crystal Ball.

Durante la etapa de ejecución del proyecto tenemos la oportunidad de considerar todo lo que hemos aprendido y reflejarlo en un modelo actualizado para el proyecto. Todos estos cambios deben ser realizados en este paso para actualizar y retroalimentar el modelo construido en la etapa de planeación. Entonces, en Crystal Ball definimos los cambios en los riesgos, en los planes de respuesta, las estimaciones de las actividades del proyecto y actualizamos la información que conocemos con exactitud para actualizar las entradas de la simulación de Monte Carlo y determinar la probabilidad de éxito (nivel de certeza) de lograr el presupuesto y cronograma deseado del proyecto restante.

1.4.3.4 Paso 10: Determinar la probabilidad de éxito para alcanzar el presupuesto y cronograma deseado del proyecto restante.

Una vez que hemos actualizado el modelo construido en la etapa de planeación con los riesgos que han ocurrido, con los recursos utilizados y quitando las distribuciones de las actividades que se han ejecutado, Oracle Crystal Ball determina la probabilidad de éxito para el costo y el tiempo restante del proyecto.

Con este paso se finaliza el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) aplicable en la etapa de ejecución. Para demostrar cada uno de los pasos descritos anteriormente, en el capítulo 5 se aplica el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) al Proyecto de una Planta de Alquiler para determinar la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto y cronograma restante.

1.5 Conclusiones

Con la revisión de la literatura presentada en este capítulo queda en evidencia que a pesar de la existencia de muchos cuerpos de conocimientos y enfoques que apoyan la dirección de proyectos, solo el 52% de los proyectos tienen éxito y cumplen los objetivos originales definidos en la planeación. Aunado a esto, los especialistas de la dirección de proyectos han encontrado que el gran porcentaje de proyectos fallidos se debe principalmente a la planeación deficiente, deslizamiento de alcance, deficiencias en la ejecución y un pobre análisis de riesgos.

En este sentido, se mostró la importancia de aplicar el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) desarrollado por el Dr. Tejas Pawar con el objetivo de hacer frente a las deficiencias del enfoque actual de la dirección de proyectos y contrarrestar los efectos de las causas que provocan el gran porcentaje de proyectos fallidos.

Es importante mencionar que el método sigue las recomendaciones de la Guía del PMBOK[®], debido a que a partir de un análisis cuantitativo (Simulación de Monte Carlo) se logra realizar una evaluación integral de los riesgos con el presupuesto/cronograma para determinar la probabilidad de éxito de lograr el cronograma y el presupuesto del proyecto. Su valor agregado se encuentra en la descripción detallada paso a paso para desarrollar el mencionado análisis cuantitativo, ya que como tal la Guía del PMBOK[®] carece de esta descripción.

Por otra parte, con base en la descripción de cada uno de los diez pasos que integran el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) se concluye que este cuenta con tres tipos de aplicaciones principalmente: Validar que el plan del proyecto tiene una probabilidad de éxito adecuada de lograr el presupuesto y el cronograma, evaluar continuamente la probabilidad de éxito para completar el proyecto de acuerdo a lo planeado durante la ejecución y evaluar el plan de respuesta a los riesgos mediante la determinación de la probabilidad de éxito de los estimados en costos y tiempo.

2. Crystal Ball para ejecutar la simulación Monte Carlo.

En este capítulo se presentan las bases y los conceptos básicos para ejecutar la simulación Monte Carlo orientada en Oracle Crystal Ball (OCB). Además, se discuten las funciones básicas y necesarias que se deben utilizar para la correcta aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE).

Se ha decidido redactar este capítulo debido a que muchos gerentes de proyecto no están familiarizados con el uso del software, por lo que una versión resumida que puede ser leída en unos cuantos minutos les ofrece la ventaja de utilizarlo para aplicar el método y hacerse de sus beneficios.

Con el fin de que el lector visualice la información de una manera más clara y pueda ejecutar las simulaciones que se presentarán en este y los siguientes capítulos, se ha decidido poner a disposición cada una de las hojas de cálculo de Microsoft Excel que se generen en este trabajo en el siguiente enlace:

<https://www.dropbox.com/sh/qzg81zqvg5ato3s/AABeJ2pvhNHgAbN4zy2i5ba?dl=0>

En la carpeta denominada “Capítulo 2” del enlace, el lector podrá encontrar todas las hojas de cálculo que se mencionan en este capítulo.³

2.1 Introducción a Crystal Ball®

Crystal Ball es un programa de análisis de riesgo y de pronóstico orientado a través de gráficos, que está destinado a quitar la incertidumbre en la toma de decisiones a través de la simulación Monte Carlo⁴, la cual es definida por el PMI (2017) como una técnica de análisis donde un modelo informático se itera muchas veces con valores de entrada elegidos al azar para cada iteración con el fin de generar salidas que representen el rango de posibles resultados para el proyecto.

OCB pronostica todos los resultados posibles para una situación determinada, mostrando los niveles de confianza, de manera tal que se puede conocer la probabilidad de cualquier evento

³ Para una referencia instantánea de las hojas de cálculo véase el Anexo C de este trabajo.

⁴ Para mayor detalle de la simulación Monte Carlo véase el Anexo A de este trabajo.

específico. Además, es un complemento de Microsoft Excel, esto nos permite incorporar todas las funciones que nos proporciona este software y luego utilizar Crystal Ball para ejecutar la simulación Monte Carlo, es decir, cuando abrimos Crystal Ball se abre una hoja de cálculo de Microsoft Excel y Crystal Ball es una pestaña adicional en el menú de Excel (ilustración 10).



Ilustración 10. Barra de herramientas de Oracle Crystal Ball.

Para observar cómo funciona Crystal Ball considere el siguiente ejemplo: El departamento de ingeniería de costos ha desarrollado un estimado de costos clase III para los costos directos de un proyecto de una planta química. La tabla 1 muestra los costos esperados para cada uno de los criterios considerados dentro de los costos directos del proyecto.

Tabla 1. Costos directos esperados para el proyecto (Modelo determinista)

Criterio	Costo Mano de Obra[USD]	Costo de Materiales[USD]	Costo total
Equipo	\$ 662,973	\$ 45,425,900	\$ 46,088,872
Tubería	\$ 1,878,137	\$ 5,897,660	\$ 7,775,797
Civil	\$ 1,558,590	\$ 2,218,286	\$ 3,776,876
Acero	\$ 220,904	\$ 1,109,521	\$ 1,330,424
Instrumentos	\$ 961,050	\$ 7,740,624	\$ 8,701,673
Eléctrico	\$ 547,317	\$ 2,237,045	\$ 2,784,362
Aislamiento	\$ 631,327	\$ 936,684	\$ 1,568,010
Pintura	\$ 257,642	\$ 141,608	\$ 399,249
Fletes, Gastos de Aduana, Seguros, Maniobras y Refaccionamiento			\$ 3,285,366
Renta de Maquinaria			\$ 1,697,200
Ingeniería Básica, Detalle y Complementaria			\$ 6,682,501
Permisos			\$ 1,448,505
Pruebas y Puesta en Marcha			\$ 2,172,758
Costo Directo Total			\$ 87,711,597

En un ambiente estable sin variaciones ni incertidumbres, el costo directo para el proyecto sería de \$87,711,597, ya que no habría otra posibilidad u otro escenario (modelo determinista⁵). Sin embargo, en el mundo real y dinámico, las variaciones e incertidumbres provocan cambios en el resultado final esperado (modelo estocástico⁶).

Para considerar estas variaciones e incertidumbres se ha decidido establecer el costo de cada uno de estos criterios como una distribución de costo, es decir, añadir supuestos estocásticos al modelo determinista. Por lo que, el departamento de ingeniería de costos ha definido un costo mínimo, un costo más probable y un costo máximo para cada uno de los criterios que componen los costos directos del proyecto como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Distribución de costos para cada criterio de los costos directos del proyecto.

Criterio	Costo total		
	Mínimo	Más probable	Máximo
Equipo	\$ 38,991,186	\$ 46,088,873	\$ 54,108,337
Tubería	\$ 3,468,587	\$ 7,775,797	\$ 15,317,767
Civil	\$ 1,920,403	\$ 3,776,876	\$ 7,126,940
Acero	\$ 556,851	\$ 1,330,425	\$ 2,669,520
Instrumentos	\$ 3,465,728	\$ 8,701,674	\$ 17,694,511
Eléctrico	\$ 1,196,388	\$ 2,784,363	\$ 5,545,677
Aislamiento	\$ 791,538	\$ 1,568,010	\$ 2,966,453
Pintura	\$ 236,867	\$ 399,249	\$ 708,366
Fletes, Gastos de Aduana, Seguros, Maniobras y Refaccionamiento	\$ 2,680,859	\$ 3,285,366	\$ 4,119,849
Renta de Maquinaria	\$ 1,384,915	\$ 1,697,200	\$ 2,128,289
Ingeniería Básica, Detalle y Complementaria	\$ 5,452,921	\$ 6,682,501	\$ 8,379,856
Permisos	\$ 1,181,980	\$ 1,448,505	\$ 1,816,425
Pruebas y Puesta en Marcha	\$ 1,772,971	\$ 2,172,758	\$ 2,724,639
Costo Directo Total Estimado		\$ 87,711,598	

⁵ Modelo matemático donde las mismas entradas o condiciones iniciales producirán invariablemente las mismas salidas o resultados, no contemplándose la existencia de azar, o incertidumbre.

⁶ Sistemas cuyo comportamiento es intrínsecamente no determinístico.

Una vez que se cuenta con esta información, el departamento de la ingeniería de costos quiere conocer que probabilidad tienen de que el costo total de los costos directos sea de \$87,711,597, por lo que recurren a OCB para resolver su problema.

A continuación, se muestra paso a paso como resolver este problema con el objetivo de demostrar cómo ejecutar una simulación Monte Carlo en OCB.

2.2 Simulación Monte Carlo en OCB

Una vez que se ha instalado y licenciado correctamente Crystal Ball en la PC, se dispondrá a ejecutar el software, en un inicio se nos desplegará la pantalla de bienvenida de Crystal Ball (ilustración 11) que podrá utilizarse para establecer ciertas preferencias en relación con la forma en la que usted utilizará Crystal Ball, consultar tutoriales o consejos en línea, etc.

En la pantalla de bienvenida seleccionaremos en tipo de aplicación la opción general y daremos clic en Usar Crystal Ball, se abrirá de inmediato una hoja de cálculo de Microsoft Excel con la pestaña de Crystal Ball, al seleccionar está, se desplegará la barra de herramientas de la ilustración 10.

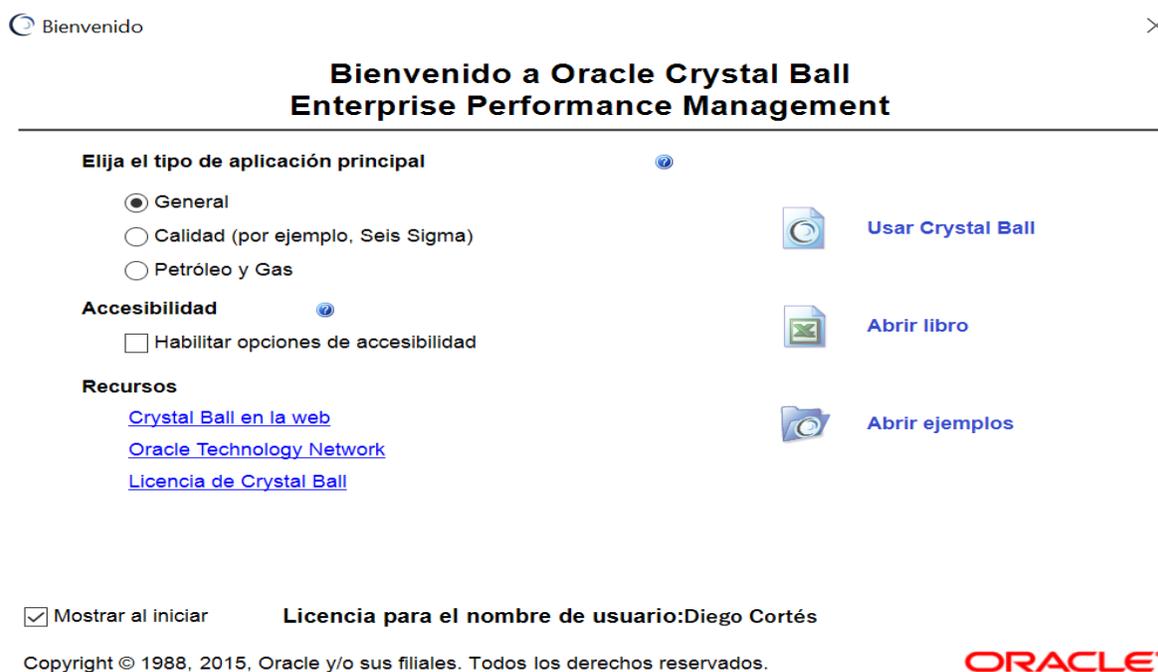


Ilustración 11. Pantalla de Bienvenida de Oracle Crystal Ball.

Es importante mencionar que en cada proceso de simulación de Monte Carlo orientado por OCB se desarrollan cuatro pasos esenciales como se muestran en la ilustración 12, en donde el analista construye un modelo para representar un problema de negocio o una situación de interés, ejecuta la simulación y analiza el resultado para más adelante tomar una decisión, que a veces puede ser simplemente mejorar el modelo y volver a ejecutarlo varias veces antes de tomar la decisión final sobre el problema. Cada uno de estos pasos se describen a continuación:

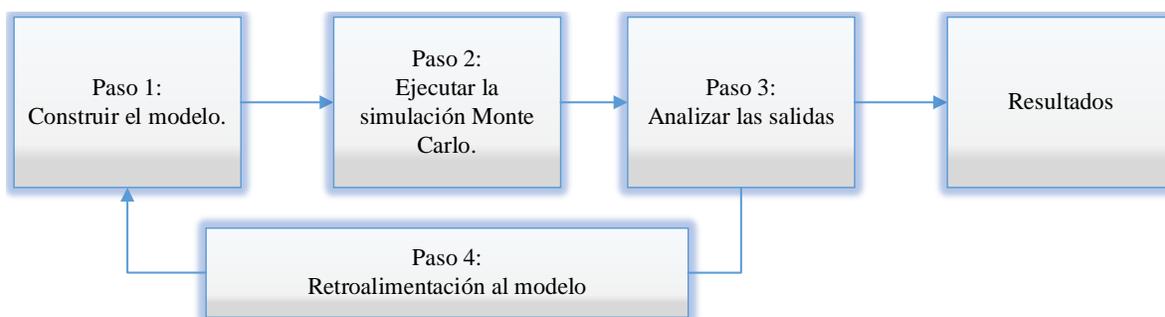


Ilustración 12. Proceso de estudio de simulación en cualquier Software.

2.2.1 Paso 1: Construir el modelo.

En este paso desarrollamos y construimos el modelo de manera que se comporte como el problema real o la situación de interés. Para este primer paso haremos uso del Menú Definir de la barra de herramientas de Oracle Crystal Ball como se muestra en la ilustración 13.



Ilustración 13. Menú Definir de Crystal Ball.

El Menú Definir nos permitirá definir y seleccionar suposiciones, variables de decisión y pronósticos (previsión) y definir correlaciones; asimismo nos permite copiar, pegar y borrar suposiciones, variables de decisión, pronósticos, correlaciones y configurar preferencias de celdas. En esta sección se procederá a la explicación para definir las suposiciones, el pronóstico, variables de decisión y las correlaciones.

2.2.1.1 Definición de suposiciones.

En cualquier modelo existen factores o variables que son inciertas, estos factores son denominados como suposiciones. Para definir una suposición para una celda de valor en Crystal Ball es necesario elegir una distribución de probabilidad que describa la incertidumbre de los datos de la celda.

El tipo de distribución elegido depende de las condiciones que rodean a la variable. En Crystal Ball podemos seleccionar la distribución o Crystal Ball puede encontrar aquella distribución que se ajuste mejor a los datos.

Para definir una suposición seleccionamos la celda o el conjunto de celdas que queremos considerar como suposiciones, estas celdas pueden estar en blanco o contener valores numéricos. En el Menú Definir damos clic en Definir suposición y para cada una de las celdas seleccionadas se desplegará la galería de distribuciones que se muestra en la ilustración 14.

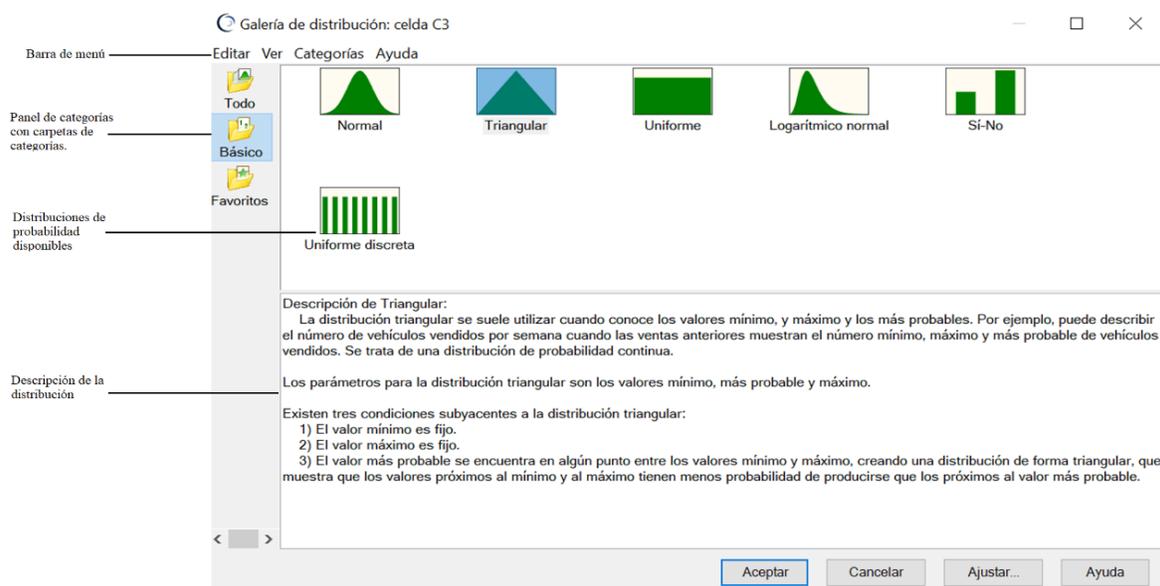


Ilustración 14. Galería de distribuciones de probabilidad.

En la galería de distribuciones seleccionamos la distribución de probabilidad para la variable incierta. Para seleccionar la distribución de probabilidad de la galería de distribuciones la guía de Oracle Crystal Ball recomienda:

1. Observar la variable en cuestión. Recopilar toda la información correspondiente que se encuentre alrededor de esta variable. Se puede recopilar información valiosa acerca de la variable incierta a partir de los datos históricos. Si no hay datos históricos disponibles, es necesario del juicio de expertos para enumerar todo lo que se sabe de la variable incierta.
2. Revisar las descripciones de las distribuciones de probabilidad. En la galería de distribuciones se describe en detalle cada distribución.
3. Seleccionar la distribución que caracteriza a esta variable. Una distribución caracteriza a una variable cuando las condiciones de distribución coinciden con las de las variables.
4. Si hay datos históricos disponibles, utilizar el ajuste de distribución para seleccionar la distribución que mejor describa los datos. Crystal Ball puede seleccionar automáticamente la distribución de probabilidad que más se aproxime a la distribución de los datos.

Una vez que hemos seleccionado la distribución de probabilidad adecuada para nuestra variable, se desplegará el cuadro de diálogo Definir suposición en donde se introducen los parámetros necesarios para dar identidad a nuestra suposición.

En nuestro ejemplo trabajaremos con la distribución BetaPert, ya que es utilizada a menudo en los modelos de administración de proyectos y conocemos los valores mínimos, máximos y los más probables para cada uno de los criterios de los costos directos. Con el fin de ejemplificar el proceso, en la ilustración 15 se muestra la definición de suposición para el criterio de equipo, no olvidar que cada criterio de los costos directos es una variable incierta, por lo que debe ser definida como suposición.

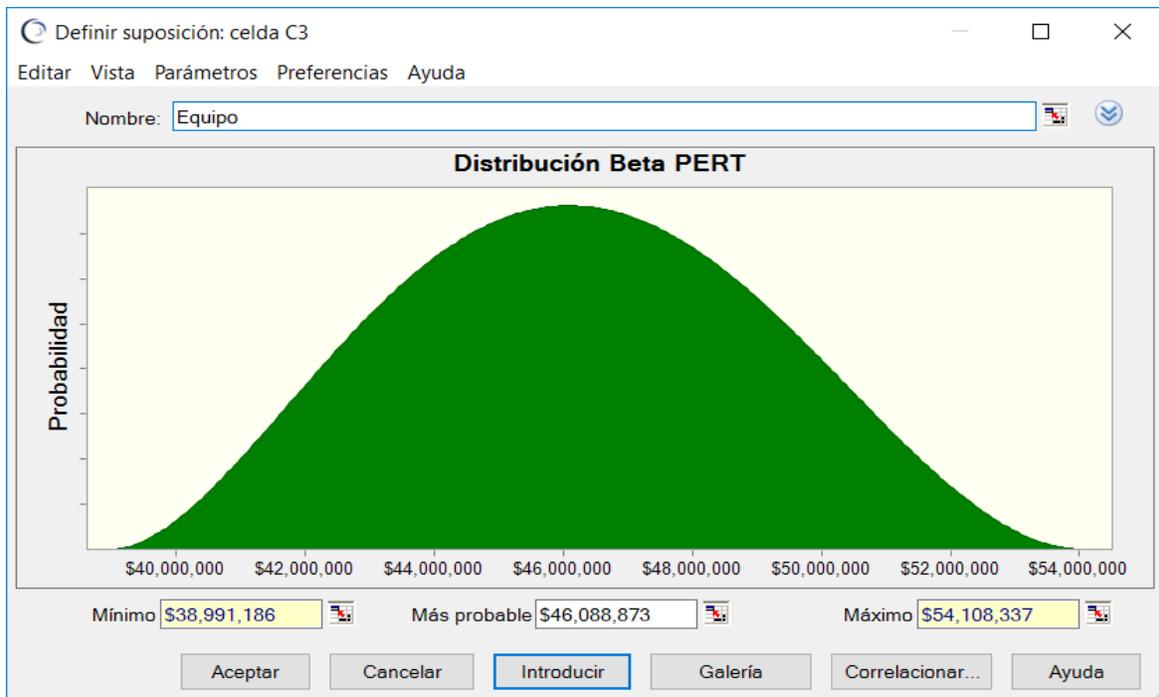


Ilustración 15. Definición de suposición para el equipo.

2.2.1.2 Definición del pronóstico (previsión).

Las celdas de pronóstico o previsión generalmente contienen fórmulas que hacen referencia a una o más celdas de variables de decisión y suposición para producir los resultados que se necesitan, por lo que Crystal Ball no permite una celda con un valor numérico para definir un pronóstico.

Para definir una celda de pronóstico o previsión dentro de OCB es necesario seleccionar la celda de fórmula o el rango de celdas de fórmula de interés, posteriormente ubicado en nuestro Menú Definir seleccionaremos la herramienta Definir Previsión, inmediatamente se desplegará el cuadro de diálogo Definir previsión como se muestra en la ilustración 16. En este cuadro se debe definir el nombre de la previsión y las unidades de la previsión, realizado esto se procede a dar clic en aceptar. En nuestro ejemplo, la variable de pronóstico o previsión es el costo directo total estimado definido como la suma da cada uno de los criterios de los costos directos del proyecto.

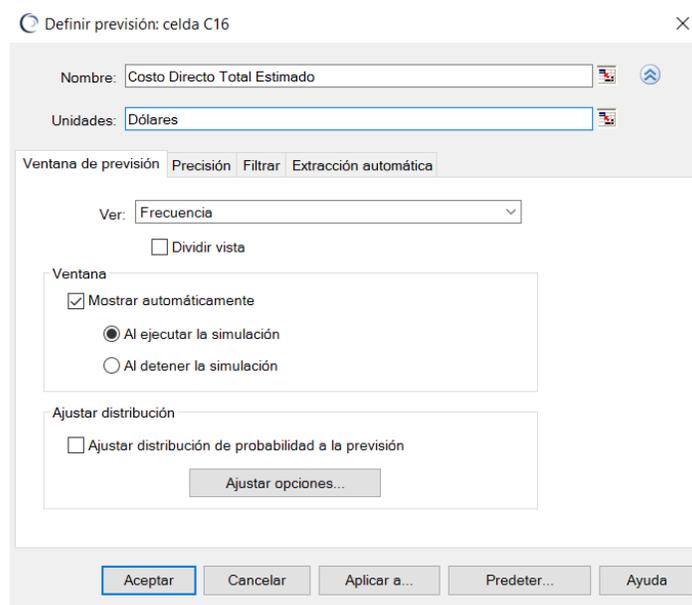


Ilustración 16. Definición de previsión del costo directo total estimado.

En la Tabla 3 se muestran las suposiciones y el pronóstico ya definidos para nuestro ejemplo, en donde las suposiciones están denotadas con color verde y la celda de pronóstico de color azul. (Archivo de referencia: Dentro de la carpeta del capítulo 2 el archivo de Microsoft Excel [Modelo_OCB.xls](#) muestra la construcción del ejemplo de la Tabla 3).

Tabla 3. Modelo para los costos directos del proyecto construido en OCB

Criterio	Costo total		
	Mínimo	Más probable	Máximo
Equipo	\$ 38,991,186	\$ 46,088,873	\$ 54,108,337
Tubería	\$ 3,468,587	\$ 7,775,797	\$ 15,317,767
Civil	\$ 1,920,403	\$ 3,776,876	\$ 7,126,940
Acero	\$ 556,851	\$ 1,330,425	\$ 2,669,520
Instrumentos	\$ 3,465,728	\$ 8,701,674	\$ 17,694,511
Eléctrico	\$ 1,196,388	\$ 2,784,363	\$ 5,545,677
Aislamiento	\$ 791,538	\$ 1,568,010	\$ 2,966,453
Pintura	\$ 236,867	\$ 399,249	\$ 708,366
Fletes, Gastos de Aduana, Seguros, Maniobras y Refaccionamiento	\$ 2,680,859	\$ 3,285,366	\$ 4,119,849
Renta de Maquinaria	\$ 1,384,915	\$ 1,697,200	\$ 2,128,289
Ingeniería Básica, Detalle y Complementaria	\$ 5,452,921	\$ 6,682,501	\$ 8,379,856
Permisos	\$ 1,181,980	\$ 1,448,505	\$ 1,816,425
Pruebas y Puesta en Marcha	\$ 1,772,971	\$ 2,172,758	\$ 2,724,639
Costo Directo Total Estimado		\$ 87,711,598	

Como se ha mencionado una celda de pronóstico o previsión puede ser función de variables de suposición o de decisión, las variables de decisión requieren un enfoque diferente comparado con las variables de suposición por lo que este tema será discutido más adelante.

2.2.1.3 Definir correlaciones.

Crystal Ball permite definir correlaciones entre pares de suposiciones. Estas correlaciones se describen en términos matemáticos utilizando un coeficiente de correlación, un número entre -1.0 y +1.0 que mide el grado de la correlación.

Un valor positivo significa que cuando una suposición es alta, es probable que el otro lo sea también, mientras que valor negativo significa que las suposiciones se relacionan inversamente, cuando uno es alto, es probable que el otro sea bajo.

Para definir una correlación es necesario seleccionar la suposición a la que le queremos definir una correlación, posteriormente nos vamos al Menú Definir y damos clic al icono de Definir correlaciones, inmediatamente se desplegará automáticamente el cuadro de diálogo Definir correlaciones como se muestra en la ilustración 17.

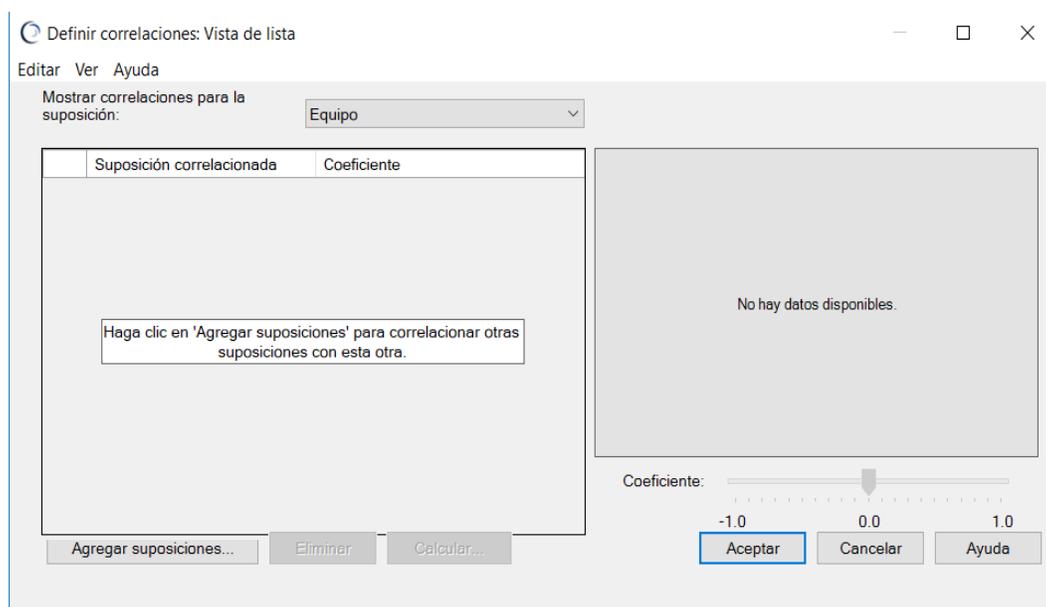


Ilustración 17. Cuadro de diálogo para definir correlaciones.

Una vez que se ha desplegado el cuadro de diálogo para definir correlaciones hacemos clic en Agregar suposiciones, inmediatamente se desplegará el cuadro de diálogo Elegir suposiciones como se muestra en la ilustración 18, en este cuadro se pueden visualizar las demás suposiciones definidas, de esta lista se procede a seleccionar la segunda suposición para a completar la correlación. Para fines de ejemplificar este proceso se correlacionará la suposición de equipo con pintura.

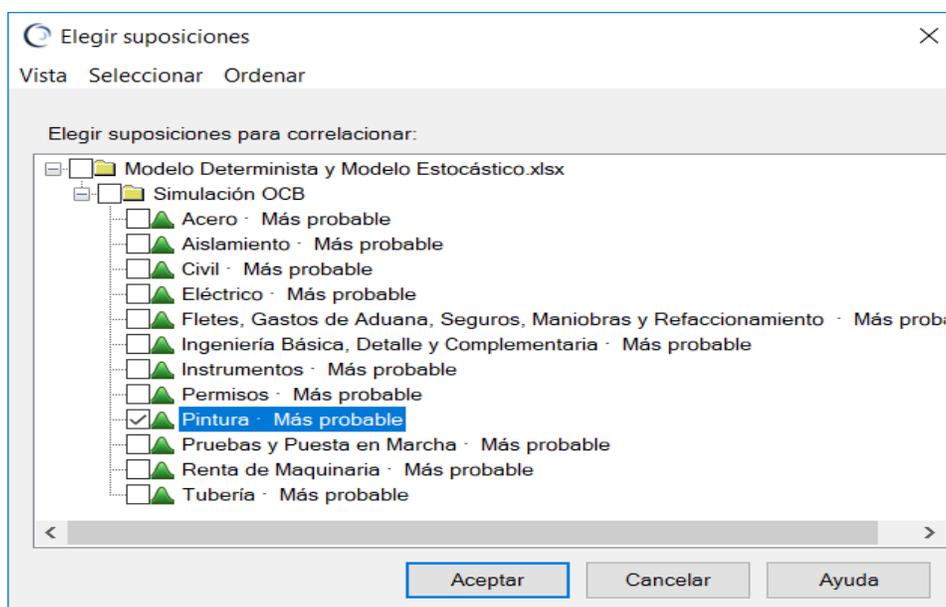


Ilustración 18. Cuadro para elegir la suposición para correlacionar.

Cuando se ha seleccionado la suposición para correlacionar de la lista de suposiciones y se ha dado clic en Aceptar, se podrá visualizar en el cuadro de diálogo Definir correlaciones. Por último, es necesario introducir el valor del coeficiente de correlación para la correlación establecida.

Para nuestro ejemplo hemos correlacionado la suposición de equipo con la suposición de pintura, para esta correlación supondremos un coeficiente de correlación de 0.5, este proceso se muestra en la ilustración 19.

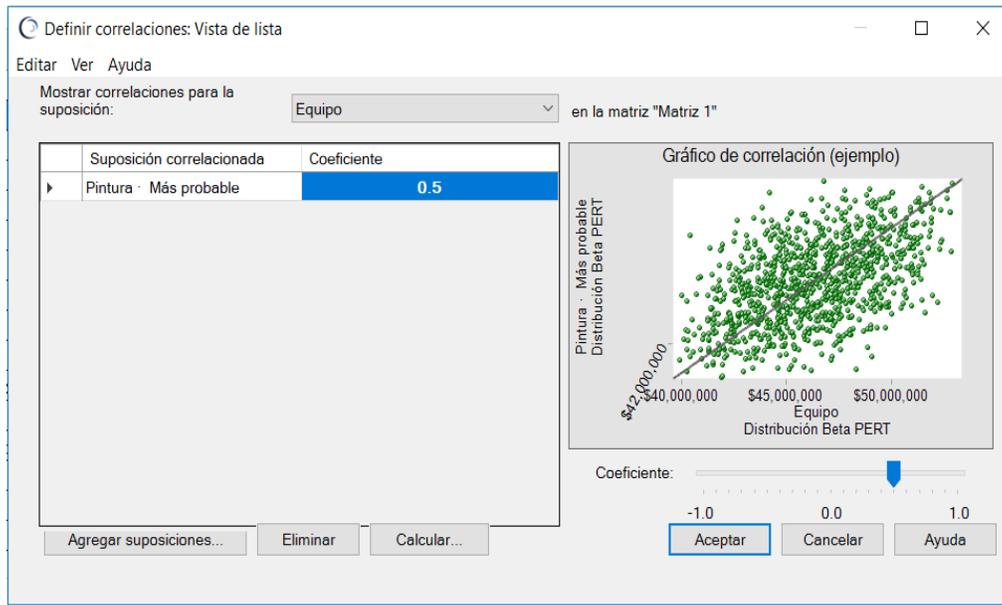


Ilustración 19. Correlación entre el equipo y pintura con un coeficiente de correlación de 0.5.

Las correlaciones en la construcción de los modelos en OCB juega un papel importante, ya que en una situación real un evento puede tener un resultado positivo o negativo dependiendo de la ocurrencia de otro evento. Para fines de simplicidad se ha decidido que en el ejemplo de los costos directo del proyecto no se utilizarán correlaciones.

2.2.2 Paso 2: Ejecutar la simulación Monte Carlo

Luego de haber construido nuestro modelo a través de la definición de suposiciones, pronósticos y opcionalmente de variables de decisión y de establecimiento de correlaciones, se procede a ejecutar la simulación Monte Carlo. Durante la simulación, Crystal Ball crea un gráfico de previsión para cada celda de pronóstico usando distribuciones de frecuencia para mostrar el rango de posibles resultados.

Durante el transcurso de una simulación en Crystal Ball, se podrá en cualquier momento detener, restablecer y continuar dicha simulación en cualquier momento, así como también manipular los gráficos de pronósticos independientemente, mostrándolos u ocultándolos según lo que se necesite. Para este segundo paso haremos uso del Menú Ejecutar de la barra de herramientas de Oracle Crystal Ball como se muestra en la ilustración 20.



Ilustración 20. Menú Ejecutar de Crystal Ball

El Menú Ejecutar inicia, detiene, reanuda y restablece simulaciones; ejecuta simulaciones paso a paso; guarda y restaura resultados de simulación; y establece preferencias de ejecución. En esta sección se procederá a ejecutar la simulación para el costo directo total estimado del proyecto se explicará cada una de las funciones del Menú Ejecutar.

2.2.2.1 Cuadro de diálogo Preferencias de ejecución.

Dentro del Menú Ejecutar, la función más importante es Preferencias de ejecución. Esta función define cómo el usuario quiere ejecutar la simulación, inmediatamente al dar clic a este botón se desplegará el cuadro de diálogo Preferencias de ejecución.

Dentro de este cuadro aparecen pestañas que son muy útiles para ejecutar la simulación deseada, estas pestañas son: Pruebas, Muestreo, Velocidad, Opciones y Estadísticas.

2.2.2.1.1 La pestaña Pruebas.

En la pestaña Pruebas establece las preferencias que detienen una simulación: número de pruebas, errores de cálculo y control de precisión. En este cuadro se definen cuantas pruebas deben ser ejecutadas, la precisión con la que queremos simular el modelo y si se debe continuar o detener la simulación después de un error de cálculo.

La pestaña Pruebas del cuadro de diálogo Preferencias de ejecución tiene la siguiente configuración:

- **Número de pruebas para ejecutar:** define el número máximo de pruebas que Crystal Ball ejecuta antes de detener la simulación. Crystal Ball solo utiliza el número máximo de pruebas si los resultados del pronóstico no cumplen antes los otros criterios de detención.

- **Detener en errores de cálculo:** si esta seleccionada esta opción, la simulación se detiene cuando se produce un error matemático (por ejemplo, la división por cero) en cualquier celda de pronóstico.
- **Detener cuando se alcancen los límites de control de precisión:** cuando se selecciona esta opción, la simulación se detiene cuando determinadas estadísticas alcanzan un nivel determinado de precisión.
- **Nivel de confianza:** establece el nivel de confianza (nivel de confianza) que indica el momento en que se detiene la simulación.

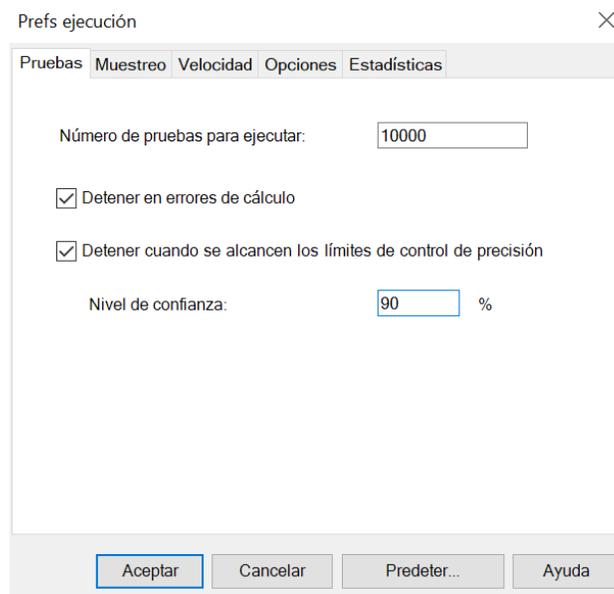


Ilustración 21. Cuadro de diálogo Preferencias de ejecución (Pruebas).

