

**METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS COSTOS ASOCIADOS  
A LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASADO EN EL MÉTODO  
ESTADÍSTICO MONTECARLO**

**CRISTIAN CAMILO BARRAGAN SANCHEZ  
LUIS HUMBERTO VARGAS DOMINGUEZ**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-QUÍMICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2017**

**METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS COSTOS ASOCIADOS  
A LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASADO EN EL MÉTODO  
ESTADÍSTICO MONTECARLO**

**CRISTIAN CAMILO BARRAGAN SANCHEZ  
LUIS HUMBERTO VARGAS DOMINGUEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para obtener el título de  
Ingeniero de Petróleos**

**DIRECTOR**

**JOHN ALEXANDER LEÓN PABÓN  
Magister en Ingeniería de Petróleos**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA FÍSICO-QUÍMICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA DE PETRÓLEOS  
BUCARAMANGA**

**2017**

## DEDICATORIA

A Dios por permitirme culminar con éxito esta etapa de mi vida, porque a pesar de los obstáculos que se me presentaron en el camino, él me levantó, me fortaleció y pude continuar hasta lograrlo.

A mis padres Rafael y Rocio, por haberme dado la vida, porque con su ejemplo me inspiran a diario en mí el deseo de salir adelante, porque sin ellos este logro no hubiese sido posible y enseñarme que una caída no es una derrota sino el principio de una lucha que siempre termina en logros y éxitos. Gracias a ellos por ese apoyo incondicional, sin ellos nada de esto hubiera sido posible.

A mi abuela Fabiola y a mi Tío Luis por haberme abierto cariñosamente las puertas de su casa, porque el apoyo a lo largo de mi carrera fue indispensable, por aguantarme tantos caprichos y por haber estado siempre a mi lado durante cada paso de esta etapa.

A mis hermanos Jahir, Andrés y Valeria, por ser los impulsores de mis sueños y poder demostrarles que se puede salir adelante. Las aventuras y locuras que vivimos siempre serán recordadas con el mayor agrado en mí, siempre serán la luz de mis ojos y que lucharé por ustedes hasta donde Dios lo permita.

A mis Tíos y primos los cuales siempre me apoyaron, me incentivaron y me acompañaron a culminar esta etapa, porque creyeron en mis aptitudes y fortalezas.

A mis amigos, de quienes tuve la oportunidad de aprender algo nuevo cada día, por tantas sonrisas y momentos compartidos.

Con Cariño, Luis Vargas

## DEDICATORIA

Me gustaría dedicar esta tesis primeramente a Dios que con arduo trabajo y esfuerzo se logró realizar satisfactoriamente. Gracias a él, se vivió una etapa completa de conocimientos y experiencias que me permitieron crecer, madurar y sobre todo aprender.

De igual manera este libro y los logros alcanzados son el resultado de todo el compromiso y la confianza que mis padres José Duvan Perdomo y Omaira Sánchez García depositaron en mí. Personas que me ayudaron en las buenas y malas circunstancias, que tuvieron esa fe en mi sin condición alguna, que no dudaron de mis habilidades, que dieron todo de ellos mismo sacrificando privilegios para darme un excelente futuro, debido a eso y mucho más, les hago una dedicación especial porque sin ellos no hubiera llegado a cumplir mis metas como le podido hacer hasta ahora.

Así mismo este trabajo se realizó satisfactoriamente gracias al apoyo que me brindo una persona en especial, quiero dedicarle este esfuerzo y resultado a Oscar Alejandro Blanco Rojas, además darle las gracias por su constante motivación, amor, demasiada paciencia y por acompañarme en este proceso.

A mis hermanas Alejandra, Ivonne y Kiara gracias por ser mis compañeras de aventuras, de secretos y sobre todo una base más de apoyo, con momentos de alegrías confianza y demasiada comprensión; me siento orgulloso de ser su hermano mayor.

Mi abuela Yolanda Barragan por su incondicional apoyo que me brindo en el trascurso de este proceso y su cariño.

Por último, a todos mis amigos que fueron cómplices en el recorrido universitario como Cristian, Jonathan, Álvaro Gracias.

Con Aprecio: CRISTIAN BARRAGAN

## **AGRADECIMIENTOS**

*A Dios que nos brindó la oportunidad de realizar y cumplir una etapa importante acompañada de principios y aprendizajes.*

*A la escuela de Ingeniería de Petróleos UIS y los profesores que hicieron parte del proceso de formación en las diferentes áreas o asignaturas, brindando conocimientos para nuestra vida profesional.*

*Al Ingeniero Jhon Alexander León Pabón por su constante apoyo, consejos y por la orientación que nos brindó en cada aspecto de este trabajo.*

*Al profesor Luis Abraham