2.2.2.1.2 La pestaña Muestreo

La pestaña Muestreo establece el valor de inicialización de muestreo, el método de muestreo y el tamaño de la muestra.

La pestaña Muestreo tiene la siguiente configuración:

- **Usar misma secuencia de números aleatorios:** establece el generador de números aleatorios para generar el mismo conjunto de números aleatorios para suposiciones, para que pueda repetir los resultados de la simulación. Cuando se selecciona esta

opción, se debe introducir un valor de inicialización entero en el cuadro de texto Valor de elemento inicial.

- **Método de muestreo:** indica si se debe utilizar el muestreo de simulación Hipercubo latino o Monte Carlo. El muestreo Hipercubo latino genera valores de manera más uniforme y consistente en la distribución, pero necesita más memoria.
- **Tamaño de muestra:** para el muestreo Hipercubo latino, divide cada distribución en el número especificado de intervalos (bandejas). Un número más alto aumenta la uniformidad del método de muestreo, si bien reduce la aleatoriedad.

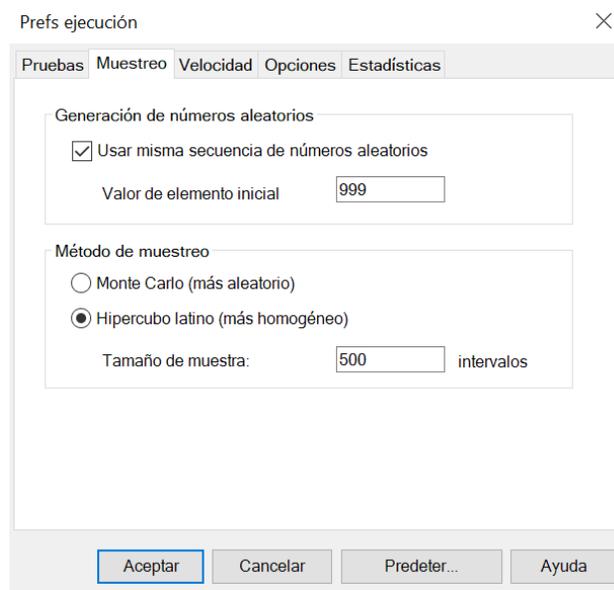


Ilustración 22. Cuadro de diálogo Preferencias de ejecución (Muestreo).

2.2.2.1.3 La pestaña de Velocidad.

La pestaña de Velocidad ajusta la velocidad con la que se ejecuta una simulación. Crystal Ball sólo se ejecuta en las velocidades normal o de demostración. Si se selecciona la velocidad normal o de demostración, el botón Opciones estará activo y el usuario podrá configurar otras opciones.

La pestaña de Velocidad tiene la siguiente configuración:

- **Velocidad normal:** opción de simulación estándar para el procesamiento general de modelos.

- **Velocidad de demostración:** ejecuta simulaciones con lentitud para que resulte ver con facilidad el cambio en los valores de las celdas y los gráficos de la hoja de cálculo de Microsoft Excel.
- **Ventanas de gráfico:** establece la tasa de nuevo dibujo para cualquier gráfico abierto durante la simulación. La opción Volver a dibujar cada cierto segundo define la tasa de nuevo dibujo en términos de tiempo, mientras que la opción Suprimir ventanas de gráfico cierra todos los gráficos durante la simulación.

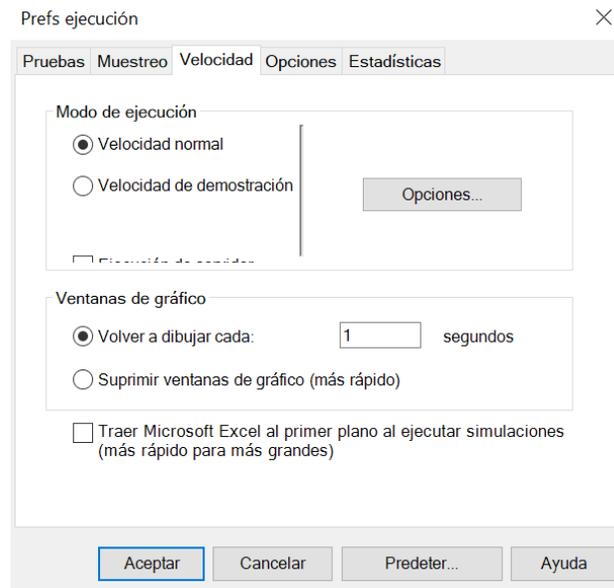


Ilustración 23. Cuadro de diálogo Preferencias de ejecución (Velocidad).

2.2.2.1.4 La pestaña Opciones.

La pestaña Opciones establece una serie de preferencias de ejecución.

La pestaña Opciones tiene la siguiente configuración:

- **Almacenar valores de suposición para análisis de sensibilidad:** almacena valores generados de forma aleatoria durante la simulación para la exportación a una hoja de cálculo utilizando el comando Extraer datos. Esta opción también permite guardar datos para su visualización en gráficos de sensibilidad. Los gráficos de sensibilidad no estarán disponibles sino se activa esta opción antes de ejecutar la simulación.
- **Habilitar correlaciones:** activa cualquier correlación definida entre suposiciones.

- **Asumir cero en correlaciones no especificadas:** si se selecciona, inserta un cero en celdas vacías de una matriz de correlación; de lo contrario, se calculan valores a partir de correlaciones existentes.
- **Ejecutar macros definidas por el usuario:** permite ejecutar cualquier macro definida por el usuario como parte del proceso de simulación.
- **Mostrar el panel de control:** activa el panel de control cuando se restablece una simulación.

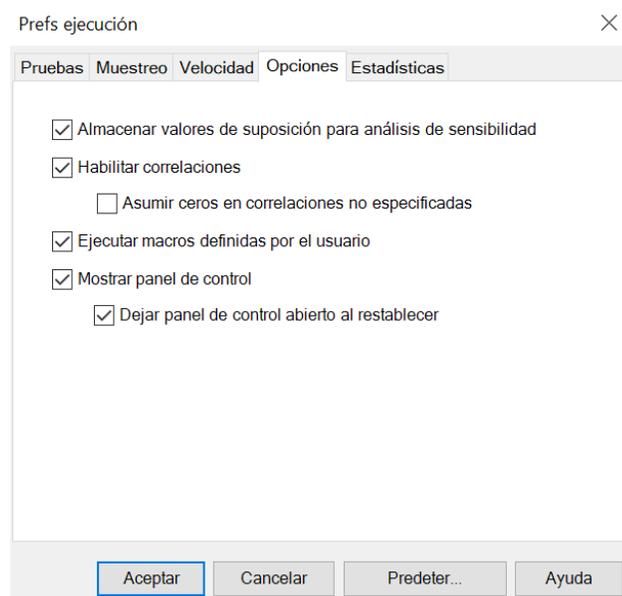


Ilustración 24. Cuadro de diálogo Preferencias de ejecución (Opciones).

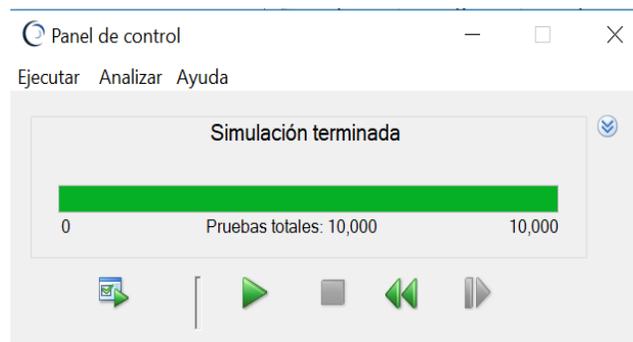


Ilustración 25. Panel de control de la simulación.

2.2.2.1.5 La pestaña Estadísticas.

La pestaña Estadísticas determina cómo Crystal Ball muestra los percentiles. La configuración de esta pestaña también activa las métricas de capacidad para admitir Six Sigma y otros programas de calidad.

La pestaña Estadísticas tiene la siguiente configuración:

- **Calcular percentiles como:** determina cómo Crystal Ball define los percentiles, además define los percentiles como un cambio de porcentaje (probabilidad) en el que se encuentra el valor de variable asociada, ya sea por debajo o por encima de un valor concreto.
- **Dar formato a percentiles como:** determina cómo Crystal Ball muestra los percentiles en gráficos e informes.
- **Calcular métricas de capacidad:** activa las funciones de capacidad del proceso de Crystal Ball; si se selecciona, Crystal Ball muestra métricas de capacidad que indican la calidad del proceso, siempre que se introduzca al menos un límite de especificación superior o inferior en el cuadro de diálogo Definir previsión.

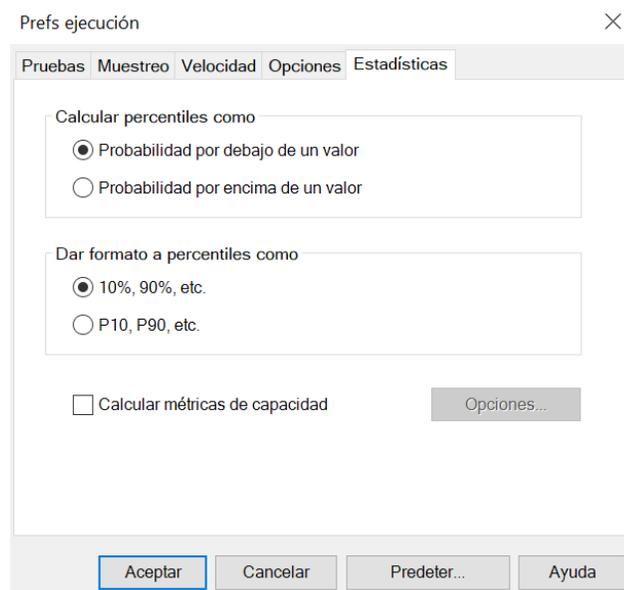


Ilustración 26. Cuadro de diálogo Preferencias de ejecución (Estadísticas).

Una vez que se han seleccionado las preferencias para ejecutar la simulación y asumiendo que se ha construido correctamente el modelo definiendo las celdas de suposición y de pronóstico, podemos dar clic en el botón Iniciar del Menú Ejecutar. Durante una simulación, Crystal Ball crea un gráfico de previsión en donde se condensa toda la información para cada celda de previsión (pronóstico)

Al ejecutar simulación hay dos salidas de forma predeterminada: el Panel de control como se observa en la ilustración 25 y el gráfico de previsión de la ilustración 28. Para nuestro caso el gráfico de previsión que se muestra es para el “Costo directo total estimado” que se ha definido como pronostico en la Tabla 4.

Hasta este momento hemos concluido el paso 2 del proceso de Simulación Monte Carlo en OCB, lo siguiente es analizar las salidas centrándonos en los detalles y en las tendencias generales.

2.2.3 Paso 3: Analizar las salidas.

Para analizar las salidas es fundamental conocer el proceso tras bambalinas para entender cómo Crystal Ball determina la probabilidad de éxito (nivel de certeza) de lograr el valor deseado y discutir las partes de un gráfico de previsión para interpretar correctamente los resultados.

2.2.3.1 Tras bambalinas de Crystal Ball.

Para cada prueba de simulación, Crystal Ball repite el proceso que se muestra en la ilustración 27. Para la explicación de este proceso nos apoyaremos del ejemplo que hemos simulado para determinar la probabilidad de éxito de lograr un costo directo total estimado de \$87,711,597 para los costos directos del proyecto. El proceso contempla tres pasos que se repiten para cada una de las pruebas que han sido definidas en el cuadro de diálogo Preferencias de ejecución.

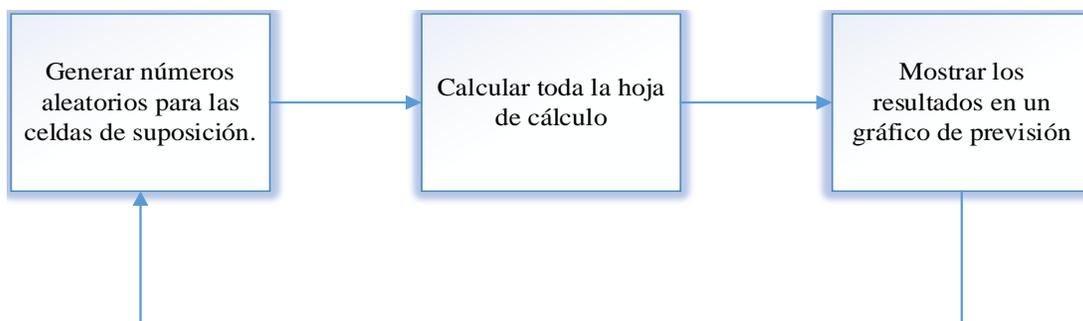


Ilustración 27. Proceso que se repite cada prueba en una simulación.

Paso 1: Generar números aleatorios para las celdas de suposiciones.

En la sección 2.2.1, hemos definido los criterios de los costos directos como suposiciones, por otra parte, hemos definido la celda de previsión (pronóstico) como el costo directo total estimado (Tabla 3).

Para cada celda de suposición Crystal Ball genera un número aleatorio de acuerdo al rango definido por la distribución de probabilidad que hemos seleccionado. El Anexo B profundiza como el método de muestreo Hipercubo Latino genera estos números aleatorios y cómo se calculan los posibles valores para cada suposición. Para nuestro ejemplo, supongamos que los números aleatorios generan las siguientes posibilidades para cada suposición:

Tabla 4. Posible escenario para cada suposición de los costos directos del proyecto.

Criterio	Costo total
Equipo	\$ 44,328,275
Tubería	\$ 7,766,711
Civil	\$ 3,266,894
Acero	\$ 1,348,039
Instrumentos	\$ 9,375,877
Eléctrico	\$ 1,837,720
Aislamiento	\$ 1,371,485
Pintura	\$ 355,304
Fletes, Gastos de Aduana, Seguros, Maniobras y Refaccionamiento	\$ 3,241,702
Renta de Maquinaria	\$ 1,834,334
Ingeniería Básica, Detalle y Complementaria	\$ 6,503,572
Permisos	\$ 1,345,033
Pruebas y Puesta en Marcha	\$ 1,985,965
Costo Directo Total Estimado	\$ 84,560,911

Paso 2: Calcular toda la hoja de cálculo.

Una vez que se han determinado los posibles valores para las celdas de suposición se procede a calcular toda la hoja de cálculo. Para nuestro ejemplo, hay que recordar que nuestra celda de previsión (pronóstico) ha sido definida como la suma de cada uno de los criterios que se contemplan como costo directo dentro del proyecto, por lo que el resultado del costo directo total estimado será de \$84,560,911.

Paso 3: Mostrar los resultados en un gráfico.

Una vez que se ha generado el valor para la celda de pronóstico, en este caso \$84,560,911 se grafica en un gráfico de previsión como se muestra en la ilustración 28. De la misma forma, el proceso se repite el número de pruebas que se haya definido en el cuadro de diálogo Preferencias de ejecución.

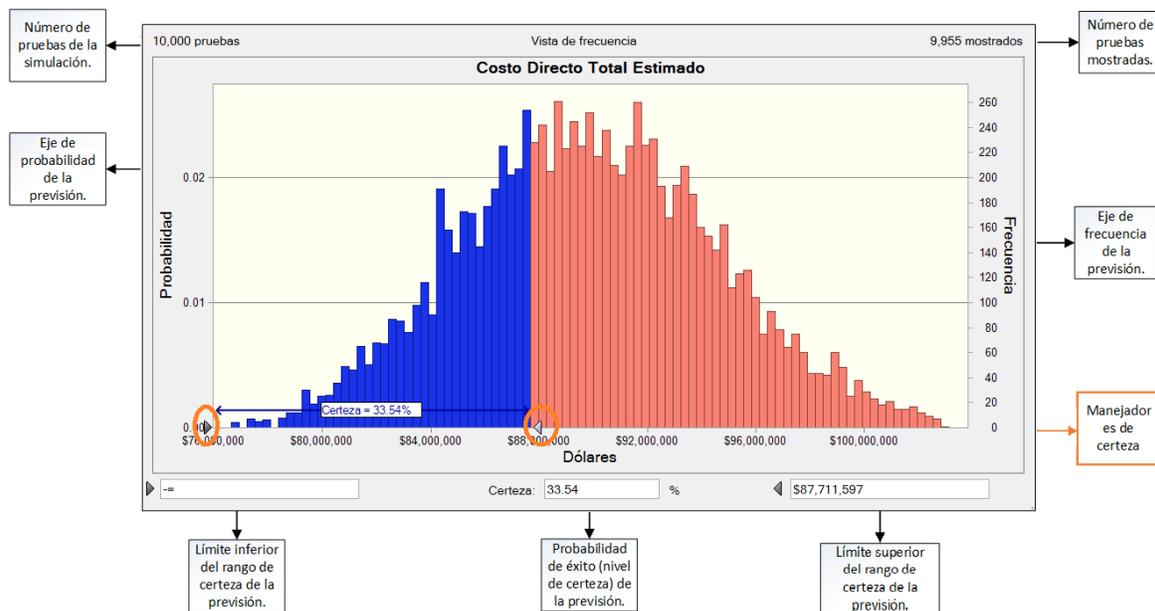


Ilustración 28. Gráfico de previsión para el "Costo directo total estimado".

Los gráficos de previsión generados por Crystal Ball son distribuciones de frecuencia, que muestran el número o la frecuencia de valores que se producen en un determinado intervalo de grupo (bandeja), la distribución de las frecuencias y el rango de certeza de la previsión. Crystal Ball compara el número de valores en el rango de certeza con el número de valores en el rango completo para calcular el nivel de certeza.

La ilustración 28 es el gráfico de previsión para el costo directo total estimado de \$87,711,597, para nuestro ejemplo la bandeja de interés es la primera columna de derecha a izquierda de color azul que representa valores entre \$87,621,293 y \$87,711,597. Anteriormente en la Tabla 3, hemos dado una combinación de valores para las suposiciones que concluyen en un pronóstico de \$87,711,597, sin embargo, debido a que ese proceso se repite por cada prueba definida, nosotros podemos obtener un costo total estimado de \$87,711,597 a partir de diferentes combinaciones de valores para las suposiciones.

Para este gráfico podemos ver que el número posible de combinaciones o frecuencia que resultan en un costo directo total estimado entre \$87,621,293 y \$87,711,597 es alrededor de 250 de acuerdo al eje de Frecuencia.

En el caso del eje de Probabilidad para nuestra simulación, nosotros ejecutamos 10,000 pruebas, de las cuales aproximadamente 250 resultaron en un costo directo total estimado entre \$87,621,293 y \$87,711,597. Por lo tanto, la probabilidad de obtener un costo total estimado dentro de esta bandeja es de $250/10,000=0.025$

2.2.3.2 Probabilidad de éxito o Nivel de certeza.

Hemos discutido cómo la bandeja de valores de pronóstico entre \$87,621,293 y \$87,711,597 tiene una frecuencia de 250 y una probabilidad de 0.025. De manera similar, en el gráfico de previsión podemos notar todos los valores posibles para la celda de pronóstico. En el área azul de la ilustración 23 podemos ver que existen diferentes columnas o bandejas de valores de pronóstico y que cada una cuenta con su propio valor de frecuencia y probabilidad.

Para el ejemplo planteado nosotros queremos conocer la probabilidad de éxito de lograr un costo directo total estimado de \$87,711,597 para los costos directos del proyecto. La certeza de lograr este resultado es de 33.54% como se muestra en la caja de certeza ubicado en la parte central inferior de la ilustración 28. La certeza básicamente es la suma de las frecuencias de las bandejas o columnas de la sección azul dividida entre el número total de pruebas ejecutadas por Crystal Ball.

2.2.3.3 Analizando las salidas.

Después de ejecutar el modelo definido en la Tabla 3 para los costos directos del proyecto y de observar el gráfico de previsión podemos llegar a las siguientes conclusiones:

Evaluación de la probabilidad de éxito para un costo total estimado en particular: La ilustración 28 representa el gráfico de previsión para el costo total estimado. Para nuestro ejemplo, se obtuvo una probabilidad de 33.54 % para el costo directo total estimado de \$87,711,597 para los costos directos del proyecto. Dentro del gráfico de previsión se puede obtener la probabilidad de un costo en particular, esta acción se lleva a cabo introduciendo el valor del costo en la caja del límite superior.

Evaluación de lograr un costo total estimado con una probabilidad de éxito en particular: Suponiendo que el departamento de ingeniería de costos no está conforme con el resultado y quiere un nivel de certeza de 80%. En este caso, nosotros podemos introducir la probabilidad de éxito requerida y determinar el costo correspondiente a esa probabilidad. En la ilustración 29 se muestra que la organización debe asumir que el costo directo total estimado del proyecto sea de \$93,847,530 para tener una probabilidad del 80%. Para determinar el costo de una probabilidad en particular debemos de introducir el valor deseado en la caja de la probabilidad de éxito (Certeza) y automáticamente el valor del costo aparecerá en la caja del límite superior siempre y cuando se fije el manejador de certeza inferior.

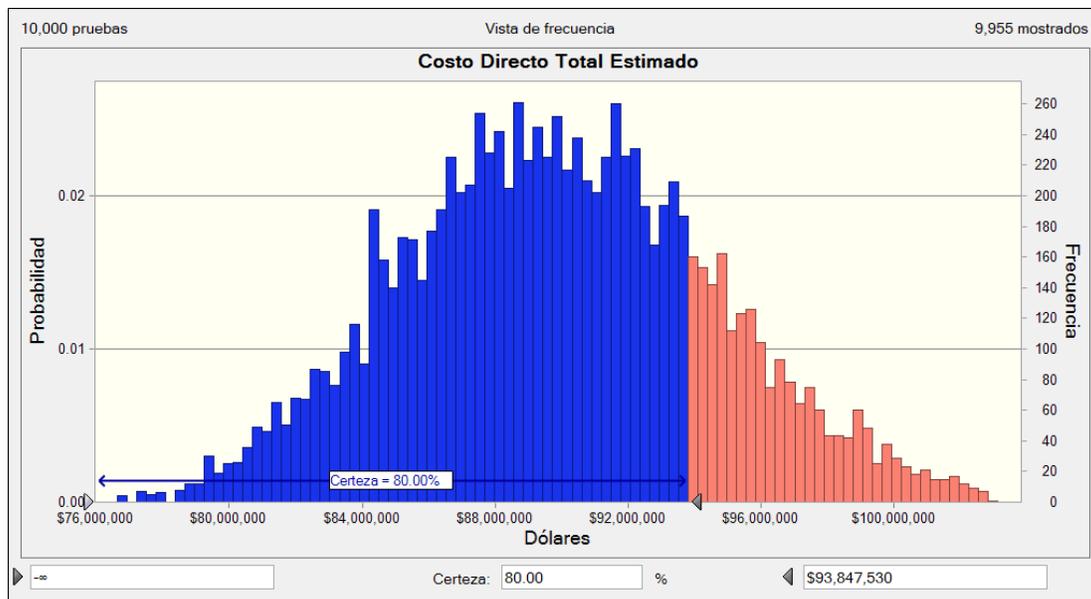


Ilustración 29. Gráfico de previsión para el costo directo total estimado para una probabilidad del 80%.

En este caso el departamento de ingeniería de costos no puede asumir este costo de \$93,847,530, por lo que se debe retroalimentar el modelo construido de la Tabla 3 para garantizar un costo directo total estimado de \$87,711,597 con un nivel de certeza del 80. En la siguiente sección, se desarrollan modificaciones para retroalimentar el modelo y lograr el objetivo.

2.2.4 Paso 4: Retroalimentación al modelo.

Con el fin de lograr una probabilidad de éxito del 80% para el costo directo total estimado de \$87,711,597, haremos uso de los gráficos de sensibilidad que genera Crystal Ball. Los gráficos de sensibilidad muestran la influencia de cada celda de suposición en una celda de previsión, en este caso nos mostrará la influencia de cada uno de los criterios que componen el costo directo total estimado. La sensibilidad general de una previsión para una suposición es una combinación de dos factores: la sensibilidad del modelo de la previsión a la suposición y la incertidumbre de la suposición.

Durante una simulación, Crystal Ball clasifica las suposiciones según su importancia para cada celda de previsión. Los gráficos de sensibilidad muestran estas clasificaciones como un gráfico de barras, para acceder a estos gráficos debemos dar clic en la pestaña Previsión en el gráfico de previsión y seleccionar la opción Abrir gráfico de sensibilidad.

De acuerdo a OCB los gráficos de sensibilidad proporcionan las siguientes ventajas clave:

1. Averiguar qué suposiciones están influyendo más en las previsiones, con lo que hace falta menos tiempo para afinar estimaciones
2. Averiguar qué suposiciones están influyendo menos en las previsiones, de modo que se puede ignorar o descartar
3. Crear modelos de hoja de cálculo más realistas y aumentar la precisión de los resultados.

El gráfico de sensibilidad para el costo directo total estimado se muestra en la ilustración 30 y nos puede permitir retroalimentar el modelo para obtener una probabilidad de éxito de 80% (nivel de certeza) de lograr un costo directo total estimado de \$87,711,597.

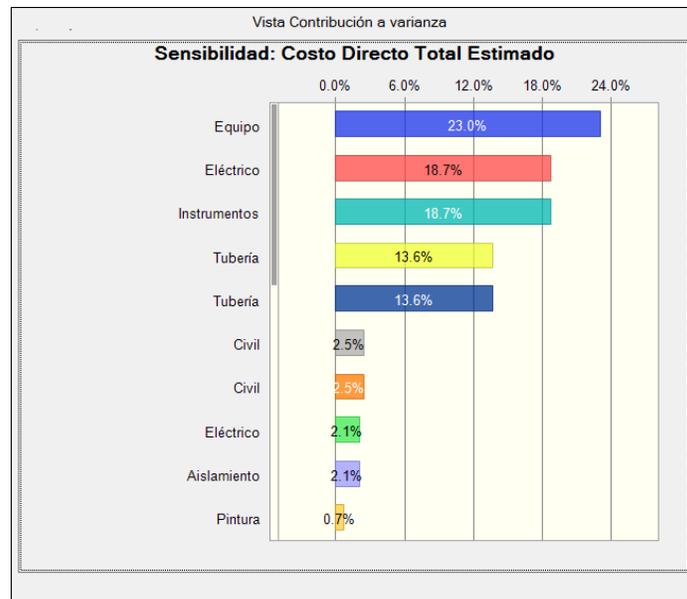


Ilustración 30. Gráfico de sensibilidad para el costo directo total estimado.

El gráfico de sensibilidad presentado en la ilustración 30 nos permite identificar que la suposición tiene más influencia en el costo directo total estimado. La variación del costo directo total del proyecto se ve influenciada significativamente por tres criterios, mayoritariamente por un 37.4% debido al equipo, seguido de un 30.4 % debido a los instrumentos y finalmente un 22.1 % debido a la tubería. Esto implica que necesitamos reducir la incertidumbre en estos criterios para reducir la variación en el costo directo total estimado.

En la retroalimentación del modelo se involucra la toma de decisiones por parte de los líderes de las organizaciones, dado que este es un ejemplo para demostrar el uso de Crystal Ball con el fin de aplicarlo al método “*Evaluador de Probabilidad de éxito*” (POSE), supongamos que la decisión tomada por parte del departamento de ingeniería ha sido recurrir a requisiciones de información con los proveedores con el fin de afinar el costo del equipo y de los instrumentos. Realizado este proceso, el departamento de ingeniería decide fijar los costos de equipo y de instrumentos con un valor de \$43,784,429 y \$ 8,266,590 respectivamente, es importante mencionar que el lector no se debe centrar en esta decisión, sino en el efecto que tiene en el pronóstico.

Definido el valor de \$43,784,429 para el equipo y el valor de \$8,266,590 para los instrumentos, estos pasan a ser valores deterministas, por lo cual no requiere de distribución. Por otra parte, los demás criterios que componen el costo directo del proyecto permanecen con las mismas distribuciones definidas en la Tabla 3. Realizando los cambios en la hoja de cálculo de Microsoft Excel y ejecutando la simulación se obtienen el gráfico de previsión de la ilustración 31. (Archivo de referencia: Dentro de la carpeta del capítulo 2 el archivo de Microsoft Excel [Modelo_OCB_Retro.xls](#) muestra la construcción del ejemplo de la Tabla 6).

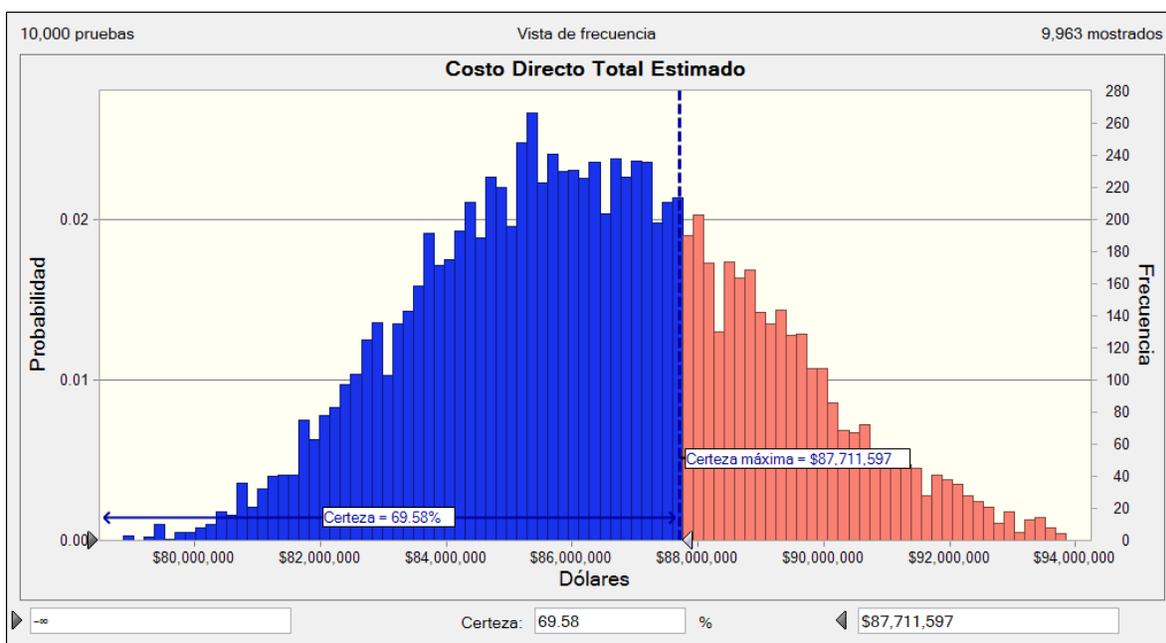


Ilustración 31. Gráfico de previsión para el costo directo total estimado con los valores deterministas del equipo y de los instrumentos.

En la ilustración 31 podemos observar que la probabilidad de éxito ha aumentado a 69.58%, sin embargo, aún no hemos garantizado un nivel de certeza de 80%. Debido a esto, el departamento de ingeniería de costos realiza un análisis de todos los criterios restantes y concluye que el único criterio en el que puede reducir costos es en la Ingeniería Básica, Detalle y complementaria a través del costo de la hora hombre (H-H).

El costo de Ingeniería Básica, Detalle y complementaria se determinó considerando la información que se muestra en la siguiente tabla, la cual muestra el resumen de horas hombre para Ingeniería, así como su costo desglosando considerando un costo promedio de hora

hombre de \$121.23, \$111.31, \$103.99 para la Ingeniería Básica, Detalle y Complementaria (Procura) respectivamente.

Tabla 5. Estimado de H-H para la Ingeniería Básica, Detalle y Complementaria.

Criterio	H-H	Costo (USD)
Ingeniería Básica	12,698	\$1,539,400.00
Ingeniería Detalle	38,295	\$4,262,801.00
Ingeniería Complementaria (Procura)	8,465	\$880,300.00
Costo total de Ingeniería Básica, Detalle y Complementaria.	59,458	\$6,682,501.00

Para reducir costos en la Ingeniería Básica, Detalle y Complementaria, el departamento ha decidido modificar el costo promedio de la hora hombre de cada criterio de Ingeniería, en este caso se ha decidido reducir como máximo un 20% y como mínimo 5%. La decisión enfrenta el departamento es determinar el costo promedio de la hora hombre para criterio con el que se garantice una probabilidad del 80% de lograr el costo directo total estimado de \$87,711,597. Para simular este nuevo modelo, en la siguiente sección, consideraremos las Variables de decisión para obtener la respuesta a esta interrogante.

2.2.5 Variables de decisión.

La mayoría de modelos de simulación tienen variables que se pueden controlar, en nuestro caso el salario de la mano de obra. En Crystal Ball, estas variables controladas se denominan variables de decisión. Encontrar los valores óptimos para las variables de decisión puede significar la diferencia entre alcanzar un objetivo importante y perderlo.

2.2.5.1 Definición de una variable de decisión.

Las variables de decisión al igual que las suposiciones y las variables de pronóstico nos permiten la construcción del modelo. Aunque las variables de decisión no son requeridas por el modelo de simulación Para nuestro ejemplo, hemos decidido que el porcentaje de reducción del costo promedio de la hora hombre de la mano sea definido como variable de decisión.

Para definir una variable de decisión se selecciona la celda en la hoja de cálculo y le damos clic en la función Definir decisión en el Menú Definir de Crystal Ball, una vez que le damos clic se desplegará la ventana de la ilustración 32.

Definir variable de decisión: celda G7

Nombre:

Límites

Inferior: Superior:

Tipo

Continua

Discreta Paso:

Aceptar Cancelar Ayuda

Ilustración 32. Variable de decisión para el porcentaje de reducción.

Una vez que aparece el cuadro de diálogo de la ilustración 32, se establece el tipo de variable y los límites inferior y superior. Para nuestro caso se ha establecido el porcentaje de reducción como una variable discreta con incrementos de 5% dentro del rango de 5% a 20%. La variable de decisión definida implica que, Crystal Ball ejecutará 4 simulaciones separadas de 10,000 pruebas cada una, bajo 4 valores distintos del porcentaje de reducción, es decir, 5%, 10%, 15% y 20%. (Archivo de referencia: Dentro de la carpeta Capítulo 2 el archivo de Microsoft [Modelo OCB VD.xls](#) muestra la construcción del modelo mencionado).

Cuando se define una variable de decisión la celda de la hoja de cálculo se tornará de color amarillo. Crystal Ball ejecuta las simulaciones con un valor determinista cuando se define una variable de decisión, es decir, para nuestro caso se ejecutarán 10,000 pruebas con el valor porcentaje de reducción de 5% y otras 10,000 pruebas con el valor de 10% y así sucesivamente para determinar el nuevo costo de la Ingeniería Básica, Detalle y Complementaria que será sumado al costo directo total estimado.

2.2.5.2 Ejecutar una simulación con una variable de decisión.

Cuando se define una variable de decisión, el proceso para ejecutar una simulación es ligeramente diferente. Primero debemos de ir al Menú Herramientas de la barra de Crystal Ball. El Menú Herramientas se muestra en la siguiente ilustración:

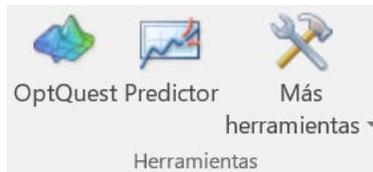


Ilustración 33. Menú Herramientas

Las herramientas de Crystal Ball son funciones que amplían la funcionalidad analítica de Crystal Ball. Dentro de las herramientas de Crystal Ball se encuentran OptQuest y Predictor que son de gran utilidad para otras aplicaciones, sin embargo, no serán discutidas en este trabajo. Para esta sección nos enfocaremos en la herramienta Tabla de decisión la cual se desplegará al dar clic en Más herramientas de la ilustración 33. Seleccionada la herramienta Tabla de decisión se desplegará el panel Previsión objetivo que se muestra en la ilustración 34.

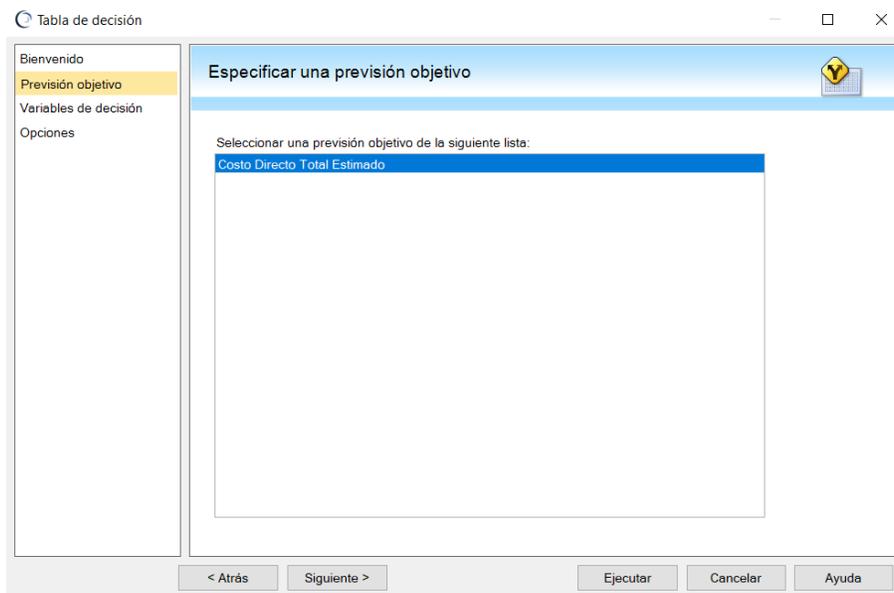


Ilustración 34. Panel de Previsión objetivo.

En el panel Previsión objetivo se indica qué previsión se va analizar, para nuestro caso solo tenemos una celda de previsión que es el costo directo total estimado, por lo que se selecciona de forma predeterminada.

Al seleccionar la previsión de interés se procede a seleccionar la variable de decisión, para llevar a cabo este proceso es necesario desplegar el panel Variables de decisión. En este panel se encontrarán todas las variables de decisión definidas, en nuestro caso la única variable de

decisión es el porcentaje de reducción, daremos clic en la variable de decisión que pretendemos probar y la moveremos a la caja Variables de decisión elegidas como se muestra en la ilustración 35.

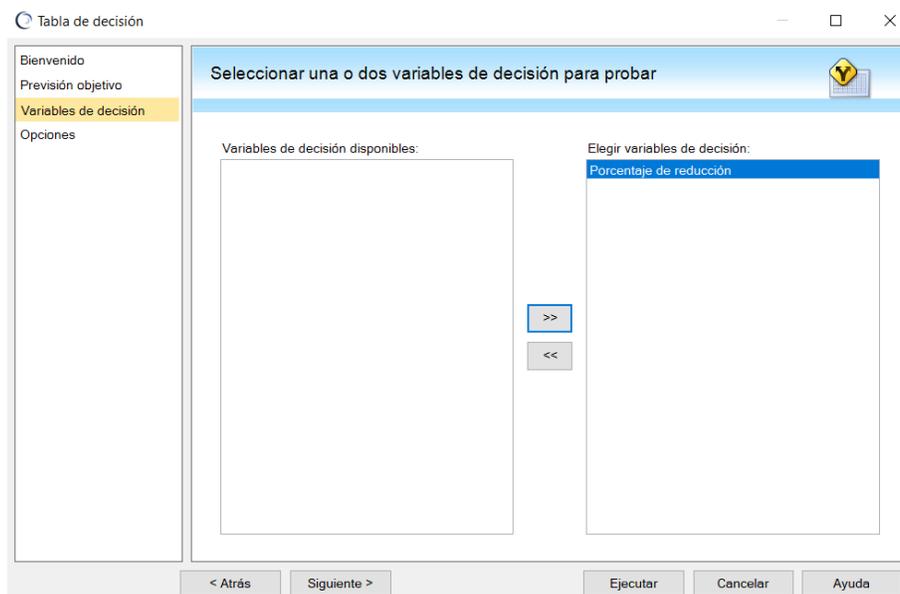


Ilustración 35. Panel Variables de decisión.

Posteriormente desplegaremos el panel Opciones que se muestra en la ilustración 36, en donde se podrán encontrar dos tipos de opciones:

- Opciones de control de simulación: establecen los valores de prueba para cada variable de decisión y establece el número máximo de pruebas que se ejecuta para cada simulación.
- Opciones de ejecución: establecen que previsiones mostrar una vez que se ejecute la simulación.

En nuestro ejemplo, hemos definido 4 valores que la herramienta probará para la variable de decisión del porcentaje de reducción del promedio de la hora hombre (5%, 10%, 15% y 20%) y 10,000 pruebas para cada uno de estos valores. Por otra parte, debido a que solo tenemos una celda de previsión o pronóstico las opciones de ejecución no son aplicables.

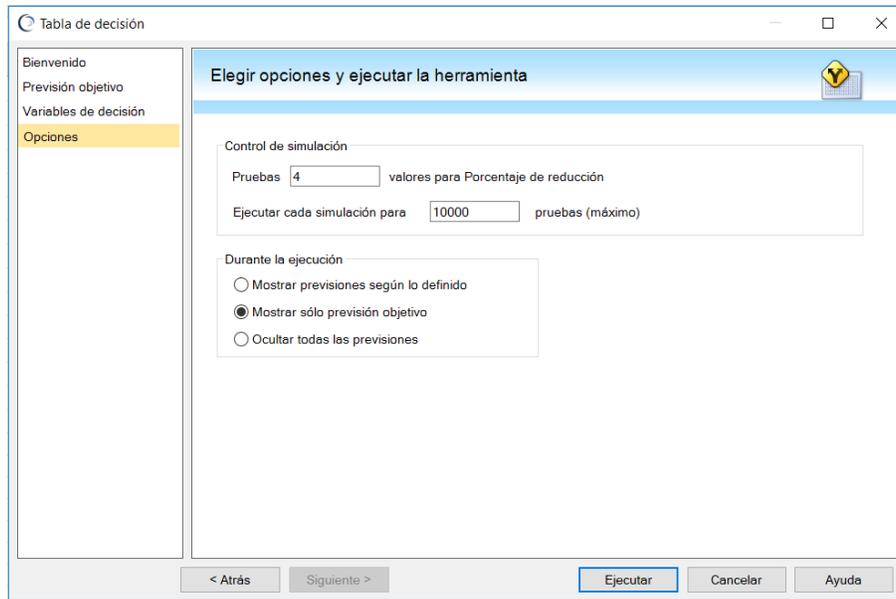


Ilustración 36. Panel de Opciones.

Una vez que hemos establecido las opciones de control de simulación y de ejecución se procede a dar clic en Ejecutar y automáticamente Crystal Ball ejecutará las simulaciones para cada valor de la variable de decisión. Cuando se terminen de ejecutar las simulaciones definidas, se abrirá una hoja de cálculo de Microsoft Excel con las salidas como se muestra en la ilustración 37.

	Porcentaje de reducción (5%)	Porcentaje de reducción (10%)	Porcentaje de reducción (15%)	Porcentaje de reducción (20%)
Gráfico de tendencia				
Gráfico de superposición				
Gráfico de previsión				
	\$85,944,313	\$85,610,188	\$85,276,063	\$84,941,938
	1	2	3	4

Ilustración 37. Salidas de la Tabla de decisión.

Para nuestro ejemplo, la herramienta Tabla de decisión ha ejecutado 4 simulaciones de 10,000 pruebas para cada uno de los valores del porcentaje de reducción. En las salidas de la Tabla de decisión se muestran los valores para el porcentaje de reducción del costo promedio de la hora hombre y su correspondiente valor de costo directo total estimado.

2.2.5.3 Analizar las salidas de la Tabla de decisión.

En esta sección analizaremos los resultados de las simulaciones y determinaremos el valor óptimo del porcentaje de reducción del costo promedio de la hora hombre para alcanzar una probabilidad de éxito del 80% para el costo directo total estimado de \$87,711,597.

Ejecutadas las simulaciones para cada uno de los valores del porcentaje de reducción, se procede a analizar individualmente los resultados de cada simulación. En la ilustración 32, nosotros podemos acceder a ellos al seleccionar la celda de costo total estimado del caso que queremos analizar y dando clic al botón Grafico de previsión.

A continuación, presentamos la Tabla que resume la información de las simulaciones ejecutadas bajo la variable de decisión.

Tabla 6. Resumen de los resultados de la Tabla de decisión.

Caso	Porcentaje de reducción	Probabilidad de lograr un costo directo total estimado de \$87,711,597.
1	5%	74.97%
2	10%	78.13%
3	15%	81.30%
4	20%	84.63%

De la Tabla 6, encontramos que el departamento de ingeniería de costos debe de considerar reducir el costo promedio de la hora hombre para Ingeniería Básica, Detalle y Complementaria en un 15% para obtener un nivel de certeza de 81.30% de lograr el costo directo total estimado de \$87,711,596 para los costos de la planta química.

2.3 Conclusiones

Se ha definido un ejemplo en la sección 2.1 con el objetivo de mostrar, describir y explicar las funciones necesarias de OCB que serán utilizadas más adelante en la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE). Este ejercicio nos ha permitido llegar a la conclusión de que OCB resulta un software muy amigable para la construcción de modelos estocásticos y para la ejecución de la simulación Monte Carlo. Además, queda en evidencia la necesidad de que el analista recabe toda la información correspondiente a la situación de interés para construir un modelo que se acerque a la realidad, en este caso se contaba con un desglose bastante detallado de los costos directos de un proyecto de una planta química.

Por otra parte, OCB nos ofrece herramientas que nos permiten ahorrar tiempo y esfuerzo en el proceso de la toma de decisiones, particularmente en el paso de retroalimentación utilizamos el gráfico de sensibilidad que nos permitió identificar que la incertidumbre en el equipo e instrumentos tienen un impacto significativo en el costo directo total, debido a esto el departamento de ingeniería decidió realizar las acciones pertinentes para reducir la incertidumbre en estas suposiciones.

En nuestro ejemplo, recurrimos a quitar la incertidumbre en los criterios de equipo e instrumentos al definirlos como valores deterministas, sin embargo, esto no nos permitió alcanzar el nivel de certeza deseado del 80% para el costo directo total, por lo que fue necesario definir como variable de decisión un porcentaje de reducción del costo promedio de hora hombre para ingeniería.

La simulación del modelo bajo esta variable de decisión nos permitió encontrar una solución aceptable que nos ofrece un nivel de certeza del 81.30% de lograr el costo directo total de \$87,711,596. Esta solución considera valores deterministas para el equipo e instrumentos, distribuciones de probabilidad para los demás criterios y un porcentaje de reducción de costo promedio de hora hombre del 15% que deriva en un costo total de Ingeniería Básica, Detalle y Complementaria de \$ 5,680,125.

3. Proyecto de una Planta de Alquiler.

Dentro de este capítulo se presentan la introducción del caso de estudio al que se le aplicará el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE). Es de gran relevancia informar al lector que se ha tomado como referencia el trabajo de tesis “Planeación y Administración de una Planta de Alquiler” (Martínez, 1998) para describir los aspectos críticos y algunas generalidades del proyecto de la Planta de Alquiler que considera como alcance: Ingeniería Básica, Ingeniería de Detalle, Procura de equipo y Materiales, Construcción y Arranque.

El objetivo de este capítulo es brindarnos la información necesaria para establecer la línea base en términos de alcance, costo y tiempo, la ruta crítica del proyecto y la reserva de gestión tanto para el presupuesto como para el cronograma, ya que como se discutió en la sección 1.4.1 estos aspectos son los datos de entrada necesarios para la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE).

Además de establecer los requerimientos para aplicar el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE), en este capítulo se presenta la descripción del proceso de alquiler, bases de diseño de la unidad de alquiler y otras generalidades del proyecto. Sin embargo, no hay que perder de vista que este trabajo está enfocado en mostrar lo útil que puede ser el método como una herramienta para aliviar algunas deficiencias en el enfoque actual de la administración de proyectos y no en el desarrollo de ingeniería o en el análisis profundo del proceso de alquiler.

Toda la información relacionada con la línea base del proyecto de la planta de alquiler y los archivos que se mencionen en este capítulo están disponibles en el siguiente enlace:

<https://www.dropbox.com/sh/qzg81zqvg5ato3s/AABeJ2pvhNHgAbN4zy2i5ba?dl=0>

En la carpeta denominada “Capítulo 3” del enlace, el lector podrá encontrar todas las hojas de cálculo que se mencionan en este capítulo.⁷

⁷ Para una referencia instantánea de las hojas de cálculo véase el Anexo D de este trabajo.

3.1 Generalidades del proyecto y bases de diseño de la unidad de alquilación.⁸

Para el proyecto de la Planta de alquilación se considera que se construirá una unidad de alquilación con una capacidad para producir 36,000 barriles diarios de alquilado partiendo de refinado proveniente de una unidad de MTBE. La unidad a construirse consiste en las siguientes secciones: Pretratamiento, Reacción, Fraccionamiento, Deisobutanizador y Tratamiento de efluentes (ilustración 38).

El proceso seleccionado para el proyecto es el proporcionado por Phillips Petroleum, ya que presenta ventajas económicas en cuanto a la inversión inicial y a los costos de operación, por lo que la tecnología de Phillips es la más atractiva en todos los casos. Además, la alquilación HF de Phillips Petroleum es una tecnología bien establecida, fácil de operar, rentable para la producción de mezclas de gasolina de alto octanaje y el proceso más adecuado para las condiciones existentes en México.

El proceso de alquilación de esta tecnología resulta de la reacción entre isobutano y HF utilizado como catalizador para producir iso octano (principal componente del alquilado); el efluente del reactor se manda a la sección de fraccionamiento en donde los productos se separan en alquilado, propano y buteno que son enviados posteriormente a tratamiento antes de mandarlas a límite de baterías.

3.1.1 Descripción del proceso Phillips Petroleum Co.:⁹

La alimentación proviene de una unidad de MTBE, lo cual es sumamente conveniente, ya que se reduce el contenido de compuestos oxigenados como acetona, éter, dimetil-éter y metanol. Además de que se reducen compuestos como benceno, aromáticos, olefinas como isopropano, diolefinas como isobuteno (remueve el 90% de isobuteno) y niveles de sulfuro de compuestos como sulfuro de hidrógeno, mercaptanos y sulfuro de carbono. Por otra parte, se logra la disminución en la formación de aceites solubles en ácido (asas). La remoción de

⁹ Martínez, A. (1998). *Planeación y administración de un proyecto de una planta de alquilación*. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México. (Capítulo 2)

todos estos compuestos es importante, debido a que disminuyen la operabilidad y beneficios de este proceso.

En la alimentación, los oxigenados deben de encontrarse en una concentración menor a 50 ppm, puesto que se convierten en agua en la unidad de alquilación, reduciendo así la fuerza del ácido y causando problemas de corrosión. La cantidad máxima que puede haber de sulfuros es de 20 ppm, ya que un exceso en el contenido de sulfuros provoca que aumente el consumo del ácido, el consumo de ácido es aproximadamente 5 lb de HF/lb de sulfuros, se reduce el octanaje, se reduce el rendimiento del alquilado e incrementan los problemas por disposición de efluentes.

La unidad de alquilación consiste en las siguientes secciones (ilustración 38):

- Sección de Pretratamiento Hydrisom.
- Sección de Alimentación de Hidrocarburos.
- Sección de Reacción.
- Sección de Redestilación ácida.
- Sección de Fraccionamiento.
- Sección de Tratamiento de productos.
- Sección Deisobutanizador.

3.1.1.1 Sección de Pretratamiento Hydrisom.

La finalidad de esta sección es preparar a alimentación (el refinado) proveniente de la unidad de MTBE. Pasando esta corriente por el reactor Hydrisom y posteriormente por una torre agotadora, para ser enviada finalmente a la sección de reacción en donde se lleva a cabo la reacción de alquilación y se obtienen los productos deseados. Las reacciones que se llevan a cabo en el reactor Hydrisom y el secado son muy importantes para que se lleve a cabo correctamente la operación de la planta. El diseño de esta unidad está basado en una concentración de butadieno de 0.5 % W en la alimentación, por lo que todo el butadieno se convierte en buteno. Básicamente el pretratamiento consiste en tres partes: Conversión de butadieno a buteno, Isomerización del 1-buteno a 2-buteno; Eliminación de hidrocarburos ligeros y el dimetil-éter en la torre agotadora DME. Los beneficios de esta sección son los siguientes:

- El pretratamiento mejora la operación de la unidad de alquilación por la hidrogenación y la isomerización del butadieno y buteno respectivamente.
- La reducción de diolefinas reduce el consume de ácido y mejora la calidad y octanaje del alquilado debido a que el 2-buteno produce un alquilado con un número de octano mayor que el 1-buteno. Aproximadamente 280 lb de HF se consumen por metro cubico de butadieno en la alimentación. Además, el butadieno y otras diolefinas actúan como diluyentes del ácido disminuyendo así su actividad catalítica, esto se traduce en una calidad pobre del alquilado, alto punto de destilación final, octanaje bajo y un volumen bajo de alquilado.
- Se incrementa el rendimiento de alquilado.
- El pretratamiento disminuye la formación de asas en aproximadamente entre 68 y 80% debido a la disminución de butadieno.

La corriente de refinado que provienen de la esfera de almacenamiento TE-2 se succiona por la bomba GA-201 y se envía a límite de baterías de esta unidad, se controla su flujo y se precalienta en el intercambiador de fondos/alimentación EA-201 A/D. A esta corriente se le inyecta una corriente de hidrógeno el cual se requiere para la reacción de hidrogenación, en dónde se convierten las trazas de butadieno a buteno, y para la reacción de isomerización de 1-buteno a 2-buteno, aunque en éste último caso, no se consume hidrógeno. La corriente de hidrógeno/refinado se precalienta en el calentador/enfriador EA-202 y se mezcla al pasar por el mezclador ME-201 para posteriormente entrar al reactor Hydrisom DC-201.

El refinado en fase líquida y el hidrógeno en fase vapor, descienden sobre la cama de catalizador. El catalizador es paladio soportado en alúmina de alta y activa selectividad permitiendo que la reacción se lleva a cabo en fase líquida. La corriente que va al reactor entra por el domo, ya que así se favorece la estabilidad, actividad y la duración del ciclo para la hidrogenación. El efluente del reactor se precalienta en el calentador EA-203 y se envía a la columna agotadora de dimetiléter DA-201, en donde el hidrogeno no consumido, los componentes ligeros (nitrógeno y metano), hidrocarburos ligeros (propano), compuestos oxigenados (dimetiléter, MTBE, metanol y agua) se remueven de la corriente. Por el domo de la columna se obtienen componentes ligeros y por el fondo se obtiene la olefina. La olefina se enfría en el intercambiador de fondos/alimentación EA-201 A/D y en el enfriador EA-206

para después ser enviada a la sección de alimentación de hidrocarburos. El calor necesario para esta columna lo proporciona el rehervidor EA-204. La columna cuenta con un separador de agua FA-203.

Para remover el metanol de la corriente de domos, se inyecta una corriente de agua tratada para lavarlos y eliminarlos en el lavador EA-504 y se enfrían en el enfriador EA-205 para ser enviados al tanque acumulador de reflujo FA-202 equipado con una bota separadora para eliminar el agua y el dimetiléter de la corriente. Los productos ligeros, salen del acumulador de reflujo y se envían al cabezal de gas combustible. Los hidrocarburos recibidos en el acumulador de reflujo se regresan totalmente a la torre DA-201 mediante la bomba GA-202 A/B.

3.1.1.2 Sección de Alimentación de Hidrocarburos.

En esta sección se mezclan las diferentes alimentaciones para después enviarse a la sección de reacción. La corriente de olefina proveniente de la sección de pretratamiento se combina con una corriente de isobutano que proviene de la esfera de almacenamiento TE-1 que se succiona por la bomba GA-203. La corriente combinada se manda a los secadores FF-202 en donde se eliminan las trazas de agua que pudiera contener la corriente. Una vez que se ha removido el agua, la corriente entra al mezclador ME-202, en donde se adiciona una corriente de isobutano y finalmente esta corriente combinada se manda a la sección de reacción.

3.1.1.3 Sección de Reacción.

En esta sección se lleva a cabo la reacción de alquilación. La mezcla que sale del mezclador ME-202 se envía a los enfriadores de ácido EA-211 A/B en donde se combina con el ácido fluorhídrico que proviene de los fondos del asentador DA-202 y con el ácido fresco alimentado que proviene del tanque de almacenamiento de ácido fluorhídrico FB-202, posteriormente esta corriente pasa por unas esperadoras que dispersan la fase hidrocarbonada a través de HF y se forma una emulsión ácida/hidrocarburo que entra en el fondo del asentador. Las reacciones de alquilación se llevan a cabo en los “tubos verticales ascendentes” que se encuentran entre los enfriadores y el asentador. El asentador de ácido se localiza a 8 metros sobre los enfriadores EA-211 A/B, en donde se separa la fase acuosa y la fase orgánica por diferencia de densidades.

El ácido que se acumula en el fondo del asentador retorna a los enfriadores EA-211 A/B, donde una fracción de esta corriente regresa al asentador y otra fracción se va al tanque de almacenamiento de ácido FB-201. De este tanque una fracción de la corriente se envía a la columna de redestilación ácida DA-203 mediante la bomba GA-206. Al asentador entra la corriente de ácido proveniente de la columna de redestilación ácida y la corriente proveniente de tanque acumulador FA-209 para reutilizarse. Los hidrocarburos que se extraen del asentador son enviados a la sección de fraccionamiento mediante la bomba de alimentación a la fraccionadora principal GA-207 A/B.

3.1.1.4 Sección de Redestilación ácida.

La finalidad de esta sección es mantener el HF libre de impurezas. La eliminación de impurezas como fluoruros orgánicos y asas se lleva a cabo en la columna de redestilación ácida DA-203.

La corriente que se succiona por la bomba G-206 y se precalienta en el intercambiador EA-212 y se alimenta a la columna de redestilación ácida DA-203. A la columna también se alimentan dos corrientes de isobutano que provienen de la torre fraccionadora. Una se alimenta como reflujo y la otra se alimenta por el fondo de la columna actuando como corriente de agotamiento. Por los domos de esta columna sale el ácido fluorhídrico concentrado y el isobutano y se envía al asentador. Por otra parte, por los fondos de la columna se obtienen las asas y el agua que son enviadas al mezclador de asas/sosa ME-203, para posteriormente ser enviada al lavador caustico de asas FA-207. El lavador caustico remueve residuos de HF por reacción con una solución de hidróxido de sodio. Una parte del contenido del tanque se manda al mezclador ME-203 mediante la boba de asas/sosa GA-208 A/B y previamente se calienta en el calentador/enfriador de asas/sosa EA-214, con el fin de mantener una temperatura óptima en el lavador. La otra parte se envía al tanque de estabilización de asas FA-208. Este tanque cuenta con un calentador EA-215 que se alimenta de vapor. Finalmente, las asas neutralizadas se envían mediante la bomba de asas GA-209A a límite de baterías o se reutilizan como combustible al ser enviadas al rehervidor de fuego directo BA-201.

3.1.1.5 Sección de Fraccionamiento.

El propósito de esta sección es separar la corriente orgánica que viene del asentador en los productos que son butano, propano, alquilado e isobutano para enviarlos a almacenamiento fuera de límite de baterías. La corriente de hidrocarburos proveniente del asentador se precalienta en el intercambiador alimentación/recirculación EA-216 y en el intercambiador alimentación/fondos EA-217. Esta corriente entra al fraccionador principal DA-204, en donde por el domo se separa el propano; y por una corriente lateral superior sale isobutano que se divide en dos corrientes, una de ellas se enfría en el intercambiador EA-216 y en el subenfriador de isobutano reciclado EA-221 y la otra se calienta en el calentador EA-213. La corriente caliente actúa como reflujo de la columna de redestilación ácida DA-203 y una parte de la corriente fría se utiliza como corriente de agotamiento de la columna DA-203, mientras que otra parte de la corriente fría es enviada al mezclador ME-202. Además, por la fraccionadora principal DA-204 sale una corriente lateral inferior de butano y por los fondos se obtiene el alquilado.

La corriente de isobutano que va al mezclador ME-202 se subdivide en otras dos corrientes, una de ellas se envía como reflujo a la columna DA-203 y otra como sellos a la bomba GA-206^a. El calor que se necesita para llevar a cabo la separación de los productos lo suministra en su mayor parte el rehervidor a fuego directo BA-201 y el intercambiador de vapor EA-220.

El propano se remueve como producto de evaporación con residuos de ácido e isobutano. Esta corriente se une con la corriente de domos de la columna agotadora de HF de la torre DA-206 y se envía al condensador total EA-218 A/B para posteriormente entrar al tanque de acumulación de reflujo de la columna principal FA-209. El tanque FA-209 cuenta con una bota separadora, en donde se separa el HF y éste se envía al asentador DA-202 para su reutilización. Los vapores que no se condensan en el tanque FA-209 pasan al absorbedor de gas de venteo FA-210 en donde se enfrían y condensan, recuperándose así el propano y el HF. Los gases e incondensables se ventean periódicamente hacia el neutralizador de ácido DA-207 en donde entran por un tubo sumergido en una solución cáustica. Los productos provenientes del cabezal de desfogue de HF, así como el producto de domo del tanque de balance de asas FA-208 también entran a la columna DA-207.

Por el fondo de la columna DA-207 se obtiene sosa gastada, una parte se recircula al domo y la otra se manda fuera de límite de baterías mediante la bomba GA-212. Por el domo del neutralizador salen los gases e incondensables neutralizados y se mandan al tanque knock-out de hidrocarburos V-501 para finalmente ser enviados al quemador.

Los hidrocarburos líquidos en el tanque FA-209 se bombean mediante la bomba GA-210 A/B, esta corriente se divide, una parte de ella se envía a la torre agotadora de HF DA-206 y otra parte entra como reflujo a la fraccionadora principal. Esta columna está empacada con anillos Rasching de carbón. El calor necesario para llevar a cabo la separación lo proporciona el rehervidor EA-224, el HF que se obtienen por el domo se envía al tanque FA-209 y la corriente de butano se envía a la columna rectificadora de butano DA-205.

Del producto de fondo de la fraccionadora una parte se recircula mediante la bomba GA-211 y otra parte se enfría en el enfriador EA-223 y se envía como sello a la bomba GA-207 A/B, una última parte, la corriente principal, se enfría en el cambiador de calor de alimentación al defluorinador de butano EA-229, en el cambiador de calor de alimentación al defluorinador de propano EA-227, en el intercambiador EA-217 y por último en el enfriador EA-222 para ser enviada fuera de límite de baterías como producto.

3.1.1.6 Sección de Tratamiento de productos.

Tratamiento de propano

La corriente que sale por el fondo de la columna DA-206 contiene propano, fluoruros orgánicos y trazas de HF, esta corriente se divide, una parte se enfría en el enfriador EA-225 y se vuelve a dividir y una parte se manda a la corriente de isobutano que va al mezclador ME-202 y otra parte se envía como sello a la bomba GA-210. La otra parte se sobrecalienta en el intercambiador alimentación/fondos de los defluorinadores EA-226 y en el cambiador EA-227 para entrar por el domo del defluorinador de propano primario y después por el secundario FA-211 A/B. El contenido de fluoruros orgánicos disminuye a valores entre 0 y 10 ppm. Los defluorinadores están empacados con alúmina activada que reacciona con los fluoruros descomponiéndolos en olefinas y HF. Después el HF reacciona con la alúmina sólida para formar un precipitado de AlF_3 , el cual se envía por la purga a la fosa de neutralización FE-203.

La corriente de salida de los defluorinadores se enfría en el intercambiador EA-226 y en el condensador EA-228 y posteriormente se envía a fondos del tratador de propano FA-212. El tratador de propano está empacado con hojuelas de potasa y elimina cualquier traza de HF para formar fluoruro de potasio y agua. Estos dos productos forman un lodo que se purga periódicamente hacia la fosa FE-203. El propano que sale por el domo del tratador se envía a límite de baterías como producto.

Tratamiento de butano

La columna rectificadora de butano DA-205 está constituida por la sección superior, media e inferior. Las secciones media e inferior están constituidas cada una, por un lecho empacado con anillos Rasching de carbón y la sección superior está constituida por el condensador EA-216, inmerso en esta parte de la columna. La corriente con butano se obtiene de la torre principal y se envía a la columna DA-205 entrando debajo de la sección inferior y saliendo por la parte lateral superior de la sección media. La corriente de fondos de esta columna contiene generalmente hidrocarburos pesados y el alquilado, por lo que se regresan a la fraccionadora. El n-butano que sale del rectificador se sobrecalienta en el intercambiador EA-229, entrando por el domo del defluorinador de butano primario y después por el secundario FA-212 A/B. La corriente de salida de los defluorinadores se enfría en el condensador de butano EA-230 y posteriormente pasa al tratador de butano FA-214. Una vez libre de fluoruros, el butano sale por los domos y se manda fuera de límite de baterías como producto.

3.1.1.7 Sección Deisobutanizador.

La finalidad de esta sección es obtener el isobutano que se utilizará en el proceso. La alimentación consiste en una mezcla de butanos-butilenos, rica en isobutano. La mezcla de butanos-butilenos entran a límite de baterías y fluyen a la columna deisobutanizadora T-101. Por el domo de la columna, salen los vapores de isobutano, los cuales se condensan, recibiendo el condensado en el tanque acumulador de domo de la deisobutanizadora V-101. Una parte del líquido colectado en el acumulador se envía a almacenamiento a la esfera TE-1, previo enfriamiento en el enfriador E-104; mientras la otra se retorna a la columna como reflujo. El calor necesario para efectuar la separación es suministrado por el rehervidor kettle E-101. Por el fondo, se obtiene la corriente butanos-butilenos pobre en isobutano, la

cual se enfría en el enfriador de n-butano E-103, enviándose a límite de baterías hacia la unidad de MTBE.

3.1.1.8 Química del proceso.

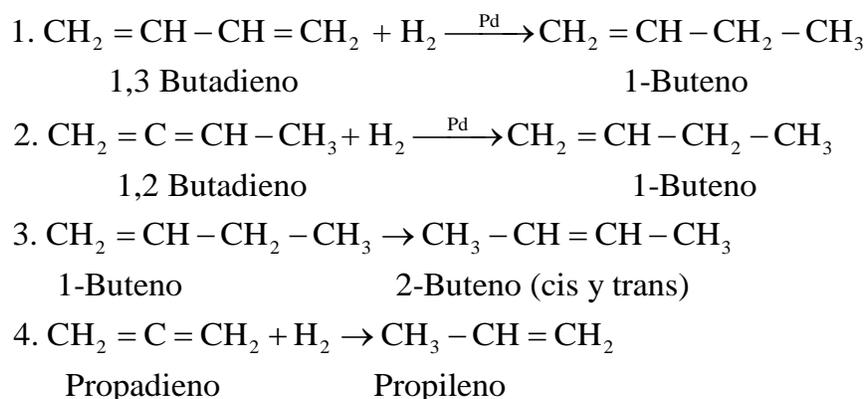
Química de la sección HYDRISOM:

Las reacciones principales son:

La conversión de butadieno a buteno. La reacción se lleva a cabo en fase líquida a temperaturas entre 80 y 150 °F. La conversión arriba del 90% se mantiene muy fácilmente. En este proceso se necesita una conversión de butadieno de 95%.

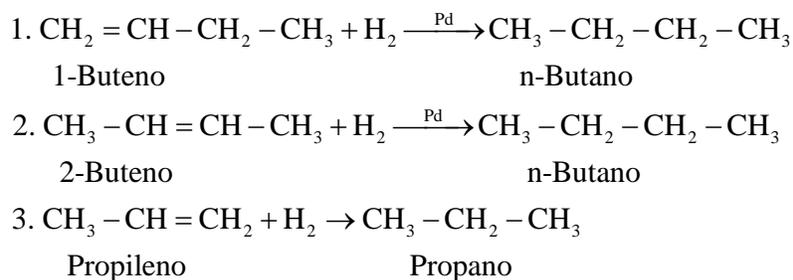
La isomerización del 1-buteno a 2-buteno. La isomerización está limitada principalmente por el equilibrio del sistema a las condiciones de diseño, se espera lograr un equilibrio a la salida del reactor de aproximadamente 6 moles de 2-butadieno por cada mol de 1-buteno. La isomerización del 1-buteno empieza antes de que se complete la hidrogenación del butadieno (normalmente 70% de conversión de butadieno). En las primeras etapas de isomerización el trans 2-buteno se favorece sobre el cis-2-buteno posteriormente esta condición se invierte, sin embargo, al final hay más tran-2.-buteno.

Reacciones deseables



Reacciones indeseables

La conversión del buteno a butano es igual a la conversión del butadieno a buteno. Así, la cantidad neta de buteno permanece sin cambios.

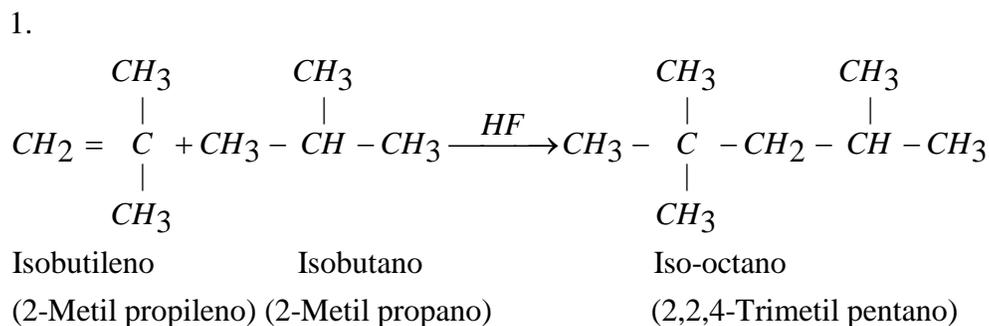


Química de la sección de reacción de alquilación con HF:

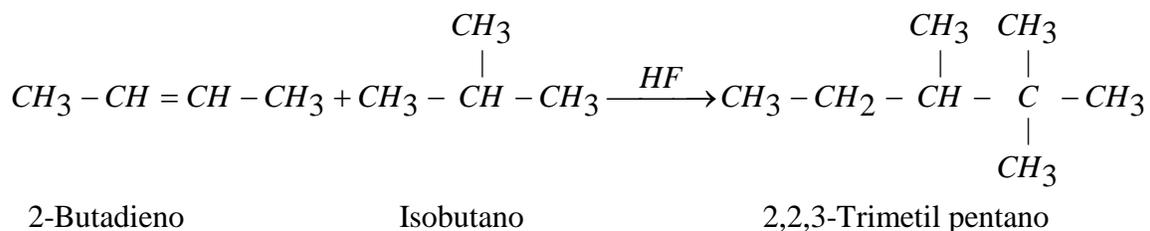
La reacción se lleva a cabo en la interfase de la fase ácida a una temperatura de 100°F. A esta temperatura las parafinas normales son inertes, por lo que el isobutano solo no actúa sobre el HF. Los fluoruros orgánicos que se forman son solubles en hidrocarburos o en el HF líquido, por lo que al disolverse con isobutano presente, se alquilan rápidamente liberando el fluoruro como HF. El producto final es la combinación del hidrocarburo con el HF libre. La reacción principal se lleva a cabo entre el isobutano y la olefina en presencia de HF como catalizador para producir iso-octano que es el compuesto principal del alquilado. También se forman parafinas con puntos de ebullición superiores e inferiores al del iso-octano, las cuales tienen un octanaje menor.

Reacciones de alquilación

Los productos de la alquilación son en general n-octano, 2-metilheptano, 2,5-dimetilhexano, 2,2,4-trimetilpentano, 2,2,3-trimetilpentano, 2,3,3-trimetilpentano, 2,3,4-trimetilpentano, los compuestos que se indican en las siguientes reacciones como producto son los constituyentes principales.



2.



La alquilación de olefinas con isobutano es muy compleja. Está caracterizada por reacciones de adición y numerosas reacciones secundarias. Los productos secundarios son más ligeros o más pesados que los productos primarios. La reacción primaria se favorece con un tiempo de residencia corto, baja temperatura en el reactor y una alta actividad del catalizador.

3.1.1.9 Variables de proceso:

Variables de la sección Hydrisom: La temperatura óptima de entrada al reactor variará de acuerdo a la composición de la carga, la edad del catalizador y la conversión de reacción deseada. Para mejorar la conversión y la isomerización se incrementa la temperatura, el flujo de hidrógeno y se disminuye el LHSV. Sin embargo, hay que considerar que al aumentar estas variables aumenta también la cantidad de saturación de buteno a butano. Si la relación hidrógeno/butadieno se mantiene arriba de 1.7 se favorece la conversión.

Variables de la sección de reacción:

Relación Isobutano/olefina: En general la relación isobutano/olefina es 12:1 a 13.5:1.

Temperatura de reacción: La temperatura recomendada es 100-115 °F

Concentración del ácido: La concentración recomendada está entre 85 y 95%

Relación ácida/hidrocarburos en el reactor: No se puede controlar como variable de operación. La relación es de 4:1 en volumen.

Tiempo de reacción: Varía de 15 segundos a 15 minutos y no tiene un efecto apreciable en cantidad o calidad en el alquilado producto. Para esta unidad el tiempo de reacción es de 20 segundos.

DIAGRAMA DE LA PLANTA DE ALQUILACIÓN

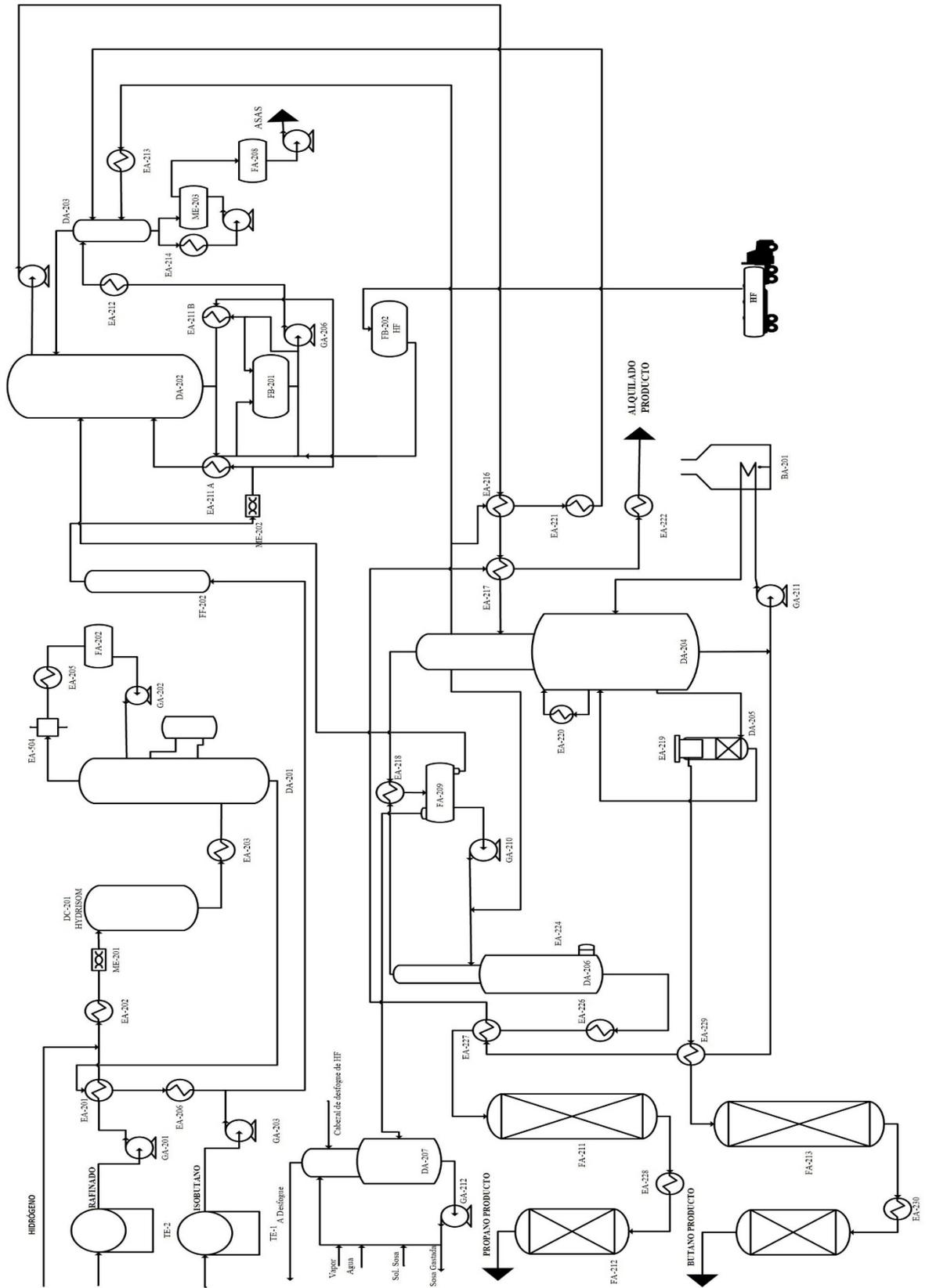


Ilustración 38. DFP de la Planta de Alquilación.

3.1.2 Bases de diseño de la unidad de alquilación.

3.1.2.1 Capacidad, rendimiento y flexibilidad.

La unidad de alquilación operará 7,290hr/año (90%) y estará diseñada para producir 36,000 barriles diarios a una capacidad normal y 18,000 en una capacidad mínima. El rendimiento mínimo de la unidad será de 1.68 bbl de alquilado/bbl de olefinas totales.

En cuanto a flexibilidad, la unidad se parará si hay falla de electricidad, agua de enfriamiento, vapor y de instrumentos abastecedores de aires. Las facilidades para un paro ordenado y seguro estarán disponibles. Para esta unidad de alquilación no se esperan futuras expansiones, por lo que estas quedan descartadas.

3.1.2.2 Especificación de materias primas:

Butanos-Butenos de la unidad de MTBE.

Tabla 7. Butanos-Butenos de la unidad de MTBE.

Componente	% Vol.
Propano	2.52
Propileno	0.96
Isobutano	43.5
n-butano	17.3
1-buteno	11.15
Isobuteno	0.15
trans-2-buteno	17.02
Cis-2-buteno	7.23
1,3-butadieno	0.17
Flujo total, bd	54,340

Alimentación de butanos a la sección Deisobutanizadora.

Tabla 8. Alimentación de butanos a la Sección Deisobutanizadora.

Componente	% Vol.
Propano	1.79
Propileno	0.28
Isobutano	22.46
n-butano	43.02
1-buteno	10.65
trans-2-buteno	6.34
cis-2-buteno	4.55
Isopentano	4.13
n-Pentano	6.78

Capacidad de la Sección Deisobutanizadora (base en la corriente de alimentación).

Máximo: 48,442 bd

Normal: 44,038 bd

Mínimo: 26,423 bd

Nota: Normalmente, no hay flujo del producto de esta sección como alimentación a otras secciones, sin embargo, se va a suministrar un flujo, cuando lo requiera el balance de isobutano.

Hidrógeno

Tabla 9. Características del hidrógeno utilizado en la unidad de alquilación

Componente	% Vol.
Hidrógeno	81.76
Metano	6.59
Etano	5.81
Propano	3.25
Isobutano	0.9
n-butano	0.75
Isopentano	0.32
n-Pentano	0.14
Hexanos (+)	0.48

Ácido fluorhídrico.

Tabla 10. Características del ácido fluorhídrico.

Características	
Grado	Anhidro
Pureza, % W	99

Condiciones de las materias primas en el límite de baterías.

Tabla 11. Condiciones de la materia prima en L.B.

Abastecedor	Materia Prima	Fase	Presión [kgf/cm ²]	T [°C]	Transporte
Rafinado de C4 de la unidad de MTBE	Butanos-Butilenos	Líquida	3.6	38	Oleoducto
F.CC.	Butanos-Butilenos	Líquida	4	38	Oleoducto
Unidad Reformadora	Hidrógeno	Gas	34	42	Oleoducto
Fuera L.B.	HF	Líquida	6	38	Pipa

3.1.2.3 Especificación de los productos:

Tabla 12. Especificación de los productos.

Alquilado	Rvp [PSI]	6.0 máx.
	Número de octano	96.2 min.
Propano	Contenido de propano [% Vol.]	95 min.
	Contenido de Isobutano y n- butano [% Vol.]	1.5 min.
	Contenido de fluoruros orgánicos [ppm]	10 máx.
Butano	Contenido de Isobutano [% Vol.]	12.5 min.
	Contenido de C ₅ (+) [% Vol.]	0.5 min.
	Contenido de fluoruros orgánicos [ppm]	10 máx.
Asas típicas	Gravedad específica (H ₂ O=1)	0.96
	Flúor [% W]	0.1
	Punto de ebullición [°C]	104.4

Condiciones de los productos en límite de baterías.

Tabla 13. Condiciones de los productos

Producto	Fase	Presión [kgf/cm²]	T [°C]	Transporte
Alquilado	Líquida	13.5	38	Oleoducto
Propano	Líquida	15.3	38	Oleoducto
Butano	Líquida	13.9	38	Oleoducto
Asas	Líquida	7	65.6	Oleoducto

3.1.2.4 Requerimientos Ambientales

Agua: Regulaciones de SEDESOL, OSHA, NFPA, por propietario, Comisión y Seguridad. Los tanques sépticos son aceptables: los coliformes deber ser máx. 1000 por 100 ml.

Aire: Regulaciones de SEDESOL, OSHA, NFPA, por propietario, Comisión y Seguridad. Descarga de la chimenea principal. Partícula 250 mg/cm³.

SO₂ 1500 ppm; **NO_x** 180 ppm (equipo de combustión con capacidad arriba de 106E09 J/h); **CO** 150 ppm (equipo de combustión con capacidad arriba de 106E09 J/h).

Mínima altura de chimenea: 30 m arriba del nivel del suelo. Los límites en las emisiones totales de la planta que regula la autoridad se deben de considerar para el cálculo de la altura de diseño.

Desechos sólidos: Libre de compuestos tóxicos, 0 ppm de fenol, 0 ppm de fenoles policlorados.

Ruido y Radiación:

Máxima exposición de los trabajadores: 90 dBa durante 8 horas, 95 dBa durante 4 horas, 100 dBa durante 2 horas.

Nivel total de sonido de la planta: 65 dBa al límite de la propiedad.

Radiación máx. permisible a nivel del suelo: 119 cal cm²/h

Radiación máx. Permisible fuera del área de seguridad: 92 a 119 cal cm²/h

3.1.2.5 Procesos recomendables para eliminación de efluentes.

Incineración y tratamiento de agua. Estos sistemas se localizan dentro de límite de baterías, aunque el tratamiento de agua es preliminar, después se manda este efluente a la Planta de tratamiento de agua.

3.1.2.6 Facilidades de almacenamiento.

Materias Primas: Ninguno.

Productos: El alquilado debe almacenarse antes de mandarse a la refinería. Se debe instalar un tanque de almacenamiento de alquilado con capacidad de 10,000 bbl y techo flotante.

Conexiones e interconexiones: Todas las bombas de traslado de alimentaciones y productos se deben diseñar, adquirir e instalar.

Alquilado Producto: El alquilado producto se debe combinar en la gasolina, por lo que se transfiere del tanque de almacenamiento al “pool” de gasolina de la refinería (10,000 bbl). Se debe instalar una bomba de alquilado con una bomba de relevo y una tubería para el mismo de la unidad de alquilación al tanque de almacenamiento. Se debe instalar una bomba de traslado para el alquilado con una bomba de relevo y una tubería para el alquilado que vaya a la mezcla del “pool” de gasolinas. Se debe instalar una tubería de alquilación al “pool” de gasolinas.

Alimentación de MTBE Rafinado: El refinado que produce la unidad de MTBE se almacenará en un tanque existente (10,000 bbl). La bomba de refinado y la bomba de relevo se deben instalar en el cuarto de bombeo cerca del tanque existente. Asimismo, se debe de

instalar una tubería de la alimentación de refinado del tanque existente de refinado a la unidad de alquilación.

Propano Producto: El propano que se produce en la unidad de alquilación se debe de almacenar en un tanque de almacenamiento de propano. La bomba de propano y la bomba de relevo se deben de instalar adentro de la unidad de alquilación. Asimismo, se debe instalar una tubería para el propano de la unidad de alquilación al tanque de almacenamiento de propano.

Butano Producto: El butano que se produce en la unidad de alquilación se debe almacenar en un tanque de almacenamiento de butano. La bomba de butano y la bomba de relevo se deben de instalar adentro de la unidad de alquilación. Asimismo, se debe instalar una tubería para el butano de la unidad de alquilación al tanque de almacenamiento de butano.

3.1.2.7 Servicios:

Vapor:

Tabla 14. Vapor de servicio.

Vapor de Alta presión ISBL	Presión [kg/cm ²]	60
	Temperatura [°C]	480 mín.
	Calidad	Sobrecalentado
	Disponibilidad	Como se requiera
Vapor de Media Presión ISBL	Presión [kg/cm ²]	18.5
	Temperatura [°C]	290
	Calidad	Sobrecalentado
	Disponibilidad	Como se requiera
Vapor de Baja Presión ISBL	Presión [kg/cm ²]	2.1
	Temperatura [°C]	150
	Calidad	Sobrecalentado
	Disponibilidad	Como se requiera

Condensado: El condensado de vapor de alta y media presión deben de andarse al sistema de recuperación de condensados dentro de L.B; donde el vapor de baja se recuperará por inundación y solo el condensado de baja se mandará al sistema de recuperación de condensado de la refinería. El condensado de baja debe tener las siguientes especificaciones: 3.5 kg/cm² de presión y 60 ° C.

Aire:

Tabla 15. Condiciones del aire de servicio.

Aire de instrumentos	Capacidad extra requerida [m ³ std /min]	1.42
	Sistema de presión [kgf/cm ²]	7.0*
	Punto de rocío [°C]	-40*
A la salida de aire del compresor. La capacidad extra requerida es para air de respiración con una presión de 3.5 kgf/cm ² . El aire se va a secar en ISBL.		
Aire de planta	Fuente abastecedora	Por propietario
	Presión [kgf/cm ²]	7
	Temperatura [°C]	Ambiente
Si ocurre una falla en el sistema de aire se necesitará una capacidad extra que revele el sistema de aire de instrumentos.		

Agua:

Tabla 16. Condiciones del agua (servicios).

Agua de proceso	Agua Desmineralizada	
	Abastecedor	Por propietario
	Condiciones a L.B	
	Presión [kg/cm ²]	24.95
	Temperatura [°C]	100
	Disponibilidad	Como se requiera
Agua de enfriamiento	Abastecedor	Por propietario
	Sistema de enfriamiento	Torre de enfriamiento
	Condiciones de Abastecimiento a L.B	
	Presión [kg/cm ²]	4.2 máx.
	Temperatura [°C]	23 mín.; 30 máx.
	Disponibilidad	Como se requiera
	Condiciones de regreso a L.B	
	Presión [kg/cm ²]	2.54 mín.
Temperatura [°C]	42 máx.	
Agua de caldera	No se requiere	
Agua de servicio	Abastecedor	Por propietario
	Condiciones a L.B	
	Presión [kg/cm ²]	3.5
	Temperatura [°C]	Ambiente
	Disponibilidad	Como se requiera
Agua Contraincendios	Condiciones a L.B	
	Presión [kg/cm ²]	Como se requiera
	Disponibilidad	Como se requiera
Agua Potable	Análisis Químico	Por propietario
	Análisis Bacteriológico	No definido
	Disponibilidad	Como se requiera
	Abastecido por	Botellas

Combustible:

Tabla 17. Características del combustible de servicio.

Gas	Fuente abastecedora	Por Propietario
	Tipo	Gas combustible
	Poder calorífico más bajo [Kcal/m ³]	7,800
	Presión a L.B. [kgf/cm ²]	5
	Temperatura a L.B. [°C]	Ambiente
	Disponibilidad	Como se requiera
Líquido	Fuente abastecedora	Por propietario
	Tipo	Combustóleo
	Poder calorífico más bajo [Kcal/m ³]	9,510
	Presión a L.B. [kgf/cm ²]	6.5
	Temperatura a L.B. [°C]	Ambiente
	Disponibilidad	Como se requiera

Electricidad:

Tabla 18. Electricidad (servicios).

Abastecedor de Electricidad	
Fuente abastecedora	Por propietario
Voltaje [Volts]	4160/440
Fases	3
Frecuencia [Hz]	60
Factor de energía [min]	85%
Capacidad de interrupción automática corto circuito [MVA]	750
No. De conductores	Por propietario
Sección conductora	Por propietario
Material conductor	Por propietario
Aislante	Por propietario
Díámetro de tubería	Por propietario
Material de tubería.	Por propietario
Entrada de energía.	Subterránea

Abastecedor de emergencia de electricidad: Por propietario.

Sistema de voz e intercomunicación:

Sistema de voz: Entrada de energía subterránea.

Sistema Telefónico: Entrada de energía, subterránea.

Sistema de desfogue: El líquido del cabezal de desfogue se va a combinar con el vapor del cabezal de desfogue. Se va a proveer de un cilindro K.O. (tambor) de desfogue, pero se localizará fuera de límites de batería y no se mostrará en los diagramas de flujo de proceso.

3.1.2.8 Sistemas de seguridad

Tabla 19. Sistema contraincendios.

Sistema contraincendios	
Red contraincendios	Estándares por propietario
Equipo Movable	Estándares por propietario
Cámaras de espuma	Estándares por propietario
Spray	Estándares por propietario

Se adoptarán las recomendaciones de Phillips para las cortinas de agua (sistema de mitigación) en el reactor-asetador.

Seguridad del personal: Se instalará el equipo de seguridad recomendado para manejar HF. Se instalarán regaderas, abastecimiento de aire, tanques de carbonato y lavadores de ojos.

3.1.2.9 Condiciones climáticas

Temperaturas: Máxima 42°C; Máxima para el tamaño de los enfriadores de aire 31°C; Mínima -3.5 °C; Temperatura promedio 20 °C.

Precipitación Pluvial: Máxima en un periodo de 1 hora 42 mm; Máximo en 24 horas 96 mm y promedio anual 760.9 mm.

Viento: Vientos dominantes de este a oeste, vientos reinantes de noreste a suroeste; velocidad máxima de 2.6 m/s.

Humedad: Máxima 100% @ 27°C; Mínima 7% @ 12°C; promedio 80%

Atmósfera: La presión atmosférica es de 631mmHg (12.20 PSIA) con un medio ambiente corrosivo.

3.1.2.10 Localización de la planta

Coordenadas de L.B: Por propietario.

Elevación sobre el nivel del mar: Elevación 1,723 msnm.

Provisiones para futuras expansiones: Ninguna

3.1.2.11 Bases de diseño eléctricas:

Código para la clasificación de áreas: El código de clasificación de áreas estará de acuerdo con los siguientes estándares: NEMA, NEC, API y por propietario.

Resistividad Eléctrica del terreno: Por propietario.

Instrumentos: La corriente de los instrumentos estará disponible a 127 volts, 1 fase y 60 Hz. Se debe de instalar un sistema invertido automático de soporte.

Características de la electricidad suministrada a los motores:

Tabla 20. Características de la electricidad suministrada a los motores.

Electricidad suministrada a los motores			
Energía [HP]	Volts	Fases	Frecuencia [Hz]
<3/4 (uso general)	127	1	60
<3/4 (proceso)	220	3	60
1-150	440	3	60
150-2,000	4,160	3	60

Iluminación:

Tabla 21. Características de la iluminación.

Iluminación			
Servicio	Volts	Fases	Frecuencia [Hz]
General	127	1	60
Proceso	220	3	60
Calles	440	3	60

Distribución de la corriente dentro de L.B: Subterránea.

3.1.2.12 Bases de diseño para tuberías.

Soportes de tuberías: No se permiten cercas. Los soportes serán de concreto. Las alturas ISBL de los soportes serán de 4.9 m por 6.1 m en el cruce de tuberías. El ancho de los soportes será de 7.7 m.

Desagüe: Agua aceitosa, agua sanitaria, agua de lluvia y desechos químicos.

Modelos y Dibujos a Escala: Se harán los dibujos isométricos para tuberías con indicaciones de detalles en las tuberías.

3.1.2.13 Bases de diseño civiles.

Viento y sismicidad: Se acepta el “Manual de diseño de obras civiles de la CFE”.

Nivel de piso terminado: Nivel de piso terminado teórico.

Construcciones y estructuras dentro de L.B: El control del cuarto de instrumentos y los sistemas eléctricos se construirán para cada servicio. Se construirá un techo para el compresor de aire y baños.

3.1.2.14 Bases de diseño para instrumentos.

Se montará instrumentación electrónica en un cuarto de control computarizado. El tipo de control es distribuido.

3.1.2.15 Bases de diseño para equipos.

Recipientes: La presión mínima de diseño será de 3.52 kgf/cm². Todos los recipientes se deben diseñar por lo menos 10% o 2.11 kgf/cm² arriba de la presión especificada de operación, cualquiera que sea mayor.

Bombas: El tipo de engranaje de motor debe ser de preferencia eléctrico.

Intercambiadores de calor:

Tabla 22. Bases de diseño intercambiadores de calor.

Intercambiadores de calor	
Factor sucio para agua de enfriamiento	0.0006
Velocidad de diseño a través de los tubos [m/s]	1.2-2.4
Estándar máximo de tramo recto de tubería: Coraza y tubo [mm]	9144
Estándar máximo del diámetro del aislante: Coraza y tubo [mm]	1524

Especificación de Tubería: El arreglo de tubería que se tiene en el área de conversión del alquilado, específicamente en el asentador de ácido DA-202 no es convencional, se trata de un arreglo especial y que define el licenciador. Se debe seguir al máximo los diseños y especificaciones de Phillips, respetando las restricciones en cuanto a acotaciones de construcción, materiales, diámetros, alturas, separaciones, etc. En caso de que se quieran hacer modificaciones se debe contar con la aprobación del licenciador. La garantía del proceso del licenciador requiere del cumplimiento a estas restricciones por lo que las áreas

de manejo de HF requieren que el material de la tubería sea de acero con límite en contenido de carbono, dependiendo de la concentración de HF, para evitar corrosión.

Especificación de Sellos: La sección ácida debe seguir las especificaciones del licenciador principalmente en cuanto a sellos de bombas, las cuales deben tener doble sello para minimizar la posibilidad de fugas de HF.

Especificación de válvulas: Las especificaciones de las válvulas se hacen bajo catálogo específico de fabricantes recomendados por el licenciador, quien indica el número de dibujo, marca, tipo, tamaño y modelo.

Especificación de pintura: Ésta debe ser especial para que detecte el ácido fluorhídrico en caso de que haya fugas en los equipos y en las tuberías, con el objeto de realizar las tareas de mantenimiento necesarias.

Especificación del catalizador de Hydrisom: El catalizador que utiliza el reactor Hydrisom DC-201 es muy específico en cuanto al contenido de Paladio que debe tener.

Especificaciones de válvulas de corte: Se debe tener especial atención en las especificaciones de las válvulas de corte en la sección ácida, a causa de que algunos casos deben ser de monel al 100%, sin embargo, cuando las concentraciones del ácido que se manejen en las diferentes corrientes sean bajas, se requiere que únicamente los interiores de las válvulas deban de ser de monel.

Normas, códigos y especificaciones para la unidad de alquilación:

Tabla 23. Normas, códigos y especificaciones para la unidad de alquilación.

Presión de recipientes	ASME
Cambiadores de calor	TEMA,ASME,ANSI
Recipientes atmosféricos	API
Bombas y compresores	API
Eléctrico	NEMA,NEC
Instrumentos	ISA
Calentadores a fuego	API
Aislantes	Normas por propietario
Construcción	CFE
Tubería	ANSI
Efluentes	SEDESOL
Ruido	Normas por propietario

3.2 Línea base del Proyecto de una Planta de Alquiler.

El objetivo del proyecto es construir una unidad de alquiler con una capacidad para producir 36,000 barriles diarios de alquiler partiendo de refinado proveniente de una unidad de MTBE. El proyecto considera como alcance: Ingeniería Básica, Ingeniería de Detalle, Procura de equipo y Materiales, Construcción y Arranque.

En este contexto, se desea establecer una solución empresarial para el presupuesto y el cronograma para el proyecto de la Planta de alquiler que nos proporcione una probabilidad de éxito de al menos un 85%. Dicho esto, en el presente trabajo se comienza a establecer el plan del proyecto de la unidad de alquiler en términos de alcance, costo y tiempo para posteriormente evaluarlo con ayuda del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE).

Para establecer la línea base del proyecto de la Planta de Alquiler en términos de alcance, costos y tiempo se ha tenido que recurrir a la información extraída del trabajo de tesis “Planeación y Administración de una Planta de Alquiler” (Martínez, 1998), el cual nos ha proporcionado el alcance del proyecto en su estructura de desglose de trabajo (EDT) y los costos de cada una de las fases del proyecto.

Una vez que se contó con esta información se procedió a secuenciar las actividades del EDT, estimar la duración de esas actividades y establecer la ruta crítica del proyecto, esto como parte de los procesos para desarrollar la línea base en términos de tiempo. Por otra parte, en términos de costos se ha tenido que escalar los montos para cada una de las fases del proyecto utilizando índices del Bureau of Labor Statistics (BLS) con base en las erogaciones de acuerdo al cronograma del proyecto, esto con el fin de su actualización. Particularmente, en la Tabla 24 se muestra la información simplificada del proyecto, sin embargo, toda la información detallada se encuentra en los archivos de Microsoft Project ([Proyecto de una Planta de Alquiler \(Línea base\).mpp](#)) y de Microsoft Excel ([Información del Proyecto Planta de Alquiler.xls](#)), los cuales se encuentran dentro de la carpeta 3 de la liga de Dropbox.

Tabla 24. Información del Proyecto de una Planta de Alquiler

Fase del proyecto	Duración estimada (días)	Inicio	Final	Estimado de costo (USD)
Proyecto de una Planta de Alquiler	829 ¹⁰	jue 02/08/18	dom 08/11/20	\$ 497,429,370
Ingeniería Básica y de Detalle	248	jue 02/08/18	dom 07/04/19	\$ 34,288,260
Procura de materiales y equipo	333	mar 28/08/18	sáb 27/07/19	\$ 352,866,844
Construcción	505	sáb 09/03/19	dom 26/07/20	\$ 106,814,916
Pruebas y Puesta en Marcha	105	dom 26/07/20	dom 08/11/20	\$ 3,459,351

Una vez que se ha definido la línea base del proyecto de la unidad de alquiler, solo nos queda definir el monto de la reserva de gestión para poder iniciar la aplicación del Método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) que nos permitirá determinar el presupuesto y cronograma con la probabilidad de éxito deseada.

Como se mencionó anteriormente, no hay una regla generalmente aceptada en cuanto a cuáles deberían ser estas reservas de gestión. Por lo general, se decide en función de experiencias pasadas de proyecto similares que se han ejecutado para una organización y una industria específica, además de que depende de los factores ambientales de la organización.

Para nuestro caso de estudio, estableceremos que estas reservas deben ser del 3% del presupuesto y la ruta crítica del proyecto, por lo que se definen \$14,922,881 y 25 días como reservas de gestión para costo y tiempo.

¹⁰ Valor correspondiente a la duración de la ruta crítica del proyecto de la Planta de Alquiler.

3.3 Conclusiones

Se ha hecho la introducción del estudio de caso del Proyecto de una Planta de Alquiler, el cual tiene el objetivo de construir una unidad de alquiler con una capacidad para producir 36,000 bd de alquilerado partiendo de refinado proveniente de una unidad de MTBE.

Además, se han descrito algunas generalidades del proyecto, las bases de diseño y la descripción del proceso Phillips gracias a la información recopilada del trabajo de tesis “Planeación y Administración de una Planta de Alquiler” (Martínez, 1998).

De igual forma, con la información que nos proporcionó la referencia mencionada pudimos establecer la línea base en términos de alcance y costos del proyecto de la Planta de alquiler. Para el caso del alcance se han realizado modificaciones ligeras considerando el juicio de un experto y para los costos se ha realizado un tratamiento para su actualización y adaptación a nuestros intereses.

Por otra parte, una vez definido el alcance del proyecto esto nos dio pauta para establecer la línea base en términos de tiempo para la cual se ha tenido que secuenciar las actividades, estimar la duración de estas actividades y establecer la ruta crítica del proyecto.

Con la línea base en términos de alcance, costos y tiempo ya definida se pudo establecer las reservas de gestión para el presupuesto y el cronograma, completándose así los requerimientos necesarios para la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE).

Esta línea base contempla en términos de costo \$497,429,370 para las fases del proyecto y una reserva de gestión de \$14,922,981, mientras que en términos de tiempo una ruta crítica de 829 días y 25 días de reserva de gestión.

Considerando estos datos, el objetivo es desarrollar un plan del proyecto que tenga al menos un 85% de probabilidad de éxito de concluir el proyecto dentro del presupuesto y cronograma.

4. Método “Evaluador de Probabilidad de Éxito” para la planeación del Proyecto de una Planta de Alquiler.

En este capítulo, nos enfocaremos a la aplicación de los seis pasos correspondientes a la etapa de planeación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) con el objetivo de desarrollar un plan para el proyecto de la Planta de Alquiler que nos ofrezca una solución aceptable de al menos un 85% de lograr el presupuesto y cronograma.

El capítulo está dividido en dos secciones, en la primera de ellas se aplica el método para obtener el plan que nos ofrezca un presupuesto con una probabilidad de éxito de al menos un 85%, mientras que en la segunda sección se aborda la aplicación del método para obtener el cronograma que nos ofrezca una probabilidad de éxito de al menos un 85%.

La aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) se comienza considerando para el presupuesto \$497,429,370 para las fases del proyecto y una reserva de gestión de \$14,922,981, mientras que para el cronograma se considera una ruta crítica de 829 días y 25 días de reserva de gestión.

Toda la información relacionada con la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) en la planeación del proyecto de la Planta de Alquiler y las simulaciones que se ejecuten en este capítulo, están disponibles en el siguiente enlace:

<https://www.dropbox.com/sh/qzg81zqvg5ato3s/AABeJ2pvhNHgAbN4zy2i5ba?dl=0>

En la carpeta denominada “Capítulo 4” del enlace, el lector podrá encontrar todas las hojas de cálculo que se mencionarán en este capítulo.¹¹

¹¹ Para una referencia instantánea de las hojas de cálculo véase el Anexo E de este trabajo.

4.1 Probabilidad de al menos el 85 % de éxito de lograr el presupuesto deseado para el Proyecto de una Planta de Alquiler.

Una vez que se ha establecido la línea base de la unidad de alquiler en términos de alcance, costo y tiempo se procede a la aplicación del Método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) para desarrollar un plan del proyecto que tenga una probabilidad de éxito o nivel de certeza de al menos un 85% de lograr el presupuesto y cronograma.

Este presupuesto estará formado por el estimado de costo de las fases del proyecto mostradas en la Tabla 24, la reserva de contingencia que le dará respuesta a los riesgos identificados y la reserva de gestión. Mencionado esto, se procede a la aplicación del método a los costos del proyecto.

Paso I: Identificar y realizar un análisis cualitativo de los riesgos (Costos).

Como se ha descrito en la sección 1.4.2 de este trabajo, el paso uno del Método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) en la etapa de planeación consiste en identificar los riesgos y realizar un análisis cualitativo de los mismos.

Para nuestro caso de estudio de la unidad de alquiler se ha decidido utilizar una matriz genérica de riesgos para la administración de riesgo con el fin de identificar y realizar el análisis cualitativo de los riesgos para el proyecto de la Planta de Alquiler, esto debido a que una matriz genérica de riesgos permite a los gerentes de proyecto identificar y evaluar los riesgos de un proyecto de manera rápida y rentable.

Esta matriz contiene un amplio conjunto de riesgos que se clasifican y cuantifican de acuerdo a su impacto potencial y a la probabilidad de ocurrencia. La matriz es útil para identificar rápidamente los riesgos.

Una vez que se identificó varias matrices genéricas en la literatura, se procedió a seleccionar con la ayuda de un juicio de experto aquellos riesgos que pudieran ocurrir en el proyecto de una planta química, así como su probabilidad de ocurrencia y su impacto potencial en el tiempo y costo del proyecto (Archivo de referencia: Dentro de la carpeta del capítulo 4 el

archivo de Microsoft Excel [Paso I POSE Costo.xls](#) muestra la información de los riesgos identificados, su probabilidad de ocurrencia y su impacto en el costo).

En el archivo de referencia se han identificado los riesgos del proyecto, se ha asignado la probabilidad de ocurrencia para cada riesgo identificado y el impacto correspondiente en términos de costo (mínimo, más probable y máximo), todo esto con base en la matriz genérica y las tablas que se presentan a continuación.

Tabla 25. Evaluación para un riesgo específico (verde: bajo, amarillo: medio y rojo: alto).

Evaluación para un riesgo específico					
Probabilidad de ocurrencia	Evaluación del riesgo= P.O x I				
0.9	0.045	0.09	0.18	0.36	0.72
0.7	0.035	0.07	0.14	0.28	0.56
0.5	0.025	0.05	0.1	0.2	0.4
0.3	0.015	0.03	0.06	0.12	0.24
0.1	0.005	0.01	0.02	0.04	0.08
	0.05	0.1	0.2	0.4	0.8

Tabla 26. Impacto de un riesgo en los objetivos principales del proyecto.

Tabla de impacto de un riesgo en los objetivos principales del proyecto					
Objetivo del proyecto	Muy bajo 0.05	Bajo 0.1	Moderado 0.2	Alto 0.4	Muy alto 0.8
Costo	No hay incremento	Sobrecostos <0.5%	Sobrecostos de 0.5-1%	Sobrecostos de 1-2%	Sobrecostos >2%
Tiempo	No hay efecto significativo	El retraso <0.5%	El retraso global de 0.5-1%	El retraso global 1-2%	El retraso del proyecto >2%

Tabla 27. Tabla de probabilidad de ocurrencia para un riesgo específico.

Tabla de probabilidad de ocurrencia		
Nivel	Rango	Probabilidad de ocurrencia
Muy alta	91-100%	Es seguro que ocurra el riesgo
Alta	61-90%	Es casi seguro/ probablemente que ocurra el riesgo
Medio	41-60%	Quizás puede ocurrir el riesgo
Bajo	11-40%	No se espera que ocurra el riesgo
Muy bajo	0-10%	Improbable que el riesgo ocurra

Además, con base en el valor de los riesgos (Probabilidad de ocurrencia x Impacto) se realizó la priorización de los mismos. Para el Proyecto de una Planta de Alquiler se considera como riesgo alto aquel con valor de riesgo mayor a \$1,000,000, como riesgo medio aquel con valor de riesgo mayor a \$500,000 y los menores a \$500,000 como riesgo bajo.

Usualmente, las organizaciones centran sus esfuerzos y recursos para dar respuesta a los riesgos altos y medios, sin embargo, en este trabajo se desarrollará un plan de respuesta para cada uno de los riesgos identificados.

Paso II: Determinar la probabilidad de éxito sin plan de respuesta a los riesgos (sin reserva de contingencia, Costos).

En este paso evaluamos la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto considerando únicamente la suma del estimado de costo del proyecto y la reserva de gestión.

Para la construcción del modelo se consideró lo siguiente:

Suposiciones:

1. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos, esta se definió como una distribución Si-No.
2. Impacto del riesgo, como se mencionó anteriormente se estableció un impacto mínimo, más probable y máximo, por lo que se definió como una distribución BetaPert.
3. Los estimados de costo para cada una de las fases del proyecto, que al igual que para el impacto de los riesgos se definieron en una distribución BetaPert. Para esto se estableció un estimado de costo mínimo, más probable y máximo de acuerdo a la tabla 28.

Tabla 28. Parámetros de simulación para el estimado de costos de la unidad de alquiler.

Costo		
Mínimo	Más probable	Máximo
90%	100%	110%

Previsión:

1. El presupuesto del Proyecto de una Planta de Alquiler que está compuesto por la suma del estimado de costo de cada una de las fases del proyecto, reserva de gestión y el impacto de los riesgos que pudieran ocurrir.

Después de la construcción de este modelo se procedió a ejecutar la simulación Monte Carlo utilizando Oracle Crystal Ball para realizar la evaluación integral de los riesgos con el presupuesto del proyecto, el cual consiste en estos momentos de la suma del estimado de costo del proyecto y la reserva de gestión, es decir, \$512,352,251. Esta simulación nos permitirá determinar la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto mencionado. (Archivo de referencia: Dentro de la carpeta del capítulo 4 el archivo de Microsoft Excel [Paso II_POSE_Costo.xls](#) muestra el modelo construido descrito anteriormente). Las salidas de la simulación (gráfico de previsión) se muestran en la ilustración 39.

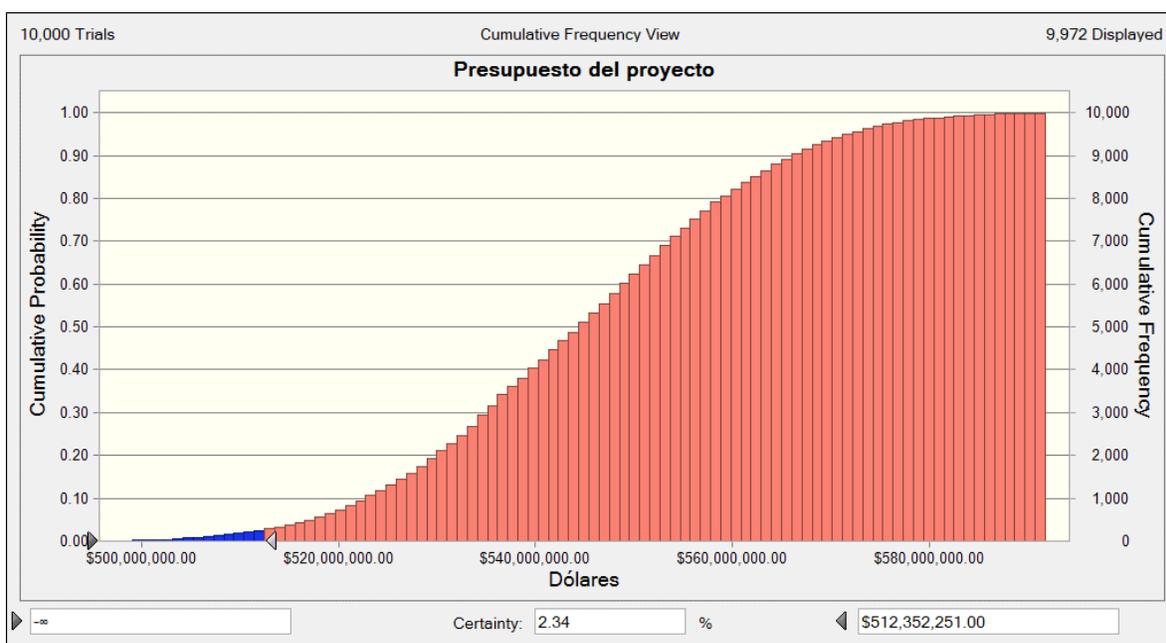


Ilustración 39. Probabilidad de éxito de lograr el presupuesto deseado para la unidad de alquiler sin plan de respuesta a los riesgos.

Después de ejecutar la simulación Monte Carlo utilizando Oracle Crystal Ball podemos observar que la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto de \$512,352,251 de dólares sin plan de respuesta a los riesgos es solamente de 2.34%.

Por lo tanto, debemos de establecer un plan de respuesta a estos riesgos y una reserva de contingencia con el fin de establecer un presupuesto suficiente que nos permita obtener una probabilidad de éxito de al menos un 85%.

Paso III: Establecer un plan de respuesta a los riesgos y determinar el valor de la reserva de contingencia (Costos).

Una vez que se ha evaluado el presupuesto sin un plan de respuesta a los riesgos, en este paso se establecen estrategias y acciones con el fin de reducir la probabilidad de ocurrencia y/o impacto de los riesgos de la unidad de alquiler. Además, con la ayuda de la simulación de Monte Carlo se calcula el monto de la reserva de contingencia necesario para contrarrestar el efecto combinado de los riesgos individuales identificados en el paso 1.

Para calcular la reserva de contingencia se construyó el siguiente modelo:

Suposiciones:

1. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos considerando el plan de respuesta, esta se definió como una distribución Si-No.
2. Impacto de los riesgos individuales(costos), definido como una distribución BetaPert.

Previsión:

3. El impacto total de los riesgos, es decir, el efecto combinado de los riesgos individuales.

Después de ejecutar la simulación de Monte Carlo la reserva de contingencia calculada asciende a \$31,875,744, esto considerando que este monto es suficiente para cubrir el 80% de los escenarios resultantes. (Archivo de referencia: Dentro de la carpeta del capítulo 4 el archivo de Microsoft Excel [Paso III_POSE_Costo.xls](#) muestra la información del plan de respuesta a los riesgos, así como la nueva probabilidad de ocurrencia y su impacto). El gráfico de previsión de la ilustración 40 muestra todos los escenarios del impacto total de los riesgos individuales al presupuesto del proyecto de la Planta de Alquiler.

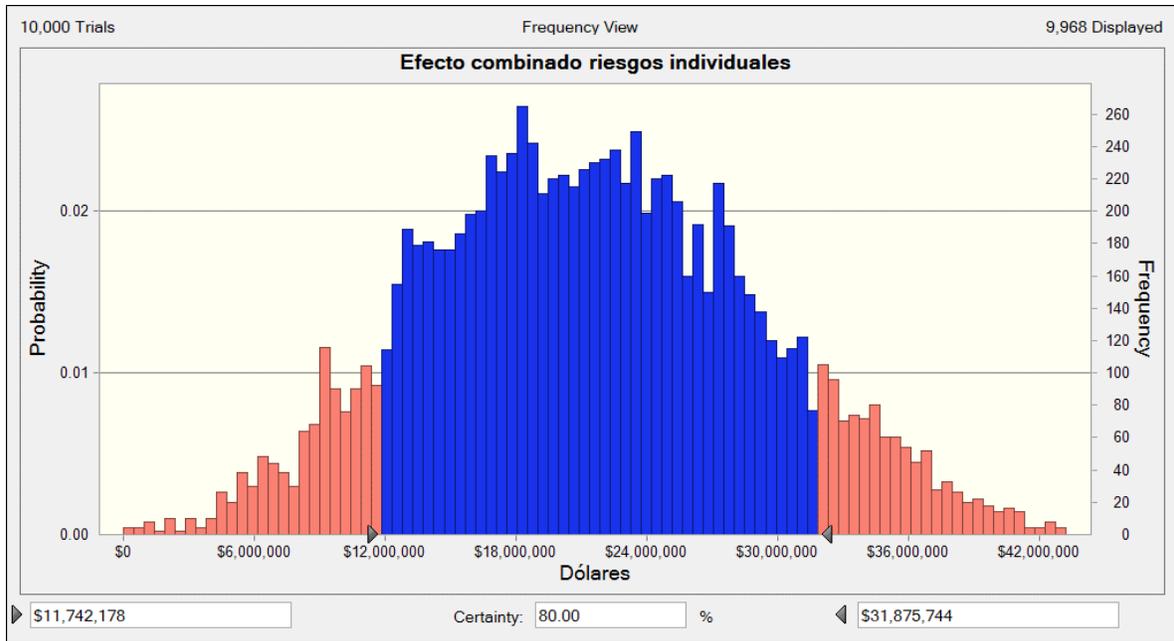


Ilustración 40. Cálculo de la reserva de contingencia para el presupuesto (RCP).

Para nuestro caso de estudio solamente se ha formulado un plan de respuesta a los riesgos, el cual asumimos que puede ser el mejor plan que se puede establecer, pero es importante mencionar que uno de los objetivos del método es validar el plan de respuesta a los riesgos, por lo que es posible diseñar más de un plan y poner a prueba (simular) cada uno de ellos con el fin de calcular la reserva de contingencia que nos permita lograr la probabilidad de éxito requerida.

Paso IV: Determinar la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto considerando la reserva de contingencia.

Una vez que se estableció el plan de respuesta a los riesgos identificados y la reserva de contingencia para la unidad de alquiler, se procedió a ejecutar nuevamente la simulación Monte Carlo, pero ahora considerando la nueva información. En este caso, el presupuesto considera la suma de los estimados de costos de las fases del proyecto, reserva de contingencia y reserva de gestión, por lo que nuestro presupuesto actual asciende a \$544,227,995.

En el gráfico de previsión de la ilustración 41 podemos observar que la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto ha incrementado de 2.34% a 74%. Los resultados de esta simulación consideran una reserva de contingencia de \$31,875,744 y una reserva de gestión de \$14,922,881. (Archivo de referencia: Dentro de la carpeta del capítulo 4 el archivo de Microsoft Excel [Paso IV POSE Costo.xls](#) muestra la información del modelo construido considerando la nueva información).

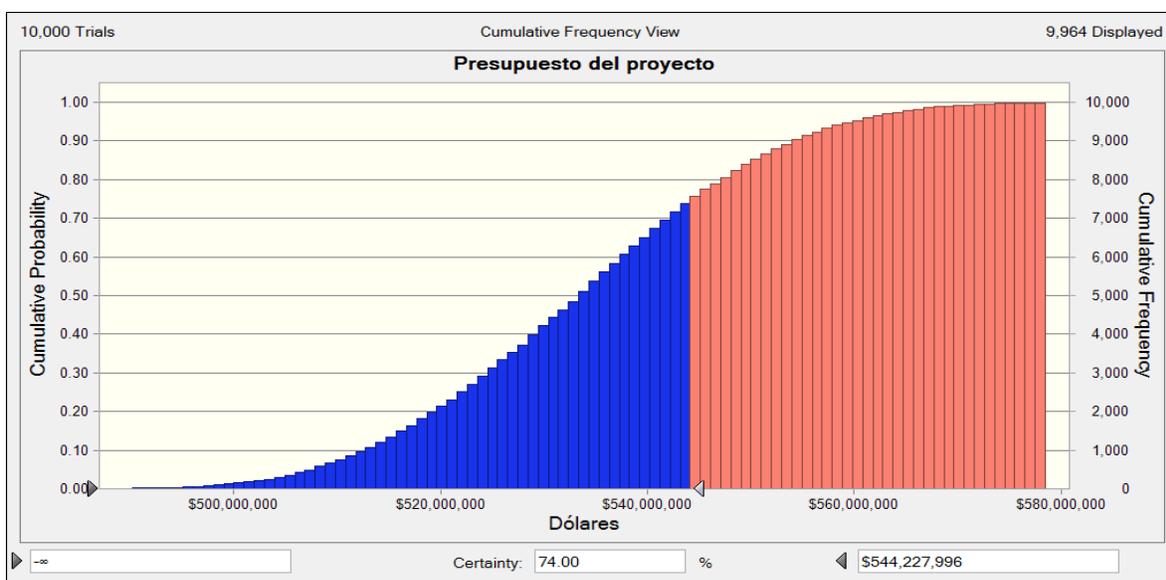


Ilustración 41. Probabilidad de éxito de lograr el presupuesto para la unidad de alquiler con plan de respuesta a los riesgos.

Hasta el momento tenemos una probabilidad de éxito de 74% para cumplir el presupuesto de \$544,227,995 para la unidad de alquiler, sin embargo, no se ha alcanzado el objetivo de obtener un plan de al menos el 85% de probabilidad de éxito, por lo que es necesario realizar algunos cambios.

Paso V: Realizar iteraciones de reservas de contingencia y reservas de gestión.

En este paso realizaremos iteraciones con la reserva de contingencia y la reserva de gestión, en este caso se decide reducir la reserva de gestión como último recurso para alcanzar la probabilidad de éxito requerida de lograr el presupuesto de la unidad de alquiler. Mencionado esto, se busca la mejor combinación de la reserva de contingencia y la reserva de gestión que nos proporcione la probabilidad de éxito de al menos un 85% de lograr el presupuesto para la unidad de alquiler.

Para realizar las combinaciones entre las reservas del proyecto se define la reserva de gestión como una variable de decisión con un rango del 1.5% al 3% del costo estimado de las fases del proyecto con incrementos de 0.25% (Consulte la sección 2.2.5 para variables de decisión) y se procede a ejecutar las simulaciones para cada combinación de reserva de contingencia y reserva de gestión.

Después de ejecutar la simulación considerando como variable de decisión la reserva de gestión se obtienen los resultados que se muestran en la Tabla 29. Dentro de estos resultados buscaremos aquella combinación en donde la reserva de gestión sea máxima y la probabilidad de éxito sea de al menos un 85% de lograr el presupuesto para la unidad de alquiler (Archivo de referencia: Dentro de la carpeta del capítulo 4 el archivo de Microsoft Excel [Paso VI POSE Costo.xls](#) muestra la combinación de RGP y RCP).

Tabla 29. Combinación de resultados entre la RGP y la RCP para el presupuesto.

Combinación	Reserva de contingencia	Reserva de gestión	Probabilidad de lograr el presupuesto de \$544,227,996 para la unidad de alquiler.
1	\$39,337,185	\$7,461,441	86.25%
2	\$38,093,611	\$8,705,014	84.36%
3	\$36,850,038	\$9,948,587	82.59%
4	\$35,606,464	\$11,192,161	80.43%
5	\$34,362,891	\$12,435,734	78.42%
6	\$33,119,317	\$13,679,308	76.34%
7	\$31,875,744	\$14,922,881	74%

Paso VI: Definir los valores que representen la mejor solución para el presupuesto con la probabilidad de éxito requerida.

Como se puede observar en la Tabla 29, la combinación uno nos proporciona una solución de un presupuesto con una probabilidad de éxito de al menos el 85% (ilustración 42), por lo que se da finalizado la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) para el presupuesto del proyecto de la Planta de Alquiler.

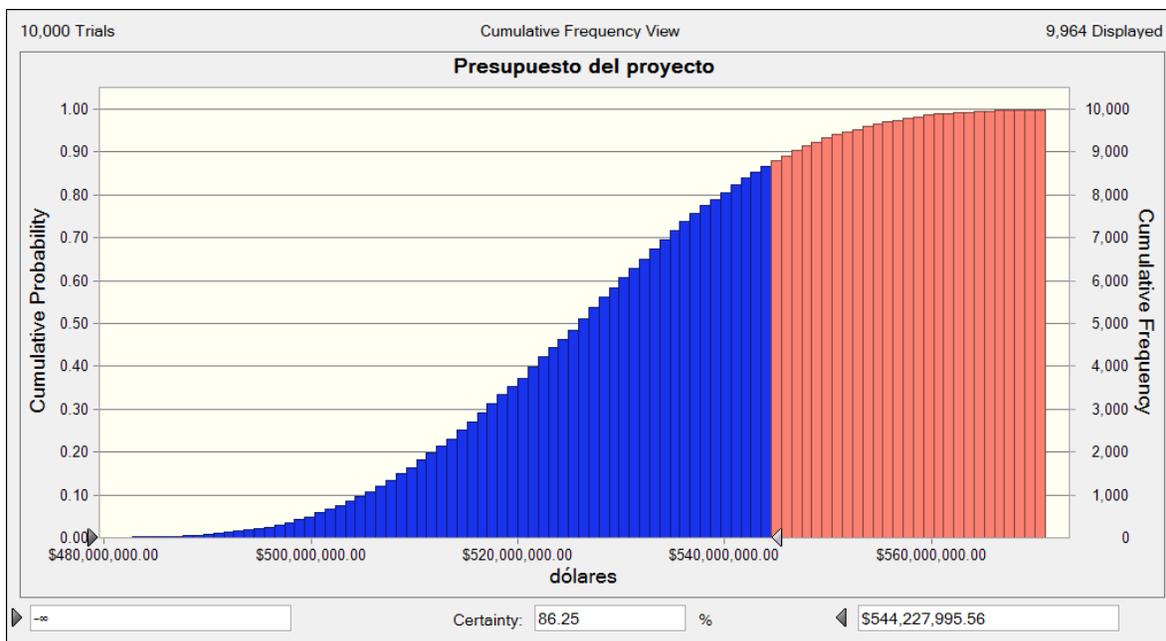


Ilustración 42. Gráfico de previsión de la combinación 1 de la Tabla 29.

Hasta este momento hemos encontrado la mejor solución para el presupuesto del proyecto de la Planta de Alquiler, sin embargo, aún debemos establecer la mejor solución para el cronograma.

4.2 Probabilidad de al menos el 85% de éxito de lograr el cronograma deseado para el Proyecto de una Planta de Alquiler.

En esta sección se aplica el Método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) para desarrollar un plan del proyecto en términos de tiempo que tenga una probabilidad de éxito o nivel de certeza de al menos el 85% de lograr el cronograma.

Con la información de la ruta crítica y la reserva de gestión en términos de tiempo se inicia la evaluación para el cronograma del proyecto de la Planta de Alquiler.

Paso I: Identificar y realizar un análisis cualitativo de los riesgos (Tiempo).

Debido a que en la sección de costos ya se han identificado los riesgos del proyecto, en este paso se seleccionaron aquellos que pudieran tener un impacto en las actividades críticas del proyecto de la unidad de alquiler.

Una vez identificados estos riesgos, al igual que para la parte de costo, se definió para cada riesgo un impacto mínimo, más probable y máximo en términos de tiempo (días de retraso), esto con base en las matrices genéricas de riesgos y las Tablas 25,26 y 27.

Además, con base en el valor de los riesgos (Probabilidad de ocurrencia x Impacto) se realizó la priorización de los riesgos en términos de tiempo. En este caso, se ha considerado como riesgo alto aquel con valor de 5 días de retraso, como riesgo medio aquel con 3 días de retraso y los menores a 3 días de retraso como riesgo bajo. (Archivo de referencia: Dentro de la carpeta del capítulo 4 el archivo de Microsoft Excel [Paso I_POSE_Tiempo.xls](#) muestra la información de los riesgos identificados, su probabilidad de ocurrencia y su impacto en el tiempo).

Paso II: Determinar la probabilidad de éxito sin plan de respuesta a los riesgos (sin reserva de contingencia, Tiempo).

En este paso evaluamos la probabilidad de éxito de lograr el cronograma considerando únicamente la suma de la ruta crítica del proyecto y la reserva de gestión.

Para la construcción del modelo se consideró lo siguiente:

1. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos definida como una distribución Si-No.
2. Impacto del riesgo definido como una distribución BetaPert.
3. La duración de las actividades críticas, que al igual que para el impacto de los riesgos se definieron en una distribución BetaPert. Para esto se estableció un estimado de costo mínimo, más probable y máximo de acuerdo a la tabla 30.

Tabla 30. Parámetros de simulación para el estimado de tiempo de la unidad de alquiler

Tiempo		
Mínimo	Más probable	Máximo
90%	100%	110%

Previsiones:

1. Duración total del Proyecto de una Planta de Alquiler compuesto por la suma de la duración de la ruta crítica, la reserva de gestión (RGC) y la reserva de contingencia (RCC).

Después de la construcción de este modelo se procedió a ejecutar la simulación Monte Carlo utilizando Oracle Crystal Ball para realizar la evaluación integral de los riesgos con el cronograma del proyecto, el cual consiste en estos momentos de la suma de la duración de la ruta crítica del proyecto y la reserva de gestión, es decir, 854 días. Esta simulación nos permitirá determinar la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto mencionado (Archivo de referencia: Dentro de la carpeta del capítulo 4 el archivo de Microsoft Excel [Paso II POSE Tiempo.xls](#) muestra el modelo construido descrito anteriormente). Las salidas de la simulación (gráfico de previsión) se muestran en la ilustración 43.

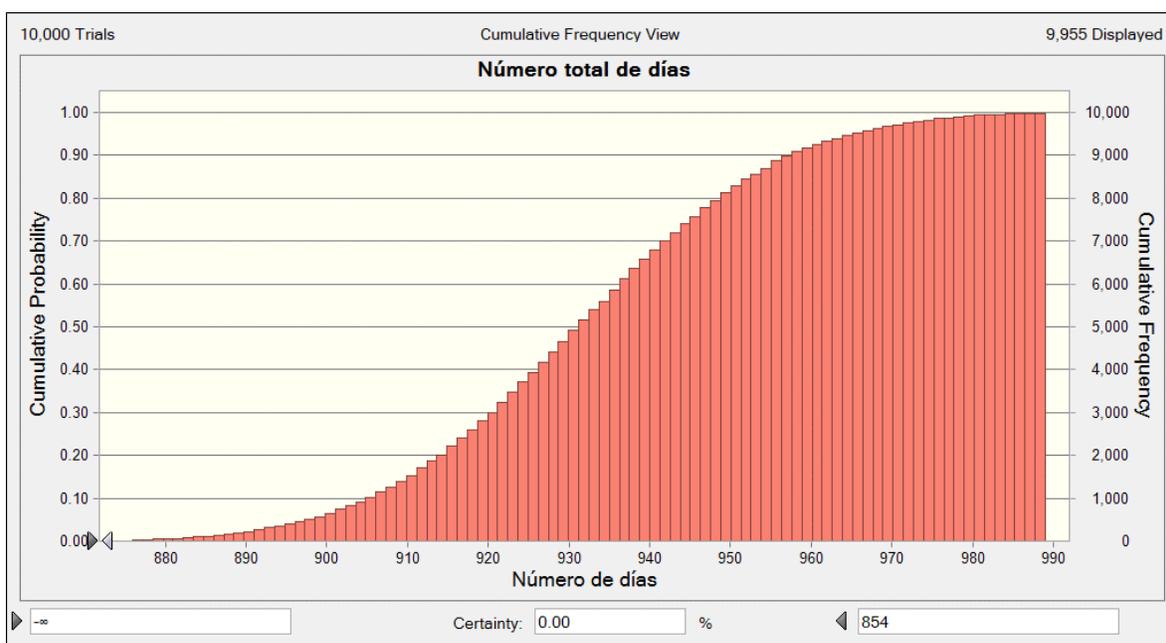


Ilustración 43. Probabilidad de éxito de lograr el cronograma para la unidad de alquiler sin plan de respuesta a los riesgos.

Después de ejecutar la simulación Monte Carlo utilizando Oracle Crystal Ball podemos observar que la probabilidad de éxito de lograr el cronograma de 954 días sin considerar una reserva de contingencia es de 0%. Por lo tanto, es de vital importancia establecer un plan de respuesta a estos riesgos para disminuir su probabilidad de ocurrencia y/o impacto para alcanzar la probabilidad de éxito objetivo para el proyecto de la unidad de alquiler.

Paso III: Establecer un plan de respuesta a los riesgos y determinar el valor de la reserva de contingencia (Tiempo).

Una vez que se ha evaluado el cronograma sin considerar un plan de respuesta a los riesgos, en este paso se procede al cálculo de la reserva de contingencia con el objetivo de contrarrestar el efecto combinado de los riesgos individuales del proyecto y alcanzar la probabilidad de éxito de al menos el 85%,

En este caso, se considera el plan de respuesta a los riesgos elaborado anteriormente en la parte de costos, es decir, se utiliza el mismo plan de respuesta a los riesgos ya definido, con la diferencia de que los impactos de los riesgos están en términos de días de retraso.

Para calcular la reserva de contingencia para el cronograma se construyó el siguiente modelo:

Suposiciones:

1. Probabilidad de ocurrencia de los riesgos considerando el plan de respuesta, esta se definió como una distribución Si-No.
2. Impacto de los riesgos individuales (tiempo), definido como una distribución BetaPert.

Previsión:

3. El impacto total de los riesgos, es decir, el efecto combinado de los riesgos individuales.

Después de ejecutar la simulación de Monte Carlo la reserva de contingencia calculada es de 70 días, esto considerando que esta cantidad de tiempo es suficiente para cubrir el 80% de los escenarios resultantes. (Archivo de referencia: Dentro de la carpeta del capítulo 4 el archivo de Microsoft Excel [Paso III POSE Tiempo.xls](#) muestra la información del plan de respuesta a los riesgos en términos de tiempo). El gráfico de previsión de la ilustración 44 muestra todos los escenarios del impacto total de los riesgos individuales al cronograma del proyecto de la Planta de Alquiler.

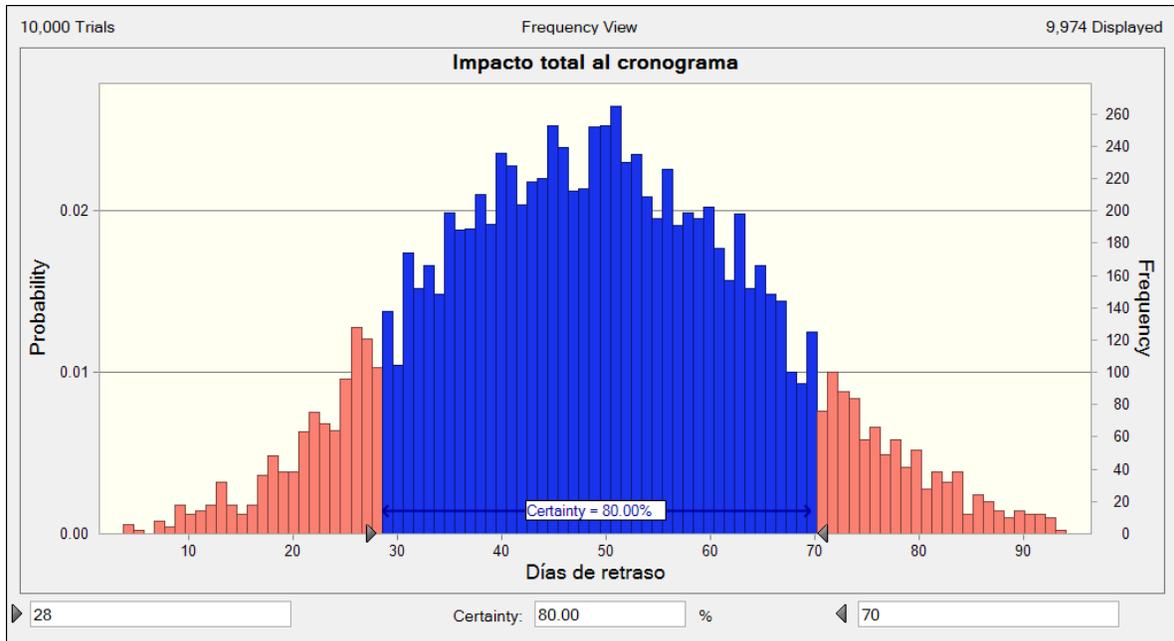


Ilustración 44. Cálculo de la reserva de contingencia para el cronograma (RCC).

Paso IV: Determinar la probabilidad de éxito de lograr el cronograma considerando la reserva de contingencia.

Al igual que para la parte de costos, una vez que se establece el plan de respuesta a los riesgos se procede a ejecutar nuevamente la simulación Monte Carlo considerando la nueva información. En este caso, el cronograma considera la suma de la duración de la ruta crítica, la reserva de contingencia y la reserva de gestión, por lo que nuestro cronograma tiene una duración de 924 días.

En el gráfico de previsión de la ilustración 45 podemos observar que la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto ha incrementado de 0% a 74%. Los resultados de esta simulación consideran una reserva de contingencia de 70 días y una reserva de gestión de 25 días. (Archivo de referencia: Dentro de la carpeta del capítulo 4 el archivo de Microsoft Excel [Paso IV_POSE_Tiempo.xls](#) muestra la construcción del modelo considerando la nueva información).

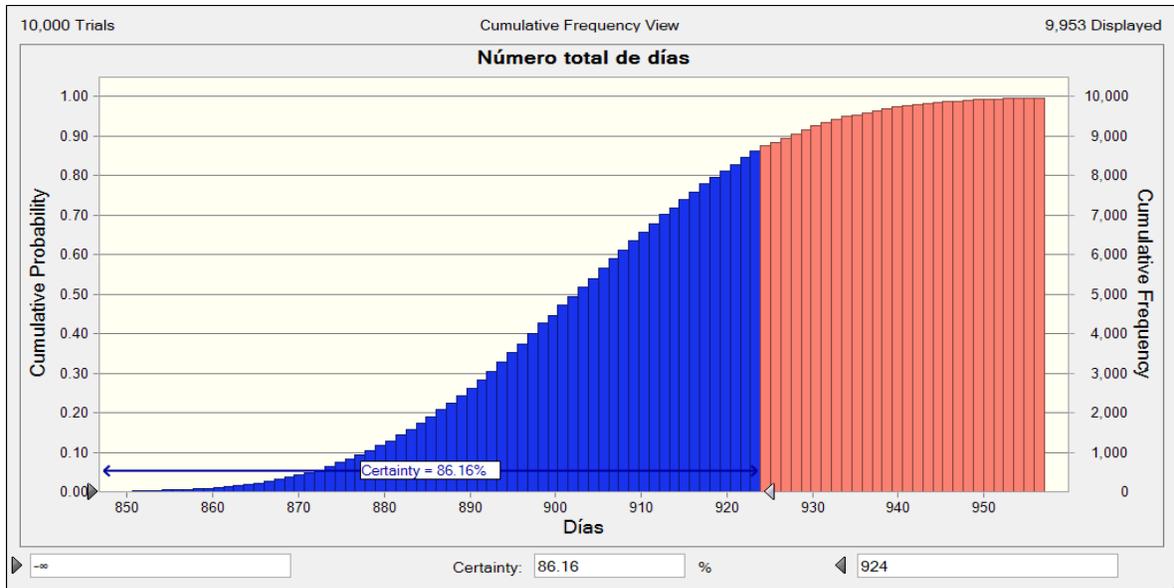


Ilustración 45. Probabilidad de éxito de lograr el cronograma para la unidad de alquiler con plan de respuesta a los riesgos.

En el gráfico de previsión anterior podemos observar que la probabilidad de éxito de lograr el cronograma ha incrementado 0.71% a 86.16%, debido a esto ya no es necesario desarrollar el paso cinco del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE).

Paso VI: Definir los valores que representen la mejor solución para el cronograma con la probabilidad de éxito requerida.

Como se puede observar en la ilustración 45, el cronograma de 924 días considerando una duración de ruta crítica de 829 días, una reserva de contingencia de 70 días y una reserva de gestión de 25 días nos proporciona una solución aceptable con una probabilidad de éxito de 86.16%, por lo que se da finalizado la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) para el cronograma del proyecto de la Planta de Alquiler.

4.3 Conclusiones

En este capítulo se ha mostrado la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) para establecer una solución que representa al menos un 85% de probabilidad de éxito de lograr el presupuesto de \$544,227,996 y el cronograma de 924 días para el Proyecto de la Planta de Alquiler.

El proceso de identificación, cuantificación y priorización del paso uno se ha podido llevar a cabo con la ayuda de una matriz genérica de riesgos la cual ha resultado ser una herramienta bastante útil para identificar y establecer la probabilidad de ocurrencia e impacto de cada uno de los riesgos, sin embargo, no hay que perder de vista que se ha utilizado el juicio de un experto para adaptarla a nuestro estudio de caso.

Posteriormente, el paso dos del método demuestra la importancia de establecer un plan de respuesta a los riesgos, ya que los riesgos son por definición incertidumbres que si ocurriesen tendrían un impacto negativo (amenazas) en el cumplimiento de los objetivos del proyecto, en este caso al no contar con una reserva de contingencia en términos de costo y tiempo para el Proyecto de la Planta de Alquiler se obtiene una probabilidad de éxito prácticamente nula.

En el paso 3, se estableció un plan de respuesta a los riesgos que se comparte tanto para el presupuesto como para el cronograma considerando estrategias y acciones recomendadas por la literatura y el juicio de un experto con el fin de reducir la probabilidad de ocurrencia y/o impacto de cada uno de los riesgos identificados para la unidad de alquiler, en este caso el plan de respuesta a los riesgos nos ha permitido elevar de manera considerable la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto (2.34% a 74%) y el cronograma (0% a 86.16%) del Proyecto de la Planta de Alquiler.

Si bien se pudo elevar la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto para la planta de alquiler; esta solución no nos representó al menos un 85% de certeza de lograrlos. Por lo que se recurrió a realizar iteraciones con combinaciones de reserva de contingencia y reserva de gestión.

Para nuestro caso estas combinaciones entre la reserva de contingencia y reserva de gestión nos permitió alcanzar la solución deseada para el presupuesto. Por lo que, en términos de costos se ha establecido una solución que nos proporciona una probabilidad de éxito del 86.25% de lograr el presupuesto de \$544,227,996 considerando un costo estimado de las actividades del proyecto de \$497,429,370, una reserva de contingencia de \$39,337,185 y una reserva de gestión de \$7,461,441.

Por otra parte, en términos de tiempo se ha establecido una solución que nos proporciona una probabilidad de éxito del 86.16% de lograr el cronograma de 924 días considerando una ruta crítica del proyecto de 829 días, una reserva de contingencia de 70 días y una reserva de gestión de 25 días. Cabe destacar que, la aplicación del método para el presupuesto y cronograma se realiza de manera separada, sin embargo, siempre se debe tener en cuenta que el costo y el tiempo están relacionados y que un cambio en costo puede tener un impacto en el tiempo y viceversa, esto significa que debemos de tener una probabilidad de éxito adecuada tanto para el presupuesto como para el cronograma y establecer una combinación de ellas que nos ofrezca una solución aceptable.

5. Método “Evaluador de Probabilidad de Éxito” durante la ejecución del Proyecto de una Planta de Alquiler.

En el capítulo anterior hemos desarrollado una solución aceptable que nos proporciona una probabilidad de éxito de al menos el 85% de lograr el presupuesto de \$544,227,996 y el cronograma de 924 días para el Proyecto de una Planta de Alquiler.

Esta solución en términos de costos representa considerar \$497,429,370 para los estimados de costos de las fases del proyecto, \$39,337,185 de reserva de contingencia y \$7,461,441 para la reserva de gestión, mientras que en términos de tiempo representa considerar una ruta crítica de 829 días, 25 días de reserva de gestión y 70 días de reserva de contingencia.

Teniendo en cuenta esto, en este capítulo se aplica el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) para la etapa de ejecución (4 pasos) bajo el supuesto de que el proyecto ya se ha iniciado y se ha completado la fase de ingeniería, por lo que el objetivo en las siguientes secciones será evaluar la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto de \$544,227,996 y el cronograma de 924 días del proyecto restante.

Los modelos y las simulaciones que se ejecuten en este capítulo, están disponibles en el siguiente enlace:

<https://www.dropbox.com/sh/qzg81zqvg5ato3s/AABeJ2pvhNHgAbN4zy2i5ba?dl=0>

En la carpeta denominada “Capítulo 4” del enlace, el lector podrá encontrar todas las hojas de cálculo que se mencionarán en este capítulo.¹²

¹² Para una referencia instantánea de las hojas de cálculo véase el Anexo F de este trabajo.

5.1 El método “Evaluador de Probabilidad de Éxito” para el monitoreo y control del presupuesto del proyecto de la Planta de Alquiler.

En el capítulo anterior hemos desarrollado un plan en términos de costos que nos provee una probabilidad de éxito del 80.43% de lograr el presupuesto de \$544,227,996 para la unidad de alquiler, este presupuesto se desglosa en \$497,429,370 para los estimados de costos de las fases del proyecto, \$7,461,441 de reserva de gestión y \$39,337,185 para la reserva de contingencia. Por lo que, comenzaremos la aplicación del método en la fase de ejecución con los parámetros descritos anteriormente.

En virtud de esto, en esta sección se aplica el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) para la etapa de ejecución con el fin de determinar la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto de \$544,227,996 suponiendo que se ha completado la fase ingeniería, la cual tiene una duración de 9 meses de acuerdo a nuestro cronograma y se desarrolla conjuntamente con 9 de los 12 meses de procura y con 2 de los 17 meses de construcción. (Archivo de referencia: Dentro de la carpeta del capítulo 5 el archivo de Microsoft Excel [POSE Costo Ejecución.xls](#) muestra la aplicación de los 4 pasos del método para la ejecución).

Paso I: Determinar los riesgos ocurridos en el proyecto.

La ingeniería del proyecto se ha ejecutado. Por lo tanto, ahora podemos identificar aquellos riesgos que han ocurrido en esta fase. Debido a que la ingeniería se ejecuta conjuntamente con la procura y la construcción, consideraremos que han ocurrido riesgos exclusivamente de la fase de ingeniería y que se mantiene la incertidumbre en los riesgos de procura y construcción.

Ahora, asumiremos que han ocurrido cada uno de los riesgos identificados para la fase de ingeniería, esto significa que debemos cambiar la probabilidad de estos a riesgos a 1 y actualizar la reserva de contingencia, ya que estos riesgos consumen \$3,795,666, por lo que la reserva de contingencia actual es de \$35,541,519 para el resto del proyecto.

Paso II: Actualización del presupuesto del proyecto.

La fase de ingeniería se ha ejecutado y sabemos el costo exacto de esta fase. Anteriormente, hemos establecido el costo de la ingeniería en una distribución BetaPert con un estimado de costo mínimo, más probable y máximo, en este caso asumiremos que el costo de la fase de ingeniería ha sido de \$37,717,086, es decir, el costo máximo de la distribución.

Por otra parte, con anterioridad se ha mencionado que la ingeniería se desarrolla conjuntamente con algunos meses de las fases de procura y construcción, por lo que también se conoce el monto que se ha gastado hasta el momento en el desarrollo de las actividades de estas fases, para actualizar estos montos se utilizará el costo planeado que se muestra en el archivo de Microsoft Excel [“Información del Proyecto Planta de Alquiler \(tiempo y costo\).xls”](#).

En este caso, se asume que se ha utilizado \$323,952,780 y \$1,505,870 para la procura y construcción respectivamente, quedando un presupuesto para la procura de \$28,914,060 y para la construcción de \$105,309,050, los cuales se introducirán a la simulación como una distribución BetaPert (suposición).

Paso III: Ejecutar la simulación Monte Carlo utilizando Crystal Ball.

Después de actualizar la información de los riesgos que han ocurrido, así como el costo de las fases que se han ejecutado, en este caso la ingeniería y algunos meses de la procura y la construcción, con la ayuda de Oracle Crystal Ball simulamos el nuevo modelo construido para determinar la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto para el proyecto restante. El gráfico de previsión de esta simulación considerando la información actualizada se muestra en la ilustración 46.

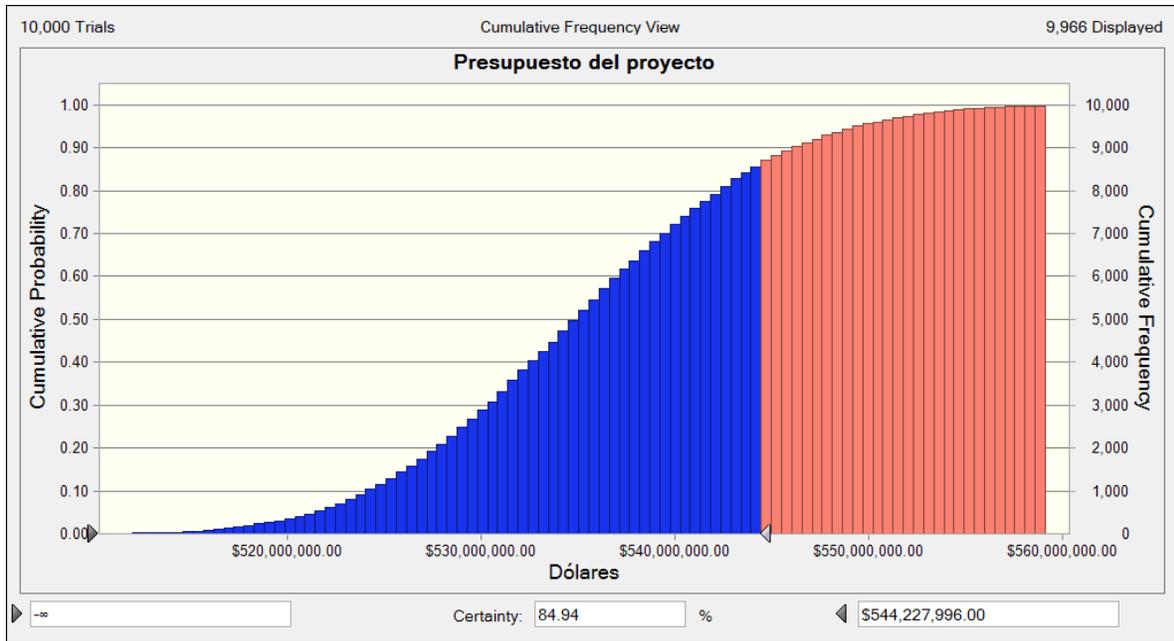


Ilustración 46. Probabilidad de éxito de lograr el presupuesto para el proyecto restante

Paso IV: Determinar la probabilidad de éxito para lograr el presupuesto del proyecto restante.

Como se muestra en la ilustración 46, la probabilidad de éxito para lograr el presupuesto planeado de \$544,227,996 para la unidad de alquiler ha disminuido de 86.25% a 84.94%. En este caso la disminución de la probabilidad de éxito ha sido mínima, ya que los principales sobrecostos que el proyecto puede sufrir son debido al impacto de los riesgos, sin embargo, se ha establecido un montón de reserva de contingencia suficiente para contrarrestar este efecto.

Ahora, con una reserva de contingencia de \$35,541,519, una reserva de gestión de \$7,461,441 y el costo estimado de las fases que no se han ejecutado, la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto de \$544,227,996 es de 84.94%.

5.2 El método “Evaluador de Probabilidad de Éxito” para el monitoreo y control el cronograma del proyecto de la Planta de Alquiler.

En el capítulo anterior hemos desarrollado un plan en términos de tiempo que nos provee una probabilidad de éxito del 86.16% de lograr el cronograma deseado de 924 días para la unidad de alquiler, este cronograma se desglosa en 829 días de la ruta crítica, 25 días de reserva de gestión y 70 días de reserva de contingencia.

Al igual que para el presupuesto del proyecto, evaluaremos la probabilidad de éxito de lograr el cronograma en 924 días suponiendo que se ha completado la fase ingeniería. (Archivo de referencia: Dentro de la carpeta del capítulo 5 el archivo de Microsoft Excel [POSE Tiempo Ejecución.xls](#) muestra la aplicación de los 4 pasos del método para la ejecución).

Paso I: Determinar los riesgos ocurridos en el proyecto.

Para el costo, hemos asumido que han ocurrido cada uno de los riesgos identificados para la fase de ingeniería, por lo tanto, para el monitoreo y control del cronograma se continua con esta suposición y se cambia la probabilidad de ocurrencia de estos riesgos a 1. Además, debido a que estos riesgos consumen días 11 días de la reserva de contingencia, esta se actualiza a 59 días para el resto del proyecto.

Al igual que para el presupuesto, se consideran solamente los riesgos de la fase de ingeniería y se mantienen la incertidumbre de los riesgos identificados para las fases de procura y construcción.

Paso II: Actualización del cronograma del proyecto.

De acuerdo con nuestro cronograma, al completarse la fase de ingeniería nos encontramos en el mes de abril de 2019¹³, por lo que considerando esta fecha podemos observar que se han ejecutado las actividades críticas de ingeniería y de procura.

¹³ Véase el archivo de Microsoft Project [Proyecto de una Planta de Alquiler \(Línea base\).mpp](#)

Conociendo con certeza la duración de estas actividades críticas, nosotros podemos actualizar la ruta crítica del proyecto de la unidad de alquiler, en este caso se considerará la duración más probable de la distribución BetaPert para estas actividades, mientras que para las actividades restantes de la ruta crítica se mantienen la incertidumbre.

Paso III: Ejecutar la simulación Monte Carlo utilizando Crystal Ball.

Después de actualizar la información de los riesgos que han ocurrido, así como la duración de las actividades críticas que se han ejecutado, con la ayuda de Oracle Crystal Ball simulamos el nuevo modelo construido para determinar la probabilidad de éxito de lograr el cronograma para el proyecto restante. El gráfico de previsión de esta simulación considerando la información actualizada se muestra en la ilustración 48.

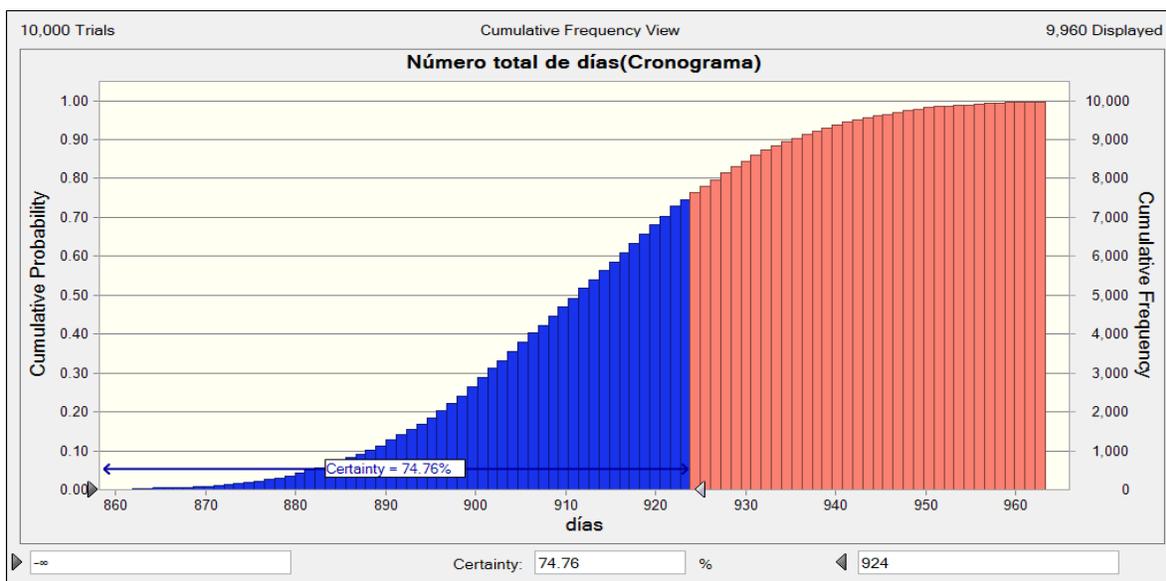


Ilustración 47. Probabilidad de éxito de lograr el cronograma para el proyecto restante.

Paso IV: Determinar la probabilidad de éxito para lograr el cronograma del proyecto restante.

Como se muestra en la ilustración 45, la probabilidad de éxito de lograr el cronograma planeado de 980 días para la unidad de alquiler ha disminuido de 86.16% a 74.76%. Este decremento se puede atribuir principalmente al gran impacto que tienen los riesgos de ingeniería en el cronograma del proyecto, ya que su efecto combinado asciende casi a un mes de retraso.

Ahora, con una reserva de contingencia de 59 días, una reserva de gestión de 25 días y la duración de las actividades críticas que no se han ejecutado, la probabilidad de éxito de lograr el cronograma de 924 días es de 74.76%.

5.3 Conclusiones

En este capítulo queda demostrada la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) en la ejecución del Proyecto de la Planta de Alquiler suponiendo que la fase de ingeniería se ha completado.

En virtud de esto, se concluye que el método resulta ser una herramienta poderosa para el monitoreo y control del proyecto durante la ejecución, puesto que con la actualización de la información en términos de costo, tiempo y riesgos, se puede determinar la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto y cronograma del proyecto restante en cualquier punto de la ejecución e informar a sus involucrados con un parámetro único, significativo y de fácil comprensión (Probabilidad de éxito) la salud del proyecto.

Particularmente, la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) en la ejecución nos ha permitido llegar a los siguientes resultados:

La probabilidad de éxito para lograr el presupuesto de \$544,227,996 para la unidad de alquiler ha disminuido de 86.25% a 84.94%, el ligero decremento se debe principalmente a que se cuenta con una reserva de contingencia que puede mitigar el impacto combinado de los riesgos de ingeniería. En el caso del cronograma, la probabilidad de éxito de lograr el plazo de 924 días ha disminuido de 86.16% a 74.16%, este decremento se atribuye al gran impacto combinado de los riesgos de ingeniería.

Como en cualquier proceso de monitoreo y control, este decremento en probabilidad de éxito de lograr el presupuesto y cronograma en la ejecución del proyecto da la pauta para que se tomen acciones correctivas o preventivas que permitan continuar con un nivel aceptable de probabilidad de éxito de lograr lo deseado, dentro de estas se encuentran: redefinir el proyecto reduciendo el alcance, añadir o remover recursos, resolver problemas técnicos, remplazando al gerente del proyecto o contratando a un consulto de recuperación de proyecto, etc. Sin embargo, la implementación de estas estrategias van más allá del alcance de este trabajo.

6. Conclusiones generales

Las estadísticas muestran que el 47% de los proyectos fallan en el costo, el 51% fallan en cronograma (tiempo) y el 45% experimentan un deslizamiento en el alcance (PMI, Pulse of the Profession, 2016). El gran porcentaje de fracaso se atribuye a cuatro causas principales: Planeación deficiente, deslizamiento de alcance, deficiencias en la ejecución y un pobre análisis de riesgos.

Por lo anterior, el objetivo principal de este trabajo comprendió en aplicar el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) al proyecto de una Planta de Alquiler con la finalidad de mostrar la utilidad de este método para contrarrestar las principales causas de fracaso mencionadas. Después de aplicar el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) al proyecto de una Planta de Alquiler se concluye lo siguiente:

Para contrarrestar las deficiencias en la planeación, el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) nos ofrece una gran ventaja al validar la línea base del proyecto a través de la probabilidad de éxito (nivel de certeza) calculada con la simulación Monte Carlo orientada a través de Oracle Crystal Ball. Si bien el método no nos dice cuáles son las deficiencias que pudiera tener nuestra planeación de la línea base, si nos indica la probabilidad de éxito de que esta se desarrolle bajo el presupuesto y cronograma deseado considerando un determinado alcance

En este sentido, el método nos ha permitido encontrar una solución aceptable para el Proyecto de la Planta de Alquiler que nos proporciona una probabilidad de éxito del 86.25% de lograr el presupuesto deseado de \$544,227,996 millones considerando un costo estimado de las actividades del proyecto de \$497,429,370, una reserva de contingencia de \$39,337,185 y una reserva de gestión de \$7,461,441. Mientras que, en términos de tiempo nos proporciona una probabilidad de éxito del 86.16% de lograr el cronograma deseado de 924 días considerando una ruta crítica del proyecto de 829 días, una reserva de contingencia de 70 días y una reserva de gestión de 25 días.

Por otra parte, para contrarrestar las deficiencias en la ejecución la aplicación del método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) nos ofrece la posibilidad de determinar la probabilidad de éxito de lograr el presupuesto y cronograma para el proyecto restante, con esta probabilidad se pueden tomar decisiones correctivas y preventivas que mejoren el proceso de monitoreo y control durante la ejecución del proyecto. Además, este parámetro único, significativo y de fácil comprensión permite al gerente informar la salud del proyecto.

Con respecto a esto, la aplicación del método en la etapa de ejecución del Proyecto de la Planta de Alquiler bajo el supuesto de que se ha completado la ingeniería nos proporciona una probabilidad de éxito de lograr el presupuesto de \$544,227,996 para el proyecto restante de 84.94% y 74.16% de lograr el cronograma de 924 días. En este caso, los decrementos en la probabilidad de éxito se deben principalmente a la suposición de la ocurrencia de todos los riesgos de ingeniería.

En cuanto al pobre análisis de riesgos, el método muestra la importancia de desarrollar una administración de los riesgos a través de su identificación, análisis cualitativo y análisis cuantitativo que permite evaluar de manera integral los riesgos del proyecto con el presupuesto y el cronograma. Además, de establecer las cantidades necesarias de tiempo y costo para contrarrestar el efecto combinado de los riesgos individuales.

Particularmente, las reservas de contingencia en términos de tiempo y costo que se han establecido en el estudio de caso nos permitieron alcanzar la probabilidad de éxito requerida para el presupuesto y cronograma del proyecto de la Planta de Alquiler.

Finalmente, en cuanto al deslizamiento del alcance queda en evidencia que el método es una herramienta muy valiosa para llevar a cabo un correcto control de cambios. En este caso, si el proyecto experimenta un cambio en el alcance, el método *Evaluador de Probabilidad de Éxito* (POSE) evaluará el impacto de este cambio en el presupuesto y el cronograma a través del cálculo de la probabilidad de éxito.

Anexo A. Métodos Monte Carlo

Historia de los Métodos Monte Carlo

Los inicios del método de Monte Carlo se remontan a 1777, cuando George Louis Leclerc, conde de Buffon intentaba calcular el número π a partir del experimento llamado *Experimento de la aguja de Buffon*. Este ingenioso experimento probabilístico contempla que si se tiene en un plano una serie de rectas paralelas cuya distancia mutua es d , y se lanza al zar una aguja de longitud $l < d$ la probabilidad de que la aguja cruce una de las líneas, o la toque con uno de sus extremos es igual a $2l\pi/d$; de esa fórmula resulta que $\pi = 2l/pd$, donde p es la probabilidad en cuestión, que puede aproximarse por la frecuencia relativa repitiendo muchas veces el experimento. En la década de 1930, Enrico Fermi experimentó primero con el método de Monte Carlo, pero no publicó nada sobre sus experimentos (Metropolis, 1987).

La versión moderna del método Monte Carlo tuvo su origen a finales de los años cuarenta, su creación está ligada a los matemáticos norteamericanos Stanislaw Ulam, Nicholas Metropolis y John Von Neumann, mientras trabajaban en el proyecto Manhattan en el Laboratorio Nacional de Los Álamos.

La esencia del método está capturada en algunos comentarios no publicados que Ulam hizo en 1983 sobre el solitario, estos comentarios relatan el razonamiento para la creación del método Monte Carlo: “

Stanislaw Ulam relata su razonamiento para la creación del método Monte Carlo: “Los primeros pensamientos e intentos que hice para practicar (el método de Monte Carlo) fueron sugeridos por una pregunta que se me ocurrió en 1946 cuando estaba convaleciendo de una enfermedad y jugando solitario. La pregunta era ¿Cuáles son las posibilidades de que un solitario Canfield establecido con 52 cartas salga con éxito? Después de pasar mucho tiempo tratando de estimarlos mediante cálculos combinatorios puros, me pregunté si un método más practico que el *pensamiento abstracto* podría ser describirlo cien veces y simplemente observar y contar el número de jugadas exitosas. Esto ya era posible prever con el inicio de la nueva era de las computadoras rápidas, e inmediatamente pensé en problemas de difusión de neutrones y otras cuestiones de física matemática, y más general la manera de cambiar los

procesos descritos por ciertas ecuaciones diferenciales en una forma equivalente interpretable como una sucesión de operaciones aleatorias. Más tarde, describí la idea a John Von Neumann y comenzamos a planificar los cálculos reales.”¹⁴

El nombre Monte Carlo fue usado por sus creadores en alusión a una población del principado de Mónaco célebre por su casa de juego, donde el tío de Ulam pediría dinero prestado a familiares para apostar y al hecho de que la ruleta, es uno de los aparatos más sencillos para generar números aleatorios.

Métodos de Monte Carlo

Los métodos Monte Carlo son métodos numéricos útiles para resolver problemas por medio de simulación de variables aleatorias. Estos métodos se desarrollan a través de múltiples ensayos y nos permiten aproximar un resultado gracias a la teoría de la probabilidad, en particular a la ley de los grandes números y al teorema central del límite. Además, consisten en la generación de números aleatorios mediante un método de muestreo aleatorio de las distribuciones de probabilidad.

Principios básicos de los métodos Monte Carlo.

Los principios básicos de los Métodos Monte Carlo como se mencionó anteriormente se debe a la ley de los grandes números y al teorema del límite central que son explicados a continuación:

Ley de los grandes números: Bajo este término se engloban varios teoremas que describen el comportamiento del promedio de una secuencia de variables aleatorias conforme aumenta el tamaño de la muestra de manera que este promedio tenderá a estar cerca de la media de la población completa.

Ley de los Grandes Números de Kolmogorov: Sea $\{x_i\}$ una secuencia de variables aleatorias independiente e idénticamente distribuidas donde cada una tiene $E(x_i)=\mu$. Si la media de la muestra es igual a: $\tilde{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, entonces: $\tilde{x}_n \rightarrow \mu$

¹⁴ Eckhardt, Roger. Stan Ulam, John Von Neumann and Monte Carlo Method. Los Alamos Special Issue. 1987

La ley de los grandes números puede ser explicada con este ejemplo sencillo: Consideremos que tenemos una moneda y la arrojamus, en este caso solo hay dos resultados posibles {cara o cruz}, por lo que la probabilidad del resultado individual es $1/2$. Ahora, si lanzamos la moneda diez veces, no podemos garantizar que caerá 5 veces cara y 5 veces cruz. Sin embargo, la ley de los grandes números establece que si lanzamos la moneda un número infinito de veces la probabilidad de cara o cruz será 50%.

Teorema Central del Límite

Una versión simple del Teorema Central del Límite puede expresarse de la manera siguiente. Si se toma una muestra aleatoria de tamaño n de cualquier distribución con media μ y varianza σ^2 , o alternativamente si $\{x_i\}$ es una secuencia de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas cada una con media μ y varianza σ^2 , entonces la función de probabilidad para la media de la muestra converge a una normal con media μ y varianza σ^2/n .

Este resultado se estableció para una muestra aleatoria de una distribución Bernoulli por A. de Moivre a principios del siglo XVIII.

Generación de valores aleatorios:

La generación de una buena secuencia de números aleatorios es la base probabilística del método de Monte Carlo. Cada número aleatorio debe ser totalmente independiente de los otros números de la secuencia. Comúnmente las secuencias de números se obtienen de algún algoritmo y se denominan números pseudoaleatorios, mostrando así el origen determinístico. Este algoritmo ha de generar números de manera realmente estocástica. Los números obtenidos estén uniformemente distribuidos en el intervalo en el que se obtienen $[0, 1]$.

Método de muestreo

El método de muestreo más antiguo que se utilizó en los métodos de Monte Carlo fue desarrollado por Ulam y Von Neumann en 1947 (Eckhardt, 1987). Definido como el método de la transformada inversa.¹⁵ Este método utiliza la distribución acumulada $F(x)$ de la distribución que se va a simular. Puesto que $F(x)$ está definida en el intervalo $(0,1)$, se puede

¹⁵ Este método es el que se utiliza cuando se selecciona Monte Carlo en el cuadro de diálogo de preferencias de ejecución (Muestreo) de la ilustración 21.

generar un número aleatorio uniforme u y tratar de determinar el valor de la variable aleatoria para la cual su distribución acumulada es igual a u , es decir, el valor generado de la variable aleatoria que sigue una distribución de probabilidad se determina al resolver la ecuación $F(X)=u; x=F^{-1}(u)$.

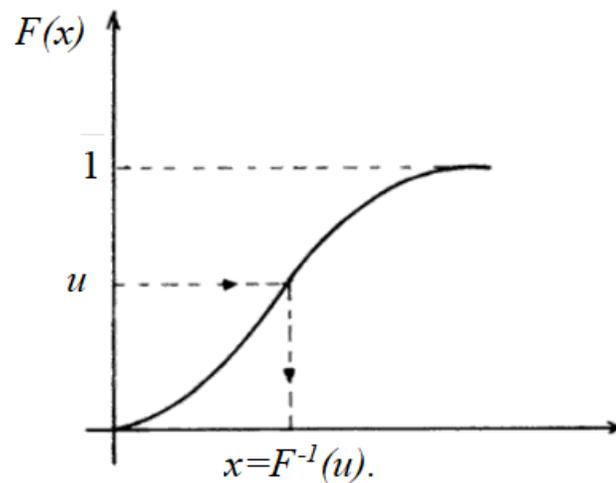


Ilustración A.1. Forma gráfica del método de la transformada inversa.

Además del método de la transformada inversa, a lo largo de los años se ha desarrollado una serie de otros métodos de muestreo definidos para los métodos Monte Carlo, cada uno con su propia ventaja y aplicación. En este trabajo, se utiliza Oracle Crystal Ball para realizar el método Monte Carlo y hemos decidido el método de muestreo denominado Hipercubo Latino. En el siguiente anexo, analizaremos este método de muestreo para comprender en detalle el procedimiento de simulación.

Anexo B. Muestreo de Hipercubo Latino

El muestreo de Hipercubo Latino¹⁶ (LHS, por sus siglas en inglés) es una forma de muestreo estratificado que ayuda a garantizar que todas las partes de la distribución se utilicen para generar variables aleatorias, especialmente las colas. Para ilustrar cómo funciona el método, considere la ilustración B.1, en la cual una distribución de probabilidad acumulada triangular (0,10,10) se estratifica en cinco partes iguales por valores de $F(x)$. El estrato A incluye valores de $F(x)$ entre 0 y 0.2, el estrato B entre 0.2 y 0.4, el estrato C entre 0.4 y 0.6, el estrato D entre 0.6 y 0.8 y el estrato E valores entre 0.8 y 1.0. La ilustración B.2 muestra la distribución de probabilidad triangular (0,10,10) con los mismos estratos, de la A a la E. Por construcción, cada uno de los estratos de la función de distribución de probabilidad tiene un área 0.2

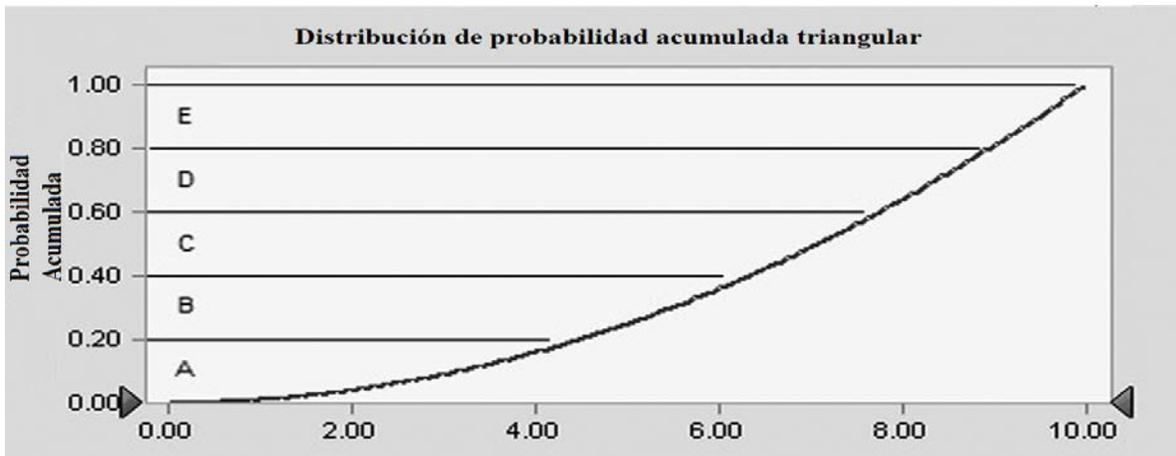


Ilustración B.1. Distribución de probabilidad acumulada triangular (0,10,10) estratificada en cinco segmentos iguales.

Con el muestreo de LHS se seleccionará aleatoriamente uno de los estratos, luego se generará una variable aleatoria, u , dentro de ese estrato y posteriormente se calculará la variable aleatoria correspondiente x . En la próxima prueba, se seleccionará aleatoriamente un estrato que aún no se ha seleccionado, y calculará la variable aleatoria x correspondiente al valor de u seleccionado. Continuará de esta manera hasta que se hayan utilizado los cinco estratos,

¹⁶ Este método es el que se utiliza cuando se selecciona Hipercubo latino en el cuadro de diálogo de preferencias de ejecución (Muestreo) de la ilustración 21

luego se repetirá el proceso hasta que se cumpla uno de los criterios de detención, en este caso el número de intervalos definidos en la ilustración 21.

Si se especifican más pruebas que el número de estratos (intervalos), Crystal Ball intentará dividir uniformemente el número de pruebas para los que se muestrea cada estrato (intervalo).

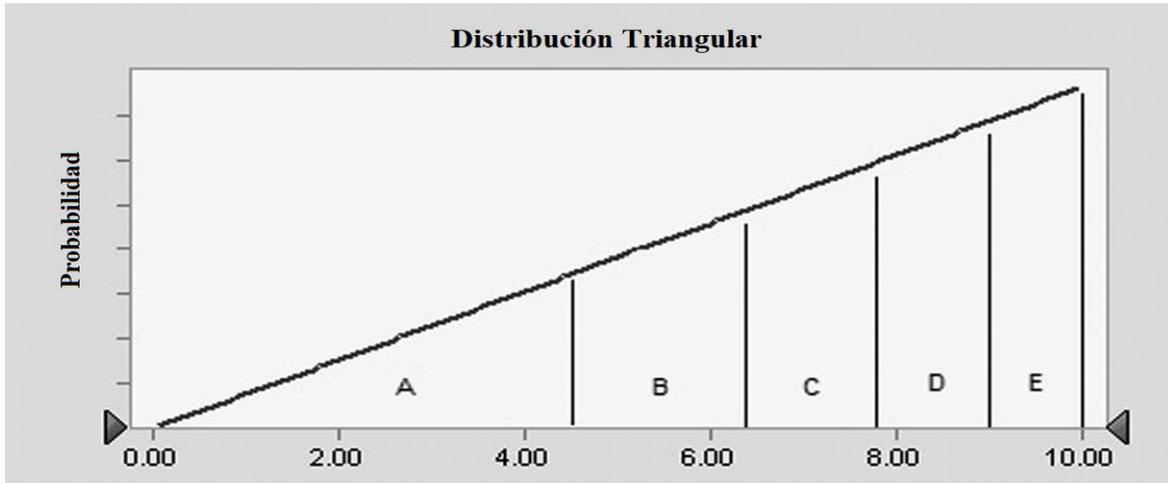


Ilustración B.2. Distribución de probabilidad Triangular estratificada en cinco intervalos por área. Las definiciones de los valores son: $F^{-1}(0.2) = 4.47$, $F^{-1}(0.4) = 6.32$, $F^{-1}(0.6) = 7.75$ y $F^{-1}(0.8) = 8.94$

Para entender más el enfoque de HLS definamos que es un Hiper cubo Latino. Para esto comencemos por explicar que es un Cuadrado Latino. Un Cuadrado Latino es una matriz bidimensional que tiene la propiedad de que cada una de las tres letras A, B y C, solamente aparecen en cada fila y columna.

$$\begin{bmatrix} A & B & C \\ B & C & A \\ C & A & B \end{bmatrix}$$

Por otra parte, un Cubo Latino tiene la propiedad de que cada letra aparezca solamente una vez en cada fila o columna de una matriz tridimensional, como se muestra abajo tres caras de cuadrados latinos.

$$\begin{bmatrix} A & B & C \\ B & C & A \\ C & A & B \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C & A & B \\ A & B & C \\ B & C & A \end{bmatrix} \begin{bmatrix} B & C & A \\ C & A & B \\ A & B & C \end{bmatrix}$$

Un Hiper cubo latino tiene la propiedad de que cada símbolo aparece solo una vez en cada fila o columna de una matriz superior a la tridimensional.

Anexo C. Simulaciones Oracle Crystal Ball

Criterio	Costo total		
	Mínimo	Más probable	Máximo
Equipo	\$38,991,186	\$46,088,873	\$54,108,337
Tubería	\$ 3,468,587	\$ 7,775,797	\$15,317,767
Civil	\$ 1,920,403	\$ 3,776,876	\$ 7,126,940
Acero	\$ 556,851	\$ 1,330,425	\$ 2,669,520
Instrumentos	\$ 3,465,728	\$ 8,701,674	\$17,694,511
Eléctrico	\$ 1,196,388	\$ 2,784,363	\$ 5,545,677
Aislamiento	\$ 791,538	\$ 1,568,010	\$ 2,966,453
Pintura	\$ 236,867	\$ 399,249	\$ 708,366
Fletes, Gastos de Aduana, Seguros, Maniobras y Refaccionamiento	\$ 2,680,859	\$ 3,285,366	\$ 4,119,849
Renta de Maquinaria	\$ 1,384,915	\$ 1,697,200	\$ 2,128,289
Ingeniería Básica, Detalle y Complementaria	\$ 5,452,921	\$ 6,682,501	\$ 8,379,856
Permisos	\$ 1,181,980	\$ 1,448,505	\$ 1,816,425
Pruebas y Puesta en Marcha	\$ 1,772,971	\$ 2,172,758	\$ 2,724,639
Costo Directo Total Estimado		\$87,711,598	

Ilustración C.1. Modelo_OCB

Criterio	Costo total		
	Mínimo	Más probable	Máximo
Equipo		\$43,784,429	
Tubería	\$ 3,468,587	\$ 7,775,797	\$15,317,767
Civil	\$ 1,920,403	\$ 3,776,876	\$ 7,126,940
Acero	\$ 556,851	\$ 1,330,425	\$ 2,669,520
Instrumentos		\$ 8,266,590	
Eléctrico	\$ 1,196,388	\$ 2,784,363	\$ 5,545,677
Aislamiento	\$ 791,538	\$ 1,568,010	\$ 2,966,453
Pintura	\$ 236,867	\$ 399,249	\$ 708,366
Fletes, Gastos de Aduana, Seguros, Maniobras y Refaccionamiento	\$ 2,680,859	\$ 3,285,366	\$ 4,119,849
Renta de Maquinaria	\$ 1,384,915	\$ 1,697,200	\$ 2,128,289
Ingeniería Básica, Detalle y Complementaria	\$ 5,452,921	\$ 6,682,501	\$ 8,379,856
Permisos	\$ 1,181,980	\$ 1,448,505	\$ 1,816,425
Pruebas y Puesta en Marcha	\$ 1,772,971	\$ 2,172,758	\$ 2,724,639
Costo Directo Total Estimado		\$84,972,070	

Ilustración C.2. Modelo_OCB_Retro

Criterio	Costo total		
	Mínimo	Más probable	Máximo
Equipo		\$ 43,784,429	
Tubería	\$3,468,587	\$ 7,775,797	\$ 15,317,767
Civil	\$1,920,403	\$ 3,776,876	\$ 7,126,940
Acero	\$ 556,851	\$ 1,330,425	\$ 2,669,520
Instrumentos		\$ 8,266,590	
Eléctrico	\$1,196,388	\$ 2,784,363	\$ 5,545,677
Aislamiento	\$ 791,538	\$ 1,568,010	\$ 2,966,453
Pintura	\$ 236,867	\$ 399,249	\$ 708,366
Fletes, Gastos de Aduana, Seguros, Maniobras y Refaccionamiento	\$2,680,859	\$ 3,285,366	\$ 4,119,849
Renta de Maquinaria	\$1,384,915	\$ 1,697,200	\$ 2,128,289
Permisos	\$1,181,980	\$ 1,448,505	\$ 1,816,425
Pruebas y Puesta en Marcha	\$1,772,971	\$ 2,172,758	\$ 2,724,639
Costo Directo Total Estimado		\$ 83,635,570	
Criterio	H-H	Costo Promedio H-H (USD)	Costo (USD)
Ingeniería Básica	12,698	\$121.23	\$ 1,231,520
Ingeniería Detalle	38,295	\$111.31	\$ 3,410,241
Ingeniería Complementaria (Procura)	8,465	\$103.99	\$ 704,240
Costo total de Ingeniería Básica, Detalle y Complementaria.			\$5,346,000.80
Porcentaje de reducción	20%		

Ilustración C.3. Modelo_VD

Anexo D. Línea base del Proyecto de la Planta de Alquiler.

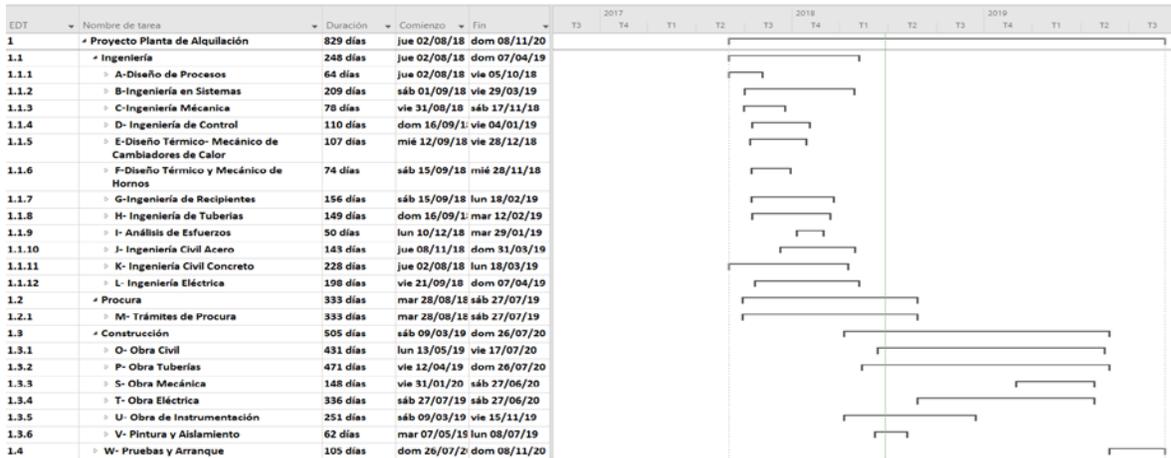


Ilustración D.1. Proyecto de una Planta de Alquileración (Línea base).mpp

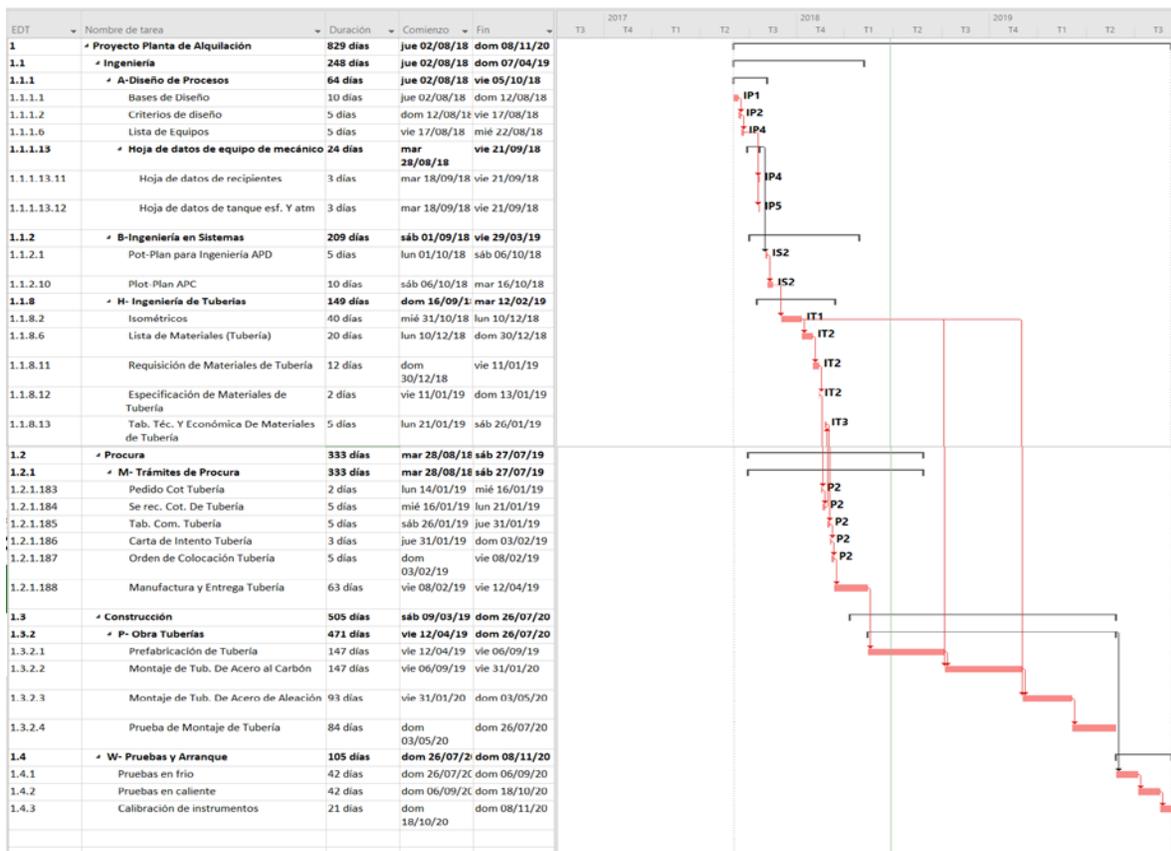


Ilustración D.2. Ruta Crítica .mpp

EDT	Nombre de la tarea	Duración	Comienzo	Fin	Costo
1	Proyecto de Planta de Alquiler	829 días	jue 02/08/18	jue 29/10/20	S 497,429,370
1.1	Ingeniería	238 días	jue 02/08/18	jue 28/03/19	S 34,288,260
1.1.1	Diseño de Procesos	54 días	jue 02/08/18	mar 25/09/18	
1.1.1.1	Bases de Diseño	10 días	jue 02/08/18	dom 12/08/18	
1.1.1.2	Criterios de diseño	5 días	jue 02/08/18	mar 07/08/18	
1.1.1.3	Diagrama de Flujo de Proceso	15 días	mar 07/08/18	mié 22/08/18	
1.1.1.4	Balance de Materia y Energía	5 días	mié 22/08/18	lun 27/08/18	
1.1.1.5	Descripción del Proceso	5 días	mar 07/08/18	dom 12/08/18	
1.1.1.6	Lista de Equipos	5 días	mar 07/08/18	dom 12/08/18	
1.1.1.7	Información Complementaria	5 días	mar 07/08/18	dom 12/08/18	
1.1.1.8	Req. De Servicios Auxiliares	10 días	dom 12/08/18	mié 22/08/18	
1.1.1.9	Diag. Balance de Servicios Aux.	10 días	mié 22/08/18	sáb 01/09/18	
1.1.1.10	Requisición de Catalizador	18 días	dom 12/08/18	jue 30/08/18	
1.1.1.10.1	Hoja de Datos de Catalizador	2 días	dom 12/08/18	mar 14/08/18	
1.1.1.10.2	Requisición Técnica del Catalizador	2 días	mar 14/08/18	jue 16/08/18	
1.1.1.10.3	Especificación Técnica del Catalizador	2 días	jue 16/08/18	sáb 18/08/18	
1.1.1.10.4	Tabulación Técnica y Económica de Catalizador	5 días	sáb 25/08/18	jue 30/08/18	
1.1.1.11	Requisición de Químicos	18 días	dom 12/08/18	jue 30/08/18	
1.1.1.11.1	Hoja de Datos de Químicos	2 días	dom 12/08/18	mar 14/08/18	
1.1.1.11.2	Requisición Técnica de Químicos	2 días	mar 14/08/18	jue 16/08/18	
1.1.1.11.3	Especificación Técnica de Químicos	2 días	jue 16/08/18	sáb 18/08/18	
1.1.1.11.4	Tabulación Técnica y Económica de Químicos	5 días	sáb 25/08/18	jue 30/08/18	
1.1.1.12	Requisición de Paquetes de Proceso	44 días	dom 12/08/18	mar 25/09/18	
1.1.1.12.1	Hoja de Datos de Paquetes de Proceso	2 días	dom 12/08/18	mar 14/08/18	
1.1.1.12.2	Requisición Técnica de Paquetes de Proceso	2 días	mar 14/08/18	jue 16/08/18	
1.1.1.12.3	Especificación de Paquetes de Proceso	3 días	jue 16/08/18	dom 19/08/18	
1.1.1.12.4	Tabulación Téc. Económica De Paquetes de Proceso	5 días	jue 20/09/18	mar 25/09/18	
1.1.1.13	Hoja de datos de equipo de mecánico	24 días	sáb 18/08/18	mar 11/09/18	
1.1.1.13.1	Hoja de datos de compresores de aire	3 días	sáb 18/08/18	mar 21/08/18	
1.1.1.13.2	Hoja de datos de bombas centrifugas	3 días	sáb 18/08/18	mar 21/08/18	
1.1.1.13.3	Hoja de datos de bombas serv. Acido	3 días	mar 21/08/18	vie 24/08/18	
1.1.1.13.4	Hoja de datos de bombas dosificadoras	3 días	mar 21/08/18	vie 24/08/18	
1.1.1.13.5	Hoja de datos de torre de enfriamiento	3 días	jue 30/08/18	dom 02/09/18	
1.1.1.13.6	Hoja de datos de intercambiadores de calor	3 días	jue 30/08/18	dom 02/09/18	
1.1.1.13.7	Hoja de datos de calentadores	3 días	dom 02/09/18	mié 05/09/18	
1.1.1.13.8	Hoja de datos de torre (fracc. Principal)	3 días	dom 02/09/18	mié 05/09/18	
1.1.1.13.9	Hoja de datos torres (otras)	3 días	mié 05/09/18	sáb 08/09/18	
1.1.1.13.10	Hoja de datos de reactor Hydrisom	3 días	mié 05/09/18	sáb 08/09/18	
1.1.1.13.11	Hoja de datos de recipientes	3 días	sáb 08/09/18	mar 11/09/18	
1.1.1.13.12	Hoja de datos de tanque esf. Y atm	3 días	sáb 08/09/18	mar 11/09/18	
1.1.1.14	Filosofía de operación	25 días	dom 26/08/18	jue 20/09/18	
1.1.1.14.1	Arranque normal	6 días	dom 26/08/18	sáb 01/09/18	
1.1.1.14.2	Arranque automático	3 días	lun 03/09/18	jue 06/09/18	
1.1.1.14.3	Operación normal	6 días	jue 06/09/18	mié 12/09/18	
1.1.1.14.4	Paro normal	3 días	mié 12/09/18	sáb 15/09/18	
1.1.1.14.5	Paro de emergencia	5 días	sáb 15/09/18	jue 20/09/18	
1.1.2	Ingeniería en Sistemas	209 días	mié 22/08/18	mar 19/03/19	
1.1.2.1	Pot-Plan para Ingeniería APD	5 días	vie 21/09/18	mié 26/09/18	
1.1.2.2	DTI de Proceso	15 días	mié 22/08/18	jue 06/09/18	
1.1.2.3	DTI de Servicios	15 días	mié 22/08/18	jue 06/09/18	
1.1.2.4	Lista Tubería Proceso y Servicios	5 días	jue 06/09/18	mar 11/09/18	
1.1.2.5	índice de Servicios	10 días	mar 11/09/18	vie 21/09/18	

Ilustración D.3. Información del Proyecto Planta de Alquiler (tiempo y costo).xls (Pestaña Línea base)

1.1.2.6	Requisición de Válvulas de Desfogue	42 días	jue 06/09/18	jue 18/10/18
1.1.2.6.1	Hoja de Datos de Válvulas Desfogue	15 días	jue 06/09/18	vie 21/09/18
1.1.2.6.2	Requisición de Válvulas de Desfogue	5 días	vie 21/09/18	mié 26/09/18
1.1.2.6.3	Especificación de Válvulas de Desfogue	5 días	mié 26/09/18	lun 01/10/18
1.1.2.6.4	Tab. Tec. Y económica De Válvulas de Desfogue	5 días	sáb 13/10/18	jue 18/10/18
1.1.2.7	Requisición de Válvulas de Control	182 días	mar 18/09/18	mar 19/03/19
1.1.2.7.1	Hoja de Datos de Válvulas de Control	15 días	mar 18/09/18	mié 03/10/18
1.1.2.7.2	Requisición de Válvulas de Control	10 días	mié 03/10/18	sáb 13/10/18
1.1.2.7.3	Especificación de Válvulas de control	10 días	sáb 13/10/18	mar 23/10/18
1.1.2.7.4	Tab. Tec. Económica De Válvulas de Control	5 días	jue 14/03/19	mar 19/03/19
1.1.2.8	DTI de Desfogue	15 días	mié 22/08/18	jue 06/09/18
1.1.2.9	Lista de Tubería de Desfogue	12 días	jue 06/09/18	mar 18/09/18
1.1.2.10	Plot-Plan APC	10 días	mié 26/09/18	sáb 06/10/18
1.1.2.11	Revisión Hidráulica	15 días	vie 11/01/19	sáb 26/01/19
1.1.3	Ingeniería Mecánica	78 días	mar 21/08/18	mié 07/11/18
1.1.3.1	Requisición de Compresores de Aire	5 días	mar 21/08/18	dom 26/08/18
1.1.3.2	Especificación de Compresores de Aire	5 días	dom 26/08/18	vie 31/08/18
1.1.3.3	Tab. Téc. Económica De Compresores de Aire	5 días	mié 12/09/18	lun 17/09/18
1.1.3.4	Requisición de Bombas Centrifugas	5 días	mar 21/08/18	dom 26/08/18
1.1.3.5	Especificación de Bombas Centrifugas	5 días	dom 26/08/18	vie 31/08/18
1.1.3.6	Tab. Técnica y Económica de Bombas Centrifugas	5 días	vie 14/09/18	mié 19/09/18
1.1.3.7	Requisición Bombas de Serv. Ácido	10 días	vie 24/08/18	lun 03/09/18
1.1.3.8	Especif. Bombas de Serv. Ácido	8 días	lun 03/09/18	mar 11/09/18
1.1.3.9	Tab. Técnica y Económica de Bombas de Serv. Ácido	5 días	mar 25/09/18	dom 30/09/18
1.1.3.10	Requisición de Bombas Dosificadoras	5 días	sáb 01/09/18	jue 06/09/18
1.1.3.11	Especificación de Bombas Dosificadoras	8 días	jue 06/09/18	vie 14/09/18
1.1.3.12	Tab. Téc. Y Económica De Bombas Dosific.	5 días	mié 26/09/18	lun 01/10/18
1.1.3.13	Requisición de Aire Acondicionado	10 días	mié 26/09/18	sáb 06/10/18
1.1.3.14	Especif. Aire Acondicionado	15 días	sáb 06/10/18	dom 21/10/18
1.1.3.15	Tab. Técnica y Económica de Aire Acondicionado	5 días	vie 02/11/18	mié 07/11/18
1.1.3.16	Arreglo de Equipo Mecánico	10 días	dom 30/09/18	mié 10/10/18
1.1.4	Ingeniería de Control	110 días	jue 06/09/18	mar 25/12/18
1.1.4.1	Especif. Sist. Control Distribuido SCD	10 días	jue 06/09/18	dom 16/09/18
1.1.4.2	Resumen de Entradas y Salidas de SCD	15 días	dom 16/09/18	lun 01/10/18
1.1.4.3	Requisición de SCD	10 días	dom 16/09/18	mié 26/09/18
1.1.4.4	Especificación SCD	5 días	mié 26/09/18	lun 01/10/18
1.1.4.5	Tab. Téc y econó. Del SCD	5 días	jue 29/11/18	mar 04/12/18
1.1.4.6	Base de datos SCD y Gráficos dinámicos SCD	20 días	lun 01/10/18	dom 21/10/18
1.1.4.7	Dib. De Distrib. De Energía de SCD	5 días	dom 21/10/18	vie 26/10/18
1.1.4.8	Dib. Diagramas de Control Eléc. SCD	5 días	vie 26/10/18	mié 31/10/18
1.1.4.9	Detalles de Instalación de SCD	10 días	mié 31/10/18	sáb 10/11/18
1.1.4.10	Panel de Control de SCD	10 días	sáb 10/11/18	mar 20/11/18
1.1.4.11	Dib. Control de Circuitos Cerr. SCD	5 días	mar 20/11/18	dom 25/11/18
1.1.4.12	Índice de instrumentos	10 días	jue 06/09/18	dom 16/09/18
1.1.4.13	Hojas de Datos de instrumentos	10 días	dom 16/09/18	mié 26/09/18
1.1.4.14	Planos de Instrumentos	20 días	mié 26/09/18	mar 16/10/18
1.1.4.15	"Loops" y Alambrado	10 días	mar 16/10/18	vie 26/10/18
1.1.4.16	Panel de Control	10 días	vie 30/11/18	lun 10/12/18
1.1.4.17	Dibujos de Detalle de Instalación	10 días	vie 26/10/18	lun 05/11/18
1.1.4.18	Sistema de Alarma y Enlace	15 días	lun 10/12/18	mar 25/12/18
1.1.4.19	Requisición de Instrumentos	10 días	sáb 13/10/18	mar 23/10/18
1.1.4.20	Especificación de instrumentos	5 días	mar 23/10/18	dom 28/10/18
1.1.4.21	Tabulación Técnica y económica de Instrumentos	5 días	dom 11/11/18	vie 16/11/18

Ilustración D.4. Información del Proyecto Planta de Alquiler (tiempo y costo).xls (Pestaña Línea base, continuación)

1.1.4.22	Requisición de Materiales de Instrumentos	5 días	dom 28/10/18	vie 02/11/18
1.1.4.23	Especificación de materiales de instrumentos	5 días	vie 02/11/18	mié 07/11/18
1.1.4.24	Tab. Téc. Y económica De Materiales de Instrumentos	5 días	mié 19/12/18	lun 24/12/18
1.1.5	Diseño Térmico- Mecánico de Cambiadores de Calor	107 días	dom 02/09/18	mar 18/12/18
1.1.5.1	Requisición de Torre de Enfriamiento	5 días	dom 02/09/18	vie 07/09/18
1.1.5.2	Especificación de Torre de Enfriamiento	5 días	vie 07/09/18	mié 12/09/18
1.1.5.3	Tab. Téc. Y Económica De Torre de Enfriamiento	5 días	jue 22/11/18	mar 27/11/18
1.1.5.4	Requisición de Intercambiadores de Calor	5 días	dom 02/09/18	vie 07/09/18
1.1.5.5	Especificación de Intercambiadores de Calor	5 días	vie 07/09/18	mié 12/09/18
1.1.5.6	Tab. Téc. Y Económica De Intercambiadores de Calor	5 días	lun 19/11/18	sáb 24/11/18
1.1.5.7	Requisición de Rehervidor/Condensador	5 días	dom 02/09/18	vie 07/09/18
1.1.5.8	Especificación de Rehervidor/Condensador	2 días	vie 07/09/18	dom 09/09/18
1.1.5.9	Tab. Téc. Y Económica De Rehervidor/Condensador	6 días	mié 12/12/18	mar 18/12/18
1.1.6	Diseño Térmico y Mecánico de Hornos	74 días	mié 05/09/18	dom 18/11/18
1.1.6.1	Requisición de Calentadores	5 días	mié 05/09/18	lun 10/09/18
1.1.6.2	Especificación de Calentadores	2 días	lun 10/09/18	mié 12/09/18
1.1.6.3	Tabulación Técnica y Económica de Calentadores	5 días	mar 13/11/18	dom 18/11/18
1.1.7	Ingeniería de Recipientes	156 días	mié 05/09/18	vie 08/02/19
1.1.7.1	Requisición de Torres (Fracc. Principal)	5 días	mié 05/09/18	lun 10/09/18
1.1.7.2	Especificación de Torres (Fracc. Principal)	2 días	lun 10/09/18	mié 12/09/18
1.1.7.3	Tab. Téc. Y Económica De Torres (Fracc. Principal)	10 días	mié 02/01/19	sáb 12/01/19
1.1.7.4	Requisición de Torres (Otras)	8 días	sáb 08/09/18	dom 16/09/18
1.1.7.5	Especificación de Torres (Otras)	2 días	dom 16/09/18	mar 18/09/18
1.1.7.6	Tabulación Técnica y Económica de Torres (Otras)	8 días	mié 02/01/19	jue 10/01/19
1.1.7.7	Requisición de Reactor Hydrisom	5 días	sáb 08/09/18	jue 13/09/18
1.1.7.8	Especificación de Reactor Hydrisom	2 días	jue 13/09/18	sáb 15/09/18
1.1.7.9	Tab. Téc. Y Económica De Reactor Hydrisom	5 días	mié 23/01/19	lun 28/01/19
1.1.7.10	Requisición de Recipientes	5 días	mié 12/09/18	lun 17/09/18
1.1.7.11	Especificación de Recipientes	2 días	lun 17/09/18	mié 19/09/18
1.1.7.12	Tabulación Técnica y Económica de Recipientes	5 días	mié 23/01/19	lun 28/01/19
1.1.7.13	Requisición de Tanques Esf. y Atm	5 días	sáb 15/09/18	jue 20/09/18
1.1.7.14	Especificación de Tanques Esf. Y Atm	2 días	jue 20/09/18	sáb 22/09/18
1.1.7.15	Tab. Téc. Y Económica De Tanques Esf. y Atm	5 días	sáb 19/01/19	jue 24/01/19
1.1.7.16	Requisición de Aisantes y Pintura	5 días	mié 19/09/18	lun 24/09/18
1.1.7.17	Especificación de Aislantes y Pintura	2 días	lun 24/09/18	mié 26/09/18
1.1.7.18	Tab. Técnica y económica de aislantes y pinturas	2 días	mié 06/02/19	vie 08/02/19
1.1.8	Ingeniería de Tuberías	149 días	jue 06/09/18	sáb 02/02/19
1.1.8.1	Especificaciones de Diseño (Tuberías)	5 días	jue 06/09/18	mar 11/09/18
1.1.8.2	Isométricos	40 días	dom 21/10/18	vie 30/11/18
1.1.8.3	Estudio de Tubería	20 días	vie 30/11/18	jue 20/12/18
1.1.8.4	Tubería Subterráneas	30 días	jue 20/12/18	sáb 19/01/19
1.1.8.5	Conexiones e Interconexiones	40 días	mar 11/09/18	dom 21/10/18
1.1.8.6	Lista de Materiales (Tubería)	20 días	vie 30/11/18	jue 20/12/18
1.1.8.7	Soporte Tub. (Tub. Sobre Soport. Elev)	20 días	vie 30/11/18	jue 20/12/18
1.1.8.8	Dib. Tuberías de Entrada y Salida	20 días	jue 20/12/18	mié 09/01/19
1.1.8.9	Dibujos del Sistema Contra incendios	15 días	mié 16/01/19	jue 31/01/19
1.1.8.10	Modelo 3D	30 días	jue 03/01/19	sáb 02/02/19
1.1.8.11	Requisición de Materiales de Tubería	12 días	jue 20/12/18	mar 01/01/19
1.1.8.12	Especificación de Materiales de Tubería	2 días	mar 01/01/19	jue 03/01/19
1.1.8.13	Tab. Téc. Y Económica De Materiales de Tubería	5 días	vie 11/01/19	mié 16/01/19
1.1.9	Análisis de Esfuerzos	50 días	vie 30/11/18	sáb 19/01/19
1.1.9.1	Análisis de Esfuerzos y Flex. Tub.	20 días	vie 30/11/18	jue 20/12/18
1.1.9.2	Soportes y Guías Tub. En Recipientes	15 días	jue 20/12/18	vie 04/01/19

Ilustración D.5. Información del Proyecto Planta de Alquiler (tiempo y costo).xls (Pestaña Línea base, continuación)

1.1.9.3	Soportes y Guías para Tubería	15 días	jue 20/12/18	vie 04/01/19
1.1.9.4	Estruc. Para Soportes en Isométricos	20 días	jue 20/12/18	mié 09/01/19
1.1.9.5	Soporte Especiales para Tubería	15 días	vie 04/01/19	sáb 19/01/19
1.1.9.6	Loops de Expansión	10 días	vie 04/01/19	lun 14/01/19
1.1.10	Ingeniería Civil Acero	143 días	lun 29/10/18	jue 21/03/19
1.1.10.1	Dibujos de Estructuras de Acero	30 días	vie 30/11/18	dom 30/12/18
1.1.10.2	Estructuras Compresores (Cobertizo)	31 días	lun 29/10/18	jue 29/11/18
1.1.10.3	Lista de Material (Estructural)	15 días	dom 30/12/18	lun 14/01/19
1.1.10.4	Plataf. Para operación de Válvulas de control	15 días	mié 06/03/19	jue 21/03/19
1.1.10.5	Plataformas y Escaleras (Eq. Hor)	10 días	dom 30/12/18	mié 09/01/19
1.1.10.6	Plataformas y Escaleras (Eq. Ver)	15 días	dom 30/12/18	lun 14/01/19
1.1.11	Ingeniería Civil Concreto	218 días	jue 02/08/18	vie 08/03/19
1.1.11.1	Especificación Dis. (Civil y Arquitectura)	5 días	sáb 06/10/18	jue 11/10/18
1.1.11.2	Dibujos de cimentación de equipos	15 días	jue 02/08/18	vie 17/08/18
1.1.11.3	Dibujos cimentación del Rack	20 días	vie 30/11/18	jue 20/12/18
1.1.11.4	"Pool de gasolina"	20 días	vie 30/11/18	jue 20/12/18
1.1.11.5	Dibujos cimentación de Edificios	30 días	sáb 06/10/18	lun 05/11/18
1.1.11.6	Dibujos estructuras concreto (Rack)	30 días	jue 20/12/18	sáb 19/01/19
1.1.11.7	Dibujos Arquitectonicos	30 días	jue 11/10/18	sáb 10/11/18
1.1.11.8	Dibujos estructural Edificios	30 días	lun 05/11/18	mié 05/12/18
1.1.11.9	Lista de Materiales (Concreto)	15 días	sáb 19/01/19	dom 03/02/19
1.1.11.10	Requisición de Materiales de Civiles	21 días	dom 03/02/19	dom 24/02/19
1.1.11.11	Especificación de Materiales Civiles	2 días	dom 24/02/19	mar 26/02/19
1.1.11.12	Tab. Técnica y Económica Materiales de civiles	5 días	dom 03/03/19	vie 08/03/19
1.1.12	Ingeniería Eléctrica	198 días	mar 11/09/18	jue 28/03/19
1.1.12.1	Especificaciones de Diseño (Eléctricas)	5 días	mar 11/09/18	dom 16/09/18
1.1.12.2	Diagrama Unifilar	10 días	mar 11/09/18	vie 21/09/18
1.1.12.3	Distribución de energía	20 días	vie 21/09/18	jue 11/10/18
1.1.12.4	Diagrama de Control Eléctrico	15 días	vie 21/09/18	sáb 06/10/18
1.1.12.5	Arreglo de equipo eléctrico	20 días	sáb 06/10/18	vie 26/10/18
1.1.12.6	Clasificación de áreas de riesgos eléc.	15 días	sáb 06/10/18	dom 21/10/18
1.1.12.7	Dib. Alumbrado, Equipo y Estructura	15 días	jue 11/10/18	vie 26/10/18
1.1.12.8	Sistema de Alumbrado y Tierra	20 días	vie 26/10/18	jue 15/11/18
1.1.12.9	Intercomunicaciones, sistema y voz	30 días	vie 26/10/18	dom 25/11/18
1.1.12.10	Lista de material (eléctrico)	10 días	dom 25/11/18	mié 05/12/18
1.1.12.11	Céd. De conductores de Tub.	5 días	vie 21/09/18	mié 26/09/18
1.1.12.12	Cortes de ductos y cajas de peso	10 días	dom 21/10/18	mié 31/10/18
1.1.12.13	Alumbrado de edificios	10 días	mié 05/12/18	sáb 15/12/18
1.1.12.14	Hoja de datos de la subestación eléctrica	5 días	jue 01/11/18	mar 06/11/18
1.1.12.15	Requisición de la subestación eléctrica	5 días	mar 06/11/18	dom 11/11/18
1.1.12.16	Especificación de la Subestación eléctrica	5 días	dom 11/11/18	vie 16/11/18
1.1.12.17	Tab. Téc. Y económica de la sub. Eléctrica	15 días	vie 01/03/19	sáb 16/03/19
1.1.12.18	Requisición de materiales eléctricos	15 días	mié 05/12/18	jue 20/12/18
1.1.12.19	Especificación de materiales eléctricos	2 días	jue 20/12/18	sáb 22/12/18
1.1.12.20	Tab. Téc. Y eco. De los materiales eléctricos	15 días	mié 13/03/19	jue 28/03/19
1.2	Procura	333 días	sáb 18/08/18	mié 17/07/19
1.2.1	Trámites de Procura	333 días	sáb 18/08/18	mié 17/07/19
1.2.1.1	Pedido de Cotizaciones del Catalizador	2 días	sáb 18/08/18	lun 20/08/18
1.2.1.2	Se Rec. Cotizaciones del Catalizador	5 días	lun 20/08/18	sáb 25/08/18
1.2.1.3	Tabulación com. Del Catalizador	5 días	vie 31/08/18	mié 05/09/18
1.2.1.4	Carta de intento para el Catalizador	3 días	mié 05/09/18	sáb 08/09/18
1.2.1.5	Orden de colocación para el Catalizador	5 días	sáb 08/09/18	jue 13/09/18
1.2.1.6	Manufactura y entrega del Catalizador	66 días	jue 13/09/18	dom 18/11/18

Ilustración D.5. Información del Proyecto Planta de Alquiler (tiempo y costo).xls (Pestaña Línea base, continuación)

1.2.1.7	Pedido de Cotizaciones de Químicos	2 días	sáb 18/08/18	lun 20/08/18
1.2.1.8	Se Rec. De cotizaciones de Químicos	5 días	lun 20/08/18	sáb 25/08/18
1.2.1.9	Tabulación comercial para Químicos	5 días	jue 30/08/18	mar 04/09/18
1.2.1.10	Carta de intento para Químicos	3 días	mar 04/09/18	vie 07/09/18
1.2.1.11	Orden de colocación para Químicos	7 días	vie 07/09/18	vie 14/09/18
1.2.1.12	Manufactura y entrega de químicos	67 días	vie 14/09/18	mar 20/11/18
1.2.1.13	Pedido de Cotizaciones Vál. Desfogue	2 días	lun 01/10/18	mié 03/10/18
1.2.1.14	Se Rec. Cotizaciones de Vál de Desfogue	10 días	mié 03/10/18	sáb 13/10/18
1.2.1.15	Tab. Comercial de Válvulas de Desfogue	5 días	jue 18/10/18	mar 23/10/18
1.2.1.16	Aclara Fab. Vál. Desfogue	5 días	mar 23/10/18	dom 28/10/18
1.2.1.17	Carta de Intento para Vál. Desfogue	5 días	dom 28/10/18	vie 02/11/18
1.2.1.18	Orden de Colocación Vál. Desfogue	5 días	vie 02/11/18	mié 07/11/18
1.2.1.19	Manufactura y Entrega Vál. Desfogue	84 días	mié 07/11/18	mié 30/01/19
1.2.1.20	Se Rec. Dib. Fab. Vál Desfogue	10 días	mié 07/11/18	sáb 17/11/18
1.2.1.21	Pedido de Cotizaciones Compr. Aire	2 días	vie 31/08/18	dom 02/09/18
1.2.1.22	Se Rec. Cotizaciones de Compr. Aire	10 días	dom 02/09/18	mié 12/09/18
1.2.1.23	Preselecc. Cotizaciones Compr. Aire	2 días	lun 17/09/18	mié 19/09/18
1.2.1.24	Tab. Comercial de Compr. Aire	5 días	mié 19/09/18	lun 24/09/18
1.2.1.25	Aclara Fab. Compr. Aire	5 días	lun 24/09/18	sáb 29/09/18
1.2.1.26	Carta de Intento para Compr. Aire	5 días	sáb 29/09/18	jue 04/10/18
1.2.1.27	Orden de Colocación Compr. Aire	5 días	jue 04/10/18	mar 09/10/18
1.2.1.28	Manufactura y Entrega Compr. Aire	100 días	mar 09/10/18	jue 17/01/19
1.2.1.29	Se Rec. Dib. Fab. Compr. Aire	20 días	mar 09/10/18	lun 29/10/18
1.2.1.30	Pedido de Cotizaciones Bombas Centrifugas	2 días	vie 31/08/18	dom 02/09/18
1.2.1.31	Se Rec. Cotizaciones de Bombas Centrifugas	12 días	dom 02/09/18	vie 14/09/18
1.2.1.32	Preselecc. Cotizaciones Bombas Centrifugas	2 días	mié 19/09/18	vie 21/09/18
1.2.1.33	Tab. Comercial de Bombas Centrifugas	5 días	vie 21/09/18	mié 26/09/18
1.2.1.34	Aclara Fab. Bombas Centrifugas	5 días	mié 26/09/18	lun 01/10/18
1.2.1.35	Carta de Intento para Bombas Centrifugas	5 días	lun 01/10/18	sáb 06/10/18
1.2.1.36	Orden de Colocación Bombas Centrifugas	6 días	sáb 06/10/18	vie 12/10/18
1.2.1.37	Manufactura y Entrega Bombas Centrifugas	80 días	vie 12/10/18	lun 31/12/18
1.2.1.38	Se Rec. Dib. Fab. Bombas Centrifugas	20 días	vie 12/10/18	jue 01/11/18
1.2.1.39	Pedido de Cotizaciones Bombas Serv. Ác.	2 días	jue 13/09/18	sáb 15/09/18
1.2.1.40	Se Rec. Cotizaciones de Bombas Serv. Ác.	10 días	sáb 15/09/18	mar 25/09/18
1.2.1.41	Preselecc. Cotizaciones Bombas Serv. Ác.	2 días	dom 30/09/18	mar 02/10/18
1.2.1.42	Tab. Comercial de Bombas Serv. Ác.	5 días	mar 02/10/18	dom 07/10/18
1.2.1.43	Aclara Fab. Bombas Serv. Ác.	5 días	dom 07/10/18	vie 12/10/18
1.2.1.44	Carta de Intento para Bombas Serv. Ác.	5 días	vie 12/10/18	mié 17/10/18
1.2.1.45	Orden de Colocación Bombas Serv. ác.	5 días	mié 17/10/18	lun 22/10/18
1.2.1.46	Manufactura y Entrega Bombas Serv. ác.	80 días	lun 22/10/18	jue 10/01/19
1.2.1.47	Se Rec. Dib. Fab. Bombas Serv. ác.	19 días	lun 22/10/18	sáb 10/11/18
1.2.1.48	Pedido Cot. Bombas Dosificadoras	2 días	vie 14/09/18	dom 16/09/18
1.2.1.49	Se Rec. Cot. Bombas Dosificadoras	10 días	dom 16/09/18	mié 26/09/18
1.2.1.50	Preselección Cot. Bombas Dosif.	2 días	lun 01/10/18	mié 03/10/18
1.2.1.51	Tab. Comer. Bombas Dosificadoras	5 días	mié 03/10/18	lun 08/10/18
1.2.1.52	Aclara Bombas Dosific. Con Vendedor	5 días	lun 08/10/18	sáb 13/10/18
1.2.1.53	Carta de Intento Bombas Dosific.	5 días	sáb 13/10/18	jue 18/10/18
1.2.1.54	Orden de Colocación de Bombas Dosific.	5 días	jue 18/10/18	mar 23/10/18
1.2.1.55	Manufactura y Entrega Bombas Dosific.	80 días	mar 23/10/18	vie 11/01/19
1.2.1.56	Rec. Dib. Fab. Bombas Dosific.	15 días	mar 23/10/18	mié 07/11/18
1.2.1.57	Ped. Cot. Aire Acondicionado	2 días	dom 21/10/18	mar 23/10/18
1.2.1.58	Re. Cot. De Aire Acondicionado	10 días	mar 23/10/18	vie 02/11/18
1.2.1.59	Preselección Cot. Aire Acondicionado	3 días	mié 07/11/18	sáb 10/11/18

Ilustración D.6. Información del Proyecto Planta de Alquiler (tiempo y costo).xls (Pestaña Línea base, continuación)

1.2.1.60	Tab. Comercial Aire Acondicionado	5 días	sáb 10/11/18	jue 15/11/18
1.2.1.61	Aclara Fab. Aire Acondicionado	5 días	jue 15/11/18	mar 20/11/18
1.2.1.62	Carta de Intento Aire Acondicionado	5 días	mar 20/11/18	dom 25/11/18
1.2.1.63	Orden de Colocación de Aire Acondicionado	5 días	dom 25/11/18	vie 30/11/18
1.2.1.64	Manufactura y Entrega de Aire Acondicionado	100 días	vie 30/11/18	dom 10/03/19
1.2.1.65	Pedido de Cot. Paquetes de Proceso	2 días	vie 14/09/18	dom 16/09/18
1.2.1.66	Se Rec. Cot. Paquetes de Proceso	10 días	dom 16/09/18	mié 26/09/18
1.2.1.67	Preselecc. Cot. De Paquetes de Proceso	2 días	mié 26/09/18	vie 28/09/18
1.2.1.68	Tab. Comercial de Paquetes de Proceso	5 días	vie 28/09/18	mié 03/10/18
1.2.1.69	Aclara Paquetes de Proceso con Fab.	5 días	mié 03/10/18	lun 08/10/18
1.2.1.70	Carta de Intento Paquetes de Proceso	5 días	lun 08/10/18	sáb 13/10/18
1.2.1.71	Orden Colocación de Paquetes de Proceso	5 días	sáb 13/10/18	jue 18/10/18
1.2.1.72	Manufactura y Entrega de Paquetes de Proceso	100 días	jue 18/10/18	sáb 26/01/19
1.2.1.73	Rec. Dib. Fab. De Paq. Proceso	14 días	jue 18/10/18	jue 01/11/18
1.2.1.74	Pedido de Cotizaciones de SCD	2 días	sáb 17/11/18	lun 19/11/18
1.2.1.75	Se Rec. De Cotizaciones de SCD	10 días	lun 19/11/18	jue 29/11/18
1.2.1.76	Preselección de Cotizaciones de SCD	2 días	jue 29/11/18	sáb 01/12/18
1.2.1.77	Tabulación Comercial del SCD	5 días	sáb 01/12/18	jue 06/12/18
1.2.1.78	Aclaciones con Fab. Del SCD	5 días	jue 06/12/18	mar 11/12/18
1.2.1.79	Carta de Intento de SCD	5 días	mar 11/12/18	dom 16/12/18
1.2.1.80	Orden de Colocación del SCD	5 días	dom 16/12/18	vie 21/12/18
1.2.1.81	Manufactura y Entrega del SCD	84 días	vie 21/12/18	vie 15/03/19
1.2.1.82	Pedido de Cot. De Instrumentos	2 días	lun 29/10/18	mié 31/10/18
1.2.1.83	Se Rec. Cotizaciones de Instrumentos	11 días	mié 31/10/18	dom 11/11/18
1.2.1.84	Preselecc. Cot. De Instrumentos	2 días	dom 11/11/18	mar 13/11/18
1.2.1.85	Tab. Comercial de Instrumentos	5 días	mar 13/11/18	dom 18/11/18
1.2.1.86	Aclara Instrumentos con Fab.	5 días	dom 18/11/18	vie 23/11/18
1.2.1.87	Carta de Intento de Instrumentos	7 días	vie 23/11/18	vie 30/11/18
1.2.1.88	Se Rec. Dib. Instrumentos de Fab.	21 días	vie 30/11/18	vie 21/12/18
1.2.1.89	Manufactura y Entrega de Instrumentos	80 días	vie 21/12/18	lun 11/03/19
1.2.1.90	Pedido de Cot. Mat. Instrumentos	2 días	mié 12/12/18	vie 14/12/18
1.2.1.91	Se Rec. Cot. De Mat. De Instrumentos	5 días	vie 14/12/18	mié 19/12/18
1.2.1.92	Tab. Comer. Mat. De Instrumentos	5 días	lun 24/12/18	sáb 29/12/18
1.2.1.93	Carta de Intento at. De Instrumentos	3 días	sáb 29/12/18	mar 01/01/19
1.2.1.94	Orden Colocación Mat. Instrumentos	5 días	mar 01/01/19	dom 06/01/19
1.2.1.95	Manufactura y Entrega Mat. Instrumentos	52 días	dom 06/01/19	mié 27/02/19
1.2.1.96	Pedido Cot. De Torre de Enfria.	2 días	sáb 10/11/18	lun 12/11/18
1.2.1.97	Se Rec. Cot. De T. de Enfria.	10 días	lun 12/11/18	jue 22/11/18
1.2.1.98	Preselecc. Cot. De T. Enfria.	2 días	mar 27/11/18	jue 29/11/18
1.2.1.99	Tab. Comer. Torre de Enfriamiento	5 días	jue 29/11/18	mar 04/12/18
1.2.1.100	Aclara de T. Enfria. Con Fab.	5 días	mar 04/12/18	dom 09/12/18
1.2.1.101	Carta de intento de T. Enfriamiento	5 días	dom 09/12/18	vie 14/12/18
1.2.1.102	Orden de colocación de T. Enfriamiento	5 días	vie 14/12/18	mié 19/12/18
1.2.1.103	Manufactura y entrega T. Enfriamiento	80 días	mié 19/12/18	sáb 09/03/19
1.2.1.104	Rec. Dib. Con Fab. De Torre de Enfriamiento	20 días	mié 19/12/18	mar 08/01/19
1.2.1.105	Pedido Cot. Intercambiadores de calor	2 días	mié 07/11/18	vie 09/11/18
1.2.1.106	Se. Rec. Cotizaciones de intercambiadores de calor	10 días	vie 09/11/18	lun 19/11/18
1.2.1.107	Preselección de intercambiadores de calor	2 días	sáb 24/11/18	lun 26/11/18
1.2.1.108	Tab. Com. Intercam. Calor	5 días	lun 26/11/18	sáb 01/12/18
1.2.1.109	Aclara Intercam. Calor con Fab.	5 días	sáb 01/12/18	jue 06/12/18
1.2.1.110	Carta de Intento Intercam. Calor	5 días	jue 06/12/18	mar 11/12/18
1.2.1.111	Orden de Colocación Intercam. Calor	5 días	mar 11/12/18	dom 16/12/18

Ilustración D.7. Información del Proyecto Planta de Alquiler (tiempo y costo).xls (Pestaña Línea base, continuación)

1.2.1.112	Manufactura y Entrega Intercam. Calor	80 días	dom 16/12/18	mié 06/03/19
1.2.1.113	Rec. Dib. Fab. Intercam. Calor	18 días	dom 16/12/18	jue 03/01/19
1.2.1.114	Pedido Cot Reher./Conden.	2 días	vie 30/11/18	dom 02/12/18
1.2.1.115	Se rec. Cot. De Reher./Conden.	10 días	dom 02/12/18	mié 12/12/18
1.2.1.116	Preselecc. Cot. De Reher./Conden.	2 días	mar 18/12/18	jue 20/12/18
1.2.1.117	Tab. Com. Reher./Conden.	6 días	jue 20/12/18	mié 26/12/18
1.2.1.118	Aclara Reher./Conden. con Fab.	6 días	mié 26/12/18	mar 01/01/19
1.2.1.119	Carta de Intento Reher./Conden.	5 días	mar 01/01/19	dom 06/01/19
1.2.1.120	Orden de Colocación Reher./Conden.	5 días	dom 06/01/19	vie 11/01/19
1.2.1.121	Manufactura y Entrega Reher./Conden.	80 días	vie 11/01/19	lun 01/04/19
1.2.1.122	Rec. Dib. Fab. Reher./Conden.	15 días	vie 11/01/19	sáb 26/01/19
1.2.1.123	Pedido Cot Calentadores	2 días	jue 01/11/18	sáb 03/11/18
1.2.1.124	Se rec. Cot. De Calentadores	10 días	sáb 03/11/18	mar 13/11/18
1.2.1.125	Preselecc. Cot. De Calentadores	2 días	dom 18/11/18	mar 20/11/18
1.2.1.126	Tab. Com. Calentadores	5 días	mar 20/11/18	dom 25/11/18
1.2.1.127	Aclara Calentadores. con Fab.	5 días	dom 25/11/18	vie 30/11/18
1.2.1.128	Carta de Intento Calentadores	5 días	vie 30/11/18	mié 05/12/18
1.2.1.129	Orden de Colocación Calentadores	5 días	mié 05/12/18	lun 10/12/18
1.2.1.130	Manufactura y Entrega Calentadores	100 días	lun 10/12/18	mié 20/03/19
1.2.1.131	Rec. Dib. Fab. Calentadores	25 días	lun 10/12/18	vie 04/01/19
1.2.1.132	Pedido Cot T. (Fracc. Principal)	2 días	vie 21/12/18	dom 23/12/18
1.2.1.133	Se rec. Cot. De T. (Fracc. Principal)	10 días	dom 23/12/18	mié 02/01/19
1.2.1.134	Preselecc. Cot. De T. (Fracc. Principal)	2 días	sáb 12/01/19	lun 14/01/19
1.2.1.135	Tab. Com. T. (Fracc. Principal)	5 días	lun 14/01/19	sáb 19/01/19
1.2.1.136	Aclara T. (Fracc. Principal) con Fab.	5 días	sáb 19/01/19	jue 24/01/19
1.2.1.137	Carta de Intento T. (Fracc. Principal)	5 días	jue 24/01/19	mar 29/01/19
1.2.1.138	Orden de Colocación T. (Fracc. Principal)	5 días	mar 29/01/19	dom 03/02/19
1.2.1.139	Manufactura y Entrega T. (Fracc. Principal)	100 días	dom 03/02/19	mar 14/05/19
1.2.1.140	Rec. Dib. Fab. T. (Fracc. Principal)	20 días	dom 03/02/19	sáb 23/02/19
1.2.1.141	Pedido Cot Torres(Otras)	2 días	vie 21/12/18	dom 23/12/18
1.2.1.142	Se rec. Cot. De Torres(Otras)	10 días	dom 23/12/18	mié 02/01/19
1.2.1.143	Preselecc. Cot. De Torres(Otras)	2 días	jue 10/01/19	sáb 12/01/19
1.2.1.144	Tab. Com. Torres(Otras)	5 días	sáb 12/01/19	jue 17/01/19
1.2.1.145	Aclara Fab. Torres(Otras)	5 días	jue 17/01/19	mar 22/01/19
1.2.1.146	Carta de Intento Torres(Otras)	5 días	mar 22/01/19	dom 27/01/19
1.2.1.147	Orden de Colocación Torres(Otras)	5 días	dom 27/01/19	vie 01/02/19
1.2.1.148	Manufactura y Entrega Torres(Otras)	100 días	vie 01/02/19	dom 12/05/19
1.2.1.149	Rec. Dib. Fab. Torres(Otras)	15 días	vie 01/02/19	sáb 16/02/19
1.2.1.150	Pedido Cot Reactor Hydrisom	2 días	dom 06/01/19	mar 08/01/19
1.2.1.151	Se rec. Cot. De Reactor Hydrisom	15 días	mar 08/01/19	mié 23/01/19
1.2.1.152	Preselecc. Cot. De Reactor Hydrisom	2 días	lun 28/01/19	mié 30/01/19
1.2.1.153	Tab. Com. Reactor Hydrisom	5 días	mié 30/01/19	lun 04/02/19
1.2.1.154	Aclara Fab. Reactor Hydrisom	5 días	lun 04/02/19	sáb 09/02/19
1.2.1.155	Carta de Intento Reactor Hydrisom	5 días	sáb 09/02/19	jue 14/02/19
1.2.1.156	Orden de Colocación Reactor Hydrisom	5 días	jue 14/02/19	mar 19/02/19
1.2.1.157	Manufactura y Entrega Reactor Hydrisom	120 días	mar 19/02/19	mié 19/06/19
1.2.1.158	Rec Dib Fab Reactor Hydrisom	15 días	mar 19/02/19	mié 06/03/19
1.2.1.159	Pedido Cot Recipientes	2 días	mar 08/01/19	jue 10/01/19
1.2.1.160	Se rec. Cot. De Recipientes	10 días	jue 10/01/19	dom 20/01/19
1.2.1.161	Preselecc. Cot. De Recipientes	2 días	lun 28/01/19	mié 30/01/19
1.2.1.162	Tab. Com. Recipientes	5 días	mié 30/01/19	lun 04/02/19
1.2.1.163	Aclara Fab. Recipientes	5 días	lun 04/02/19	sáb 09/02/19
1.2.1.164	Carta de Intento Recipientes	5 días	sáb 09/02/19	jue 14/02/19

Ilustración D.8. Información del Proyecto Planta de Alquiler (tiempo y costo).xls (Pestaña Línea base, continuación)

1.2.1.165	Orden de Colocación Recipientes	5 días	jue 14/02/19	mar 19/02/19
1.2.1.166	Manufactura y Entrega Recipientes	80 días	mar 19/02/19	vie 10/05/19
1.2.1.167	Rec. Dib. Fab. Recipientes	15 días	mar 19/02/19	mié 06/03/19
1.2.1.168	Pedido Cot Tanque Esf. Y Atm	2 días	jue 03/01/19	sáb 05/01/19
1.2.1.169	Se rec. Cot. De Tanque Esf. Y Atm	10 días	sáb 05/01/19	mar 15/01/19
1.2.1.170	Preselecc. Cot. De Tanque Esf. Y Atm	2 días	jue 24/01/19	sáb 26/01/19
1.2.1.171	Tab. Com. Tanque Esf. Y Atm	5 días	sáb 26/01/19	jue 31/01/19
1.2.1.172	Aclara Fab. Tanque Esf. Y Atm	5 días	jue 31/01/19	mar 05/02/19
1.2.1.173	Carta de Intento Tanque Esf. Y Atm	5 días	mar 05/02/19	dom 10/02/19
1.2.1.174	Orden de Colocación Tanque Esf. Y Atm	5 días	dom 10/02/19	vie 15/02/19
1.2.1.175	Manufactura y Entrega Tanque Esf. Y Atm	100 días	vie 15/02/19	dom 26/05/19
1.2.1.176	Rec. Dib. Fab. Tanque Esf. Y Atm	15 días	vie 15/02/19	sáb 02/03/19
1.2.1.177	Pedido Cot Aislantes y Pintura	2 días	sáb 26/01/19	lun 28/01/19
1.2.1.178	Se rec. Cot. De Aislantes y Pintura	5 días	lun 28/01/19	sáb 02/02/19
1.2.1.179	Tab. Com. Aislantes y Pintura	5 días	vie 08/02/19	mié 13/02/19
1.2.1.180	Carta de Intento Aislantes y Pintura	5 días	mié 13/02/19	lun 18/02/19
1.2.1.181	Orden de Colocación Aislantes y Pintura	5 días	lun 18/02/19	sáb 23/02/19
1.2.1.182	Manufactura y Entrega Aislantes y Pintura	63 días	sáb 23/02/19	sáb 27/04/19
1.2.1.183	Pedido Cot Tubería	2 días	vie 04/01/19	dom 06/01/19
1.2.1.184	Se rec. Cot. De Tubería	5 días	dom 06/01/19	vie 11/01/19
1.2.1.185	Tab. Com. Tubería	5 días	mié 16/01/19	lun 21/01/19
1.2.1.186	Carta de Intento Tubería	3 días	lun 21/01/19	jue 24/01/19
1.2.1.187	Orden de Colocación Tubería	5 días	jue 24/01/19	mar 29/01/19
1.2.1.188	Manufactura y Entrega Tubería	63 días	mar 29/01/19	mar 02/04/19
1.2.1.189	Pedido Cot de Mat. Civiles	2 días	dom 24/02/19	mar 26/02/19
1.2.1.190	Se rec. Cot. De Mat. Civiles	5 días	mar 26/02/19	dom 03/03/19
1.2.1.191	Tab. Com. Mat. Civiles	5 días	vie 08/03/19	mié 13/03/19
1.2.1.192	Carta de Intento Mat. Civiles	4 días	mié 13/03/19	dom 17/03/19
1.2.1.193	Orden de Colocación Mat. Civiles	5 días	dom 17/03/19	vie 22/03/19
1.2.1.194	Manufactura y Entrega Mat. Civiles	42 días	vie 22/03/19	vie 03/05/19
1.2.1.195	Pedido Cot Sub. Eléctrica	2 días	sáb 16/02/19	lun 18/02/19
1.2.1.196	Se rec. Cot. De Sub. Eléctrica	11 días	lun 18/02/19	vie 01/03/19
1.2.1.197	Preselecc. Cot. De Sub. Eléctrica	2 días	sáb 16/03/19	lun 18/03/19
1.2.1.198	Tab. Com. Sub. Eléctrica	5 días	lun 18/03/19	sáb 23/03/19
1.2.1.199	Aclara Fab. Sub. Eléctrica	5 días	sáb 23/03/19	jue 28/03/19
1.2.1.200	Carta de Intento Sub. Eléctrica	6 días	jue 28/03/19	mié 03/04/19
1.2.1.201	Orden de Colocación Sub. Eléctrica	5 días	mié 03/04/19	lun 08/04/19
1.2.1.202	Manufactura y Entrega Sub. Eléctrica	100 días	lun 08/04/19	mié 17/07/19
1.2.1.203	Rec. Dib. Fab. Sub Eléctrica	15 días	lun 08/04/19	mar 23/04/19
1.2.1.204	Pedido Cot Mat. Eléctrico	2 días	mié 06/03/19	vie 08/03/19
1.2.1.205	Se rec. Cot. De Mat. Eléctrico	5 días	vie 08/03/19	mié 13/03/19
1.2.1.206	Tab. Com. Mat. Eléctrico	5 días	jue 28/03/19	mar 02/04/19
1.2.1.207	Carta de Intento Mat. Eléctrico	3 días	mar 02/04/19	vie 05/04/19
1.2.1.208	Orden de Colocación Mat. Eléctrico	5 días	vie 05/04/19	mié 10/04/19
1.2.1.209	Manufactura y Entrega Mat. Eléctrico	42 días	mié 10/04/19	mié 22/05/19
1.2.1.210	Pedido Cot Válvula de Control	2 días	sáb 02/03/19	lun 04/03/19
1.2.1.211	Se rec. Cot. De Válvula de Control	10 días	lun 04/03/19	jue 14/03/19
1.2.1.212	Preselecc. Cot. De Válvula de Control	2 días	mar 19/03/19	jue 21/03/19
1.2.1.213	Tab. Com. Válvula de Control	5 días	jue 21/03/19	mar 26/03/19
1.2.1.214	Aclara Fab. Válvula de Control	5 días	mar 26/03/19	dom 31/03/19
1.2.1.215	Carta de Intento Válvula de Control	5 días	dom 31/03/19	vie 05/04/19
1.2.1.216	Orden de Colocación Válvula de Control	5 días	vie 05/04/19	mié 10/04/19
1.2.1.217	Manufactura y Entrega Válvula de Control	84 días	mié 10/04/19	mié 03/07/19
1.2.1.218	Rec. Dib. Fab. Válvula de Control	10 días	mié 10/04/19	sáb 20/04/19

Ilustración D.9. Información del Proyecto Planta de Alquiler (tiempo y costo).xls (Pestaña Línea base, continuación)

1.3	Construcción	505 días	mié 27/02/19	jue 16/07/20
1.3.1	Obra Civil	431 días	vie 03/05/19	mar 07/07/20
1.3.1.1	Preparación del Terreno	52 días	vie 03/05/19	lun 24/06/19
1.3.1.2	Drenajes	52 días	mar 04/06/19	vie 26/07/19
1.3.1.3	Cimiento de Estruc. De Acero(Rack)	42 días	vie 03/05/19	vie 14/06/19
1.3.1.4	Cimiento de Equipos	62 días	vie 03/05/19	jue 04/07/19
1.3.1.5	Cimientos Estruc. Acero de Edif.	62 días	vie 03/05/19	jue 04/07/19
1.3.1.6	Montaje de Estruc. De Acero (Edificios)	84 días	jue 04/07/19	jue 26/09/19
1.3.1.7	Montaje de Estruc. De concreto (Rack)	63 días	vie 14/06/19	vie 16/08/19
1.3.1.8	Edificios (concreto)	84 días	mar 14/04/20	mar 07/07/20
1.3.2	Obra Tuberías	471 días	mar 02/04/19	jue 16/07/20
1.3.2.1	Prefabricación de Tubería	147 días	mar 02/04/19	mar 27/08/19
1.3.2.2	Montaje de Tub. De Acero al Carbón	147 días	mar 27/08/19	mar 21/01/20
1.3.2.3	Montaje de Tub. De Acero de Aleación	93 días	mar 21/01/20	jue 23/04/20
1.3.2.4	Prueba de Montaje de Tubería	84 días	jue 23/04/20	jue 16/07/20
1.3.3	Obra Mecánica	148 días	mar 21/01/20	mié 17/06/20
1.3.3.1	Instalación del Reactor Hydrisom	84 días	mar 21/01/20	mar 14/04/20
1.3.3.2	Instalación de Recipientes	136 días	mar 21/01/20	vie 05/06/20
1.3.3.3	Instalación de Torres	148 días	mar 21/01/20	mié 17/06/20
1.3.3.4	Instalación de Tanques	126 días	mar 21/01/20	mar 26/05/20
1.3.3.5	Instalaciones de Intercambiadores de Calor	84 días	mar 21/01/20	mar 14/04/20
1.3.3.6	Instalación de Bombas	84 días	mar 21/01/20	mar 14/04/20
1.3.3.7	Instalación de Paquetes	84 días	mar 21/01/20	mar 14/04/20
1.3.3.8	Instalación de Calentadores	126 días	mar 21/01/20	mar 26/05/20
1.3.4	Obra Eléctrica	336 días	mié 17/07/19	mié 17/06/20
1.3.4.1	Obra de Subestación Eléctrica	63 días	mié 17/07/19	mié 18/09/19
1.3.4.2	Obra Distribución de Energía Eléctrica	105 días	mié 18/09/19	mié 01/01/20
1.3.4.3	Obra Eléc. De Sist. Alumbrado y Tierra	105 días	mié 01/01/20	mié 15/04/20
1.3.4.4	Obra de Prueba Eléctrica	63 días	mié 15/04/20	mié 17/06/20
1.3.5	Obra de Instrumentación	251 días	mié 27/02/19	mar 05/11/19
1.3.5.1	Instalación de Instrumentos	105 días	mié 27/02/19	mié 12/06/19
1.3.5.2	Conexión de Instrumentos	84 días	mié 12/06/19	mié 04/09/19
1.3.5.3	Instalación Instrumentos S.C.D	63 días	mié 27/02/19	mié 01/05/19
1.3.5.4	Prueba de Instrumentación	62 días	mié 04/09/19	mar 05/11/19
1.3.6	Pintura y Aislamiento	62 días	sáb 27/04/19	vie 28/06/19
1.3.6.1	Pintura	62 días	sáb 27/04/19	vie 28/06/19
1.3.6.2	Aislantes	62 días	sáb 27/04/19	vie 28/06/19
1.4	Pruebas y Arranque	105 días	jue 16/07/20	jue 29/10/20
1.4.1	Pruebas en frio	42 días	jue 16/07/20	jue 27/08/20
1.4.2	Pruebas en caliente	42 días	jue 27/08/20	jue 08/10/20
1.4.3	Calibración de instrumentos	21 días	jue 08/10/20	jue 29/10/20

Ilustración D.10. Información del Proyecto Planta de Alquiler (tiempo y costo).xls (Pestaña Línea base, continuación)

Ruta crítica del Proyecto de una Planta de Alquiler				
Paquete de trabajo	Actividad crítica	Duración		
		Mínima	Más probable	Máxima
Diseño de procesos	Bases de diseño.	8	10	12
	Criterios de diseño.	4	5	6
	Lista de equipos.	4	5	6
Hoja de datos de equipo mecánico	Hoja de datos de recipientes.	24	30	36
	Hoja de datos de tanques esf. Y atm.			
Ingeniería en sistemas	Plot-Plan APD.	12	15	18
	Plot-Plan APC.	8	10	12
Ingeniería de tuberías	Isométricos.	44	55	66
	Lista de materiales (Tuberías).	16	20	24
	Requisición de materiales de tubería.	10	12	14
	Especificación de materiales de tubería.	1	2	3
	Tab. Téc y Económica de materiales de tubería.	4	5	6
Procura	Pedido cotización tubería.	2	3	4
	Se reciben cotizaciones de tubería (espera).	4	5	6
	Tabla comercial tubería	4	5	6
	Carta de intento tubería.	2	3	4
	Orden de colocación tubería.	4	5	6
	Manufactura y entrega tubería.	60	63	76
	Prefabricación de Tubería	140	147	192
Construcción	Montaje de Tub. De Acero al Carbón	140	147	192
	Montaje de Tub. De Acero de Aleación	89	93	121
	Prueba de Montaje de Tubería	80	84	110
	Pruebas en frío	40	42	48
Pruebas y arranque	Pruebas en caliente	40	42	48
	Calibración de instrumentos	20	21	24
	TOTAL	760	829	1040

Ilustración D.11. Información del Proyecto Planta de Alquiler (tiempo y costo).xls (Pestaña Ruta Crítica)

Proyecto Planta de Alquiler	
Especialidad	Costo US dlls
Ingeniería básica y de Detalle.	\$ 20,084,000
Procura	\$ 192,222,630
Construcción	\$ 61,802,720
Pruebas y puesta en marcha	\$ 1,973,590
COSTO DIRECTO TOTAL	\$ 276,082,940
SOBRECOSTO (Indirectos de oficinas centrales, de campo, utilidad)	\$ 24,847,465
SUBTOTAL DEL PROYECTO	\$ 300,930,405
Reserva de gestión (RGP)	\$ 7,461,441
Reserva de contingencia (RCP)	\$ 39,337,185
Escalación	\$ 196,498,966
TOTAL DE PROYECTO	\$ 544,227,996

Ilustración D.12. Información del Proyecto Planta de Alquiler (tiempo y costo).xls (Pestaña Resumen estimado de costos)

Concepto	Costo [USD]	% Costo total directo	Sobrecosto prorrateado[USD]	Costo directo +prorrateo sobrecosto [USD]
Ingeniería básica y de Detalle.	\$ 20,084,000	7%	\$ 1,807,560	\$ 21,891,560
Procura	\$ 192,222,630	70%	\$ 17,300,037	\$ 209,522,667
Construcción	\$ 61,802,720	22%	\$ 5,562,245	\$ 67,364,965
Pruebas y puesta en marcha	\$ 1,973,590	1%	\$ 177,623	\$ 2,151,213
Costo directo total	\$ 276,082,940	100%	\$ 24,847,465	\$ 300,930,405
SOBRECOSTO (Indirectos de oficinas centrales, de campo, utilidades)				
\$	24,847,465			

Fase del proyecto	Monto [USD]	Monto escalado [USD]	% Escalamiento
Ingeniería Básica y de Detalle	\$ 21,891,560	\$ 34,288,260	57%
Procura	\$ 209,522,667	\$ 352,866,844	68%
Construcción	\$ 67,364,965	\$ 106,814,916	59%
Pruebas y puesta en marcha	\$ 2,151,213	\$ 3,459,351	61%
Total	\$ 300,930,405	\$ 497,429,370	65%

Ilustración D.13. Información del Proyecto Planta de Alquileración (tiempo y costo).xls (Pestaña cálculos totales)

Inicio del proyecto		paris, 2 de agosto de 2018																												
Fecha del estimado		paris, 29 de octubre de 2018																												
		ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	ago-18	
Fase del proyecto	Detalles (Neces)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	
Ingeniería Básica y de Detalle	5	\$ 479,012	\$ 1,226,240	\$ 1,807,688	\$ 4,720,141	\$ 8,954,733	\$ 13,946,952	\$ 18,939,171	\$ 23,931,390	\$ 28,923,609	\$ 33,915,828	\$ 38,908,047	\$ 43,899,266	\$ 48,891,485	\$ 53,883,704	\$ 58,875,923	\$ 63,868,142	\$ 68,860,361	\$ 73,852,580	\$ 78,844,799	\$ 83,837,018	\$ 88,829,237	\$ 93,821,456	\$ 98,813,675	\$ 103,805,894	\$ 108,798,113	\$ 113,790,332	\$ 118,782,551	\$ 123,774,770	\$ 128,766,989
Procura	12	\$ 2,386,138	\$ 7,027,413	\$ 11,668,688	\$ 16,309,963	\$ 20,951,238	\$ 25,592,513	\$ 30,233,788	\$ 34,875,063	\$ 39,516,338	\$ 44,157,613	\$ 48,798,888	\$ 53,440,163	\$ 58,081,438	\$ 62,722,713	\$ 67,363,988	\$ 72,005,263	\$ 76,646,538	\$ 81,287,813	\$ 85,929,088	\$ 90,570,363	\$ 95,211,638	\$ 99,852,913	\$ 104,494,188	\$ 109,135,463	\$ 113,776,738	\$ 118,418,013	\$ 123,059,288	\$ 127,700,563	\$ 132,341,838
Construcción	17																													
Pruebas y puesta en marcha	5																													
Bajo de electric		\$ 3,401,148	\$ 8,351,096	\$ 12,301,044	\$ 16,250,992	\$ 20,200,940	\$ 24,150,888	\$ 28,100,836	\$ 32,050,784	\$ 36,000,732	\$ 39,950,680	\$ 43,900,628	\$ 47,850,576	\$ 51,800,524	\$ 55,750,472	\$ 59,700,420	\$ 63,650,368	\$ 67,600,316	\$ 71,550,264	\$ 75,500,212	\$ 79,450,160	\$ 83,400,108	\$ 87,350,056	\$ 91,300,004	\$ 95,250,052	\$ 99,200,000	\$ 103,150,048	\$ 107,100,096	\$ 111,050,144	\$ 115,000,192
Total proyecto		\$ 4,075,297	\$ 16,655,759	\$ 23,771,420	\$ 31,381,096	\$ 39,152,771	\$ 47,024,446	\$ 54,896,121	\$ 62,767,796	\$ 70,639,471	\$ 78,511,146	\$ 86,382,821	\$ 94,254,496	\$ 102,126,171	\$ 110,000,000	\$ 117,871,825	\$ 125,743,650	\$ 133,615,475	\$ 141,487,300	\$ 149,359,125	\$ 157,230,950	\$ 165,102,775	\$ 172,974,600	\$ 180,846,425	\$ 188,718,250	\$ 196,590,075	\$ 204,461,900	\$ 212,333,725	\$ 220,205,550	

Ilustración D.14. Información del Proyecto Planta de Alquileración (tiempo y costo).xls (Pestaña Programa del proyecto)

		Total sin Escalación		Total con Escalación	
		\$ 21,891,560		\$ 34,288,260	
Fecha	Periodo	Erogación Actual	Índice de Escalación	Monto Escalado	
ago-18	1	\$ 308,014	163.3	\$ 479,812	
sep-18	2	\$ 850,049	163.6	\$ 1,326,284	
oct-18	3	\$ 2,443,317	163.8	\$ 3,817,038	
nov-18	4	\$ 4,101,354	164.0	\$ 6,728,141	
dic-18	5	\$ 5,717,419	164.2	\$ 8,954,733	
ene-19	6	\$ 1,429,538	164.4	\$ 6,946,452	
feb-19	7	\$ 2,555,621	164.6	\$ 4,012,844	
mar-19	8	\$ 1,002,415	164.8	\$ 1,475,091	
abr-19	9	\$ 283,934	165.0	\$ 446,964	

Año del estimado	1998
Índice fecha del estimado	104.83
Monto por Escalación	\$12,396,700
Porcentaje de Escalación	57%

Series Title	PPI industry data for Engineering services-Industrial and manufacturing plant and process engineering projects.	
Series ID	PCL5413305413301	
Survey Name	PPI Industry Data	
Measure	Industrial and manufacturing plant and process engineering projects	
Data Type	Engineering services	
Industry	Industrial and manufacturing plant and process engineering projects	
Item	Industrial and manufacturing plant and process engineering projects	
1998	NA	104.83
2017	Diciembre	159.2
	Enero	159.4
2018	Febrero	159.6
	Julio	162.9
2019	Agosto	163.3
	Noviembre	164.2
	Enero	164.4

Periodo	Mes-Año	Índice
24	dic-17	161.7
25	ene-18	161.9
26	feb-18	162.1
27	mar-18	162.3
28	abr-18	162.5
29	may-18	162.7
30	jun-18	162.9
31	jul-18	162.9
32	ago-18	163.3
33	sep-18	163.6
34	oct-18	163.8
35	nov-18	164.0
36	dic-18	164.2
37	ene-19	164.4
38	feb-19	164.6
39	mar-19	164.8
40	abr-19	165.0

Ilustración D.15. Información del Proyecto Planta de Alquileración (tiempo y costo).xls (Pestaña Escalación Ingeniería)

					Año del estimado	1998				
					Índice fecha del estimado	160.2				
					Monto por Escalación	\$ 143.344,177				
					Porcentaje de Escalación	68%				
					Total sin Escalación		Total con Escalación			
					\$ 209.522,667		\$ 352,866,844			
Fecha	Periodo	Proyección Actual	Índice de Escalación	Monto Escalado						
ago-18	1	\$ 1,778,847	268.4	\$ 2,980,336						
sep-18	2	\$ 4,190,453	268.7	\$ 7,027,411						
oct-18	3	\$ 10,218,420	268.9	\$ 17,152,429						
nov-18	4	\$ 17,995,902	269.2	\$ 30,245,879						
dic-18	5	\$ 28,989,556	269.4	\$ 48,792,344						
ene-19	6	\$ 39,608,165	269.7	\$ 66,672,908						
feb-19	7	\$ 40,928,158	269.9	\$ 68,958,887						
mar-19	8	\$ 29,907,265	270.2	\$ 50,417,128						
abr-19	9	\$ 18,800,469	270.4	\$ 31,735,661						
may-19	10	\$ 10,792,513	270.7	\$ 18,235,021						
jun-19	11	\$ 4,534,071	270.9	\$ 7,667,900						
jul-19	12	\$ 1,778,847	271.2	\$ 3,011,140						

Series Title	PPI industry data for Oil and gas field machinery and equipment	
Series ID	PCU33313233132	
Survey Name	PPI Industry Data	
Measure Data Type	Oil and gas field machinery and equipment	
Industry	Oil and gas field machinery and equipment	
Item	Industrial and manufacturing plant and process engineering projects	
1998	NA	160.2
2017	Septiembre	265
	Octubre	265.9
2018	Enero	267.4
	Agosto	268.5
2019	Enero	269.4

Periodo	Mes	Índice
1	ene-17	263.6
2	feb-17	263.9
3	mar-17	264.1
4	abr-17	264.4
5	may-17	264.6
6	jun-17	264.9
7	jul-17	265.1
8	ago-17	265.4
9	sep-17	265.6
10	oct-17	265.9
11	nov-17	266.1
12	dic-17	266.4
13	ene-18	266.6
14	feb-18	266.9
15	mar-18	267.1
16	abr-18	267.4
17	may-18	267.6
18	jun-18	267.9
19	jul-18	268.2
20	ago-18	268.4
21	sep-18	268.7
22	oct-18	268.9
23	nov-18	269.2
24	dic-18	269.4
25	ene-19	269.7
26	feb-19	269.9
27	mar-19	270.2
28	abr-19	270.4
29	may-19	270.7
30	jun-19	270.9
31	jul-19	271.2

Ilustración D.16. Información del Proyecto Planta de Alquiler (tiempo y costo).xls (Pestaña Escalación Procura)

					Año del estimado	1998				
					Índice fecha del estimado	104.8				
					Monto por Escalación	\$ 39,449,951				
					Porcentaje de Escalación	59%				
					Total sin Escalación		Total con Escalación			
					\$ 67,861,805		\$ 100,811,916			
Fecha	Periodo	Proyección Actual	Índice de Escalación	Monto Escalado						
mar-19	1	\$ 401,190	161.1	\$ 633,998						
abr-19	2	\$ 555,087	164.6	\$ 871,871						
may-19	3	\$ 1,211,095	161.9	\$ 1,958,091						
jun-19	4	\$ 2,254,032	165.1	\$ 3,549,971						
jul-19	5	\$ 2,231,497	165.3	\$ 3,698,293						
ago-19	6	\$ 4,489,571	165.5	\$ 7,669,101						
sep-19	7	\$ 6,601,093	165.7	\$ 10,438,444						
oct-19	8	\$ 9,290,402	165.9	\$ 14,710,697						
nov-19	9	\$ 8,990,528	166.2	\$ 14,255,134						
dic-19	10	\$ 9,290,402	166.4	\$ 14,790,199						
ene-20	11	\$ 6,509,477	166.6	\$ 10,348,925						
feb-20	12	\$ 5,775,072	166.8	\$ 9,391,962						
mar-20	13	\$ 3,231,497	167.1	\$ 5,151,253						
abr-20	14	\$ 2,280,304	167.3	\$ 3,639,827						
may-20	15	\$ 1,111,606	167.6	\$ 1,837,867						
jun-20	16	\$ 633,231	167.7	\$ 1,031,457						
jul-20	17	\$ 401,190	168.0	\$ 647,747						

Series Title	PPI industry data for Engineering services-Building related engineering projects	
Series ID	PCU1411305413301	
Survey Name	PPI Industry Data	
Measure Data Type	Building related engineering projects	
Industry	Engineering services	
Item	Building related engineering projects	
1998	NA	
2017	Enero	
	Mayo	
2018	Septiembre	
	Enero	

Periodo	Mes	Índice
1	ene-17	
2	feb-17	
3	mar-17	
4	abr-17	
5	may-17	
6	jun-17	
7	jul-17	
8	ago-17	
9	sep-17	
10	oct-17	
11	nov-17	
12	dic-17	
13	ene-18	
14	feb-18	
15	mar-18	
16	abr-18	
17	may-18	
18	jun-18	
19	jul-18	
20	ago-18	
21	sep-18	
22	oct-18	
23	nov-18	
24	dic-18	
25	ene-19	
26	feb-19	
27	mar-19	
28	abr-19	
29	may-19	
30	jun-19	
31	jul-19	
32	ago-19	
33	sep-19	
34	oct-19	
35	nov-19	
36	dic-19	
37	ene-20	
38	feb-20	
39	mar-20	
40	abr-20	
41	may-20	
42	jun-20	
43	jul-20	

Ilustración D.17. Información del Proyecto Planta de Alquiler (tiempo y costo).xls (Pestaña Escalación Construcción)

					Año del estimado		1998	
					Índice fecha del estimado	104.83		
					Monto por Escalación	\$1,308,138		
					Porcentaje de Escalación	61%		
					Total sin Escalación	Total con Escalación		
					\$ 2,151,213	\$ 3,459,351		
Fecha	Periodo	Erogación Actual	Índice de Escalación	Monto Escalado				
jul-20	1	\$ 95,170	168.2	\$ 152,658				
ago-20	2	\$ 455,734	168.4	\$ 781,935				
sep-20	3	\$ 999,819	168.6	\$ 1,607,757				
oct-20	4	\$ 505,320	168.8	\$ 813,583				
nov-20	5	\$ 95,170	169.0	\$ 153,416				
					Series Title	PPI industry data for Engineering services-Industrial and manufacturing plant and process engineering projects.		
					Series ID	PCU5413305413301		
					Survey Name	PPI Industry Data		
					Measure Data Type	Industrial and manufacturing plant and process engineering projects		
					Industry	Engineering services		
					Item	Industrial and manufacturing plant and process engineering projects		
					1998	NA	104.83	
					2017	Diciembre	159.2	
						Enero	159.4	
					2018	Febrero	159.6	
						Julio	162.9	
					2019	Agosto	163.3	
						Noviembre	164.2	
						Enero	164.4	

Ilustración D.15. Información del Proyecto Planta de Alquiler (tiempo y costo).xls (Pestaña Escalación PYPM).

Anexo E. Proyecto de una Planta de Alquileración (Planeación)

Número de riesgo	Fase del proyecto	Riesgo	Probabilidad	Impacto mínimo	Impacto más probable	Impacto máximo	Valor del riesgo	Priorización del riesgo
1.1	Ingeniería	Dedicación del alcance incompleta	0.5	\$ 4,474,864	\$ 4,974,294	\$ 5,474,724	\$ 2,487,148.83	Alto
1.2	Ingeniería	Impresión en los diseños y especificaciones	0.5	\$ 370,143	\$ 411,150	\$ 452,200	\$ 124,457.54	Bajo
1.3	Ingeniería	Cambios en los estándares de diseño	0.5	\$ 393,454	\$ 437,171	\$ 481,888	\$ 133,151.26	Bajo
1.4	Ingeniería	Distorsiones de presupuesto	0.5	\$ 368,594	\$ 412,883	\$ 457,171	\$ 121,441.30	Bajo
1.7	Ingeniería	Retrasos en el diseño	0.5	\$ 434,229	\$ 474,141	\$ 514,053	\$ 142,520.67	Bajo
2.1	Procura	Falta de disponibilidad de equipo en el mercado	0.5	\$ 1,175,802	\$ 3,528,608	\$ 5,881,545	\$ 1,564,544.23	Alto
2.2	Procura	Incremento en el costo de materiales y/o equipo	0.7	\$ 3,493,342	\$ 3,881,838	\$ 4,269,889	\$ 2,717,674.70	Alto
2.3	Procura	Exceso de materiales	0.7	\$ 3,833,962	\$ 4,234,402	\$ 4,634,842	\$ 2,994,693.49	Alto
2.4	Procura	Retraso en la entrega de equipos comprados	0.7	\$ 3,051,382	\$ 3,481,235	\$ 3,909,689	\$ 2,717,674.70	Alto
3.1	Construcción	Calificación de materiales errónea	0.5	\$ 1,143,601	\$ 1,281,779	\$ 1,409,957	\$ 640,889.49	Medio
3.2	Construcción	Exceso de mano de obra	0.5	\$ 1,248,751	\$ 1,338,584	\$ 1,428,417	\$ 416,578.17	Bajo
3.3	Construcción	Falta de mano de obra calificada	0.5	\$ 480,967	\$ 531,075	\$ 581,182	\$ 257,637.29	Bajo
3.4	Construcción	Dificultades por errores constructivos	0.5	\$ 961,831	\$ 1,068,149	\$ 1,174,466	\$ 544,674.58	Medio
3.5	Construcción	Faltas de equipos para construcción	0.5	\$ 1,057,468	\$ 1,174,864	\$ 1,292,260	\$ 452,489.24	Bajo
4.1	Operativa	Riesgo operativo (La falta de comunicación y coordinación en el proyecto, la productividad laboral, procedimientos de trabajo inadecuados, la estructura organizacional inadecuada y la planificación inadecuada del proyecto)	0.5	\$ 5,372,231	\$ 5,969,142	\$ 6,566,053	\$ 2,984,476.23	Alto
5.1	Político	Cambios en los compromisos del cliente	0.3	\$ 5,833,931	\$ 6,466,582	\$ 7,113,240	\$ 3,939,971.51	Alto
6.1	Ambiental	Atención al medio ambiente (contaminación)	0.5	\$ 671,207	\$ 740,144	\$ 809,081	\$ 370,720.28	Bajo
6.2	Ambiental	Condiciones climatológicas (lluvia, viento, humedad, etc.)	0.3	\$ 2,658,119	\$ 2,884,476	\$ 3,110,833	\$ 895,272.87	Medio
7.1	Social	Impacto a la comunidad de la región	0.3	\$ 2,238,432	\$ 2,487,147	\$ 2,735,862	\$ 116,144.06	Medio
7.2	Social	Tráfico, ruido, vibración y contaminación	0.1	\$ 3,143,895	\$ 3,482,206	\$ 3,820,517	\$ 146,200.56	Bajo
8.1	Legal	Falta implementación de las bases del contrato	0.1	\$ 1,492,248	\$ 1,641,917	\$ 1,791,586	\$ 49,328.81	Bajo
8.2	Legal	Incumplimiento de normas o leyes (contaminación)	0.1	\$ 2,238,432	\$ 2,487,147	\$ 2,735,862	\$ 248,714.69	Bajo
8.3	Legal	Obstrucción de permisos, licencias, contratos y licencias	0.7	\$ 1,178,361	\$ 1,271,219	\$ 1,364,077	\$ 3,182,805.59	Alto

Proyecto Planta de Alquileración		Costo (\$ Bil.)
Preparación		\$ 34,288,269
Ingeniería básica y de Detalle		\$ 352,866,814
Procura		\$ 106,813,516
Construcción		\$ 3,459,451
Pruebas y puesta en marcha		\$ 4,497,429,370.45
Costo directo total		\$ 4,497,429,370.45

Ilustración E.1. Paso I_POSE_Costo.xls

Riesgo	Probabilidad	Impacto mínimo	Impacto más probable	Impacto máximo	Impacto	Valor del riesgo	Priorización del riesgo
1.1	0.5	\$ 4,474,864	\$ 4,974,294	\$ 5,474,724	\$ 4,474,864	\$ 2,487,148.83	Alto
1.2	0.5	\$ 370,143	\$ 411,150	\$ 452,200	\$ 370,143	\$ 124,457.54	Bajo
1.3	0.5	\$ 393,454	\$ 437,171	\$ 481,888	\$ 393,454	\$ 133,151.26	Bajo
1.4	0.5	\$ 368,594	\$ 412,883	\$ 457,171	\$ 368,594	\$ 121,441.30	Bajo
1.7	0.5	\$ 434,229	\$ 474,141	\$ 514,053	\$ 434,229	\$ 142,520.67	Bajo
2.1	0.5	\$ 1,175,802	\$ 3,528,608	\$ 5,881,545	\$ 1,175,802	\$ 1,564,544.23	Alto
2.2	0.7	\$ 3,493,342	\$ 3,881,838	\$ 4,269,889	\$ 3,493,342	\$ 2,717,674.70	Alto
2.3	0.7	\$ 3,833,962	\$ 4,234,402	\$ 4,634,842	\$ 3,833,962	\$ 2,994,693.49	Alto
2.4	0.7	\$ 3,051,382	\$ 3,481,235	\$ 3,909,689	\$ 3,051,382	\$ 2,717,674.70	Alto
3.1	0.5	\$ 1,143,601	\$ 1,281,779	\$ 1,409,957	\$ 1,143,601	\$ 640,889.49	Medio
3.2	0.5	\$ 1,248,751	\$ 1,338,584	\$ 1,428,417	\$ 1,248,751	\$ 416,578.17	Bajo
3.3	0.5	\$ 480,967	\$ 531,075	\$ 581,182	\$ 480,967	\$ 257,637.29	Bajo
3.4	0.5	\$ 961,831	\$ 1,068,149	\$ 1,174,466	\$ 961,831	\$ 544,674.58	Medio
3.5	0.5	\$ 1,057,468	\$ 1,174,864	\$ 1,292,260	\$ 1,057,468	\$ 452,489.24	Bajo
4.1	0.5	\$ 5,372,231	\$ 5,969,142	\$ 6,566,053	\$ 5,372,231	\$ 2,984,476.23	Alto
5.1	0.3	\$ 5,833,931	\$ 6,466,582	\$ 7,113,240	\$ 5,833,931	\$ 3,939,971.51	Alto
6.1	0.5	\$ 671,207	\$ 740,144	\$ 809,081	\$ 671,207	\$ 370,720.28	Bajo
6.2	0.3	\$ 2,658,119	\$ 2,884,476	\$ 3,110,833	\$ 2,658,119	\$ 895,272.87	Medio
7.1	0.3	\$ 2,238,432	\$ 2,487,147	\$ 2,735,862	\$ 2,238,432	\$ 116,144.06	Medio
7.2	0.1	\$ 3,143,895	\$ 3,482,206	\$ 3,820,517	\$ 3,143,895	\$ 146,200.56	Bajo
8.1	0.1	\$ 1,492,248	\$ 1,641,917	\$ 1,791,586	\$ 1,492,248	\$ 49,328.81	Bajo
8.2	0.1	\$ 2,238,432	\$ 2,487,147	\$ 2,735,862	\$ 2,238,432	\$ 248,714.69	Bajo
8.3	0.7	\$ 1,178,361	\$ 1,271,219	\$ 1,364,077	\$ 1,178,361	\$ 3,182,805.59	Alto
Reserva de contingencia (RC F. dólares)						\$ 14,937,181	
Presupuesto del proyecto (dólares)						\$ 110,332,231.56	

Ilustración E.2. Paso II_POSE_Costo.xls

Ilustración E.3. Paso III_POSE_Costo.xls

Número de riesgo	Fase del proyecto	Riesgo	Probabilidad	Impacto mínimo	Impacto más probable	Impacto máximo	Impacto	Valor del riesgo	Priorización del riesgo
1.1	Ingeniería	Dedicación del alcance incompleta	0.5	\$ 4,474,864	\$ 4,974,294	\$ 5,474,724	\$ 4,474,864	\$ 2,487,148.83	Alto
1.2	Ingeniería	Impresión en los diseños y especificaciones	0.5	\$ 370,143	\$ 411,150	\$ 452,200	\$ 370,143	\$ 124,457.54	Bajo
1.3	Ingeniería	Cambios en los estándares de diseño	0.5	\$ 393,454	\$ 437,171	\$ 481,888	\$ 393,454	\$ 133,151.26	Bajo
1.4	Ingeniería	Distorsiones de presupuesto	0.5	\$ 368,594	\$ 412,883	\$ 457,171	\$ 368,594	\$ 121,441.30	Bajo
1.7	Ingeniería	Retrasos en el diseño	0.5	\$ 434,229	\$ 474,141	\$ 514,053	\$ 434,229	\$ 142,520.67	Bajo
2.1	Procura	Falta de disponibilidad de equipo en el mercado	0.5	\$ 1,175,802	\$ 3,528,608	\$ 5,881,545	\$ 1,175,802	\$ 1,564,544.23	Alto
2.2	Procura	Incremento en el costo de materiales y/o equipo	0.7	\$ 3,493,342	\$ 3,881,838	\$ 4,269,889	\$ 3,493,342	\$ 2,717,674.70	Alto
2.3	Procura	Exceso de materiales	0.7	\$ 3,833,962	\$ 4,234,402	\$ 4,634,842	\$ 3,833,962	\$ 2,994,693.49	Alto
2.4	Procura	Retraso en la entrega de equipos comprados	0.7	\$ 3,051,382	\$ 3,481,235	\$ 3,909,689	\$ 3,051,382	\$ 2,717,674.70	Alto
3.1	Construcción	Calificación de materiales errónea	0.5	\$ 1,143,601	\$ 1,281,779	\$ 1,409,957	\$ 1,143,601	\$ 640,889.49	Medio
3.2	Construcción	Exceso de mano de obra	0.5	\$ 1,248,751	\$ 1,338,584	\$ 1,428,417	\$ 1,248,751	\$ 416,578.17	Bajo
3.3	Construcción	Falta de mano de obra calificada	0.5	\$ 480,967	\$ 531,075	\$ 581,182	\$ 480,967	\$ 257,637.29	Bajo
3.4	Construcción	Dificultades por errores constructivos	0.5	\$ 961,831	\$ 1,068,149	\$ 1,174,466	\$ 961,831	\$ 544,674.58	Medio
3.5	Construcción	Faltas de equipos para construcción	0.5	\$ 1,057,468	\$ 1,174,864	\$ 1,292,260	\$ 1,057,468	\$ 452,489.24	Bajo
4.1	Operativa	Riesgo operativo (La falta de comunicación y coordinación en el proyecto, la productividad laboral, procedimientos de trabajo inadecuados, la estructura organizacional inadecuada y la planificación inadecuada del proyecto)	0.5	\$ 5,372,231	\$ 5,969,142	\$ 6,566,053	\$ 5,372,231	\$ 2,984,476.23	Alto
5.1	Político	Cambios en los compromisos del cliente	0.3	\$ 5,833,931	\$ 6,466,582	\$ 7,113,240	\$ 5,833,931	\$ 3,939,971.51	Alto
6.1	Ambiental	Atención al medio ambiente (contaminación)	0.5	\$ 671,207	\$ 740,144	\$ 809,081	\$ 671,207	\$ 370,720.28	Bajo
6.2	Ambiental	Condiciones climatológicas (lluvia, viento, humedad, etc.)	0.3	\$ 2,658,119	\$ 2,884,476	\$ 3,110,833	\$ 2,658,119	\$ 895,272.87	Medio
7.1	Social	Impacto a la comunidad de la región	0.3	\$ 2,238,432	\$ 2,487,147	\$ 2,735,862	\$ 2,238,432	\$ 116,144.06	Medio
7.2	Social	Tráfico, ruido, vibración y contaminación	0.1	\$ 3,143,895	\$ 3,482,206	\$ 3,820,517	\$ 3,143,895	\$ 146,200.56	Bajo
8.1	Legal	Falta implementación de las bases del contrato	0.1	\$ 1,492,248	\$ 1,641,917	\$ 1,791,586	\$ 1,492,248	\$ 49,328.81	Bajo
8.2	Legal	Incumplimiento de normas o leyes (contaminación)	0.1	\$ 2,238,432	\$ 2,487,147	\$ 2,735,862	\$ 2,238,432	\$ 248,714.69	Bajo
8.3	Legal	Obstrucción de permisos, licencias, contratos y licencias	0.7	\$ 1,178,361	\$ 1,271,219	\$ 1,364,077	\$ 1,178,361	\$ 3,182,805.59	Alto
Reserva de contingencia (RC F. dólares)								\$ 14,937,181	
Presupuesto del proyecto (dólares)								\$ 110,332,231.56	

Ilustración E.4. Paso III_POSE_Costo.xls

Referencias

1. Bandimarte, P. (2014). Handbook in Monte Carlo simulation: Applications in financial engineering, risk management and economics. New Jersey: John Wiley & Sons.
2. Bannerman, P. L. (2008). Defining project success: a multilevel framework. Paper presented at PMI® Research Conference: Defining the Future of Project Management, Warsaw, Poland. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
3. Black, Ken. (1996). Causes of project failure: A survey of professional engineers. PM Network, 10 (11), 21–24
4. Bodych, M. A. (2012). Integrated project management in the organization. Paper presented at PMI® Global Congress 2012
5. Charnes, J. (2012). Financial Modeling with Crystal Ball and Excel. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
6. Datta, S., Mukherjee, S.k. (2001). Developing a risk management matrix for effective project planning- An empirical study. PMI, Vol. 32. No. 2, 45-47
7. Eapen John, (2015), Top ten reasons why a project fails and what you can do to change. Recuperado el 10 de agosto de 2018, de <https://www.linkedin.com/pulse/portfolios-portfolio-management-eapen-john-pmp-pmi-rmp-til-expert>
8. Eckhardt, R. (1987). Stan Ulam, John Von Neumann and Monte Carlo Method. Los Alamos Special Issue.
9. EPM Information Development Team, (2011). Crystal Ball User's Guide 11.1.2
10. Fortune, J. & White, D., 2006. Framing of project critical success factors by a systems model. International Journal of Project Management, 24(1), pp.53-65.
11. Hernández, N. (2014). Administración de riesgos en un proyecto de ingeniería, procura y construcción (IPC, de dos plantas criogénicas modulares. Tesis de maestría. Universidad Nacional Autónoma de México
12. Hutson, Jr., Hann, P. (1983). HF alkylation process. United States Patent.
13. Kramer, S. W. & Jenkins, J. L. (2006). Understanding the basics of CPM calculations: what is scheduling software really telling you? Paper presented at PMI® Global Congress 2006. North America, Seattle, WA. Newtown Square, PA: Project Management Institute

14. Kwak, Y. (2009). Exploring Monte Carlo Simulation Applications for project Management. IEEE ENGINEERING MANAGEMENT REVIEW, VOL. 37, NO. 2, SECOND QUARTER 2009
15. Larson, R. & Larson, E. (2009). Top five causes of scope creep ... and what to do about them. Paper presented at PMI® Global Congress 2009—North America, Orlando, FL. Newtown Square, PA: Project Management Institute.
16. Martínez, A. (1998). Planeación y administración de un proyecto de una planta de alquilación. Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México
17. Meredith, J. R., and S. J. Mantel, Jr. (2006), Project Management: A Managerial Approach, John Wiley & Sons (Asia) Pte Ltd, Singapore.
18. Metropolis N. and Ulam S. (1949). The Monte Carlo Method. J. Amer. Statist. Assoc. 44,335-341
19. Murray, S., Grantham, K., Damle, S. (2011). Development of a Generic Risk Matrix to Manage Project Risks. Journal of Industrial and Systems Engineering. Vol 5, No.1, 35-51.
20. Pawar, T. (2017). Probability of success in program management. Thesis. University of Texas.
21. Piney, C. (2007). Integrated portfolio and program management: discovering organizational project management. Paper presented at PMI® Global Congress 2007
22. Pinto, J., Slevin, D. (1988). Critical success factors across the project life cycle. Project Management Journal. 69-75
23. Project Management Institute. (2016). The high cost of low performance. Pulse of the profesión. 8th Global Project Management Survey.
24. Project Management Institute. (2017). A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide). Newtown Square, Pa: Project Management Institute
25. Shrivastava, N. K. (2014). A model to develop and use risk contingency reserve. Paper presented at PMI® Global Congress 2014—North America, Phoenix, AZ. Newtown Square, PA: Project Management Institute
26. Turner, J.R. (1999) The Handbook of Project-Based Management. London: McGraw-Hill

27. Watson, P. (2009). A methodology for attaining and assessing project success for rehabilitation projects. *Journal of Building Appraisal*, 4(3), 181-189.
28. Westland, J. (2006). *The project Management Life Cycle: a complete step by step methodology for initiating, planning, executing and closing the project successfully*. London: Kogan Page.
29. Wysocki, R. (2007). *Effective project management: Traditional, adaptive, extreme*. Indianapolis: John Wiley & Sons.
30. Zwikael, O., Pathak, R. D., Singh, G., Ahmed, S. (2014). The moderating effect of risk on the relationship between planning and success. *International Journal of Project Management*, 32 (3),435-441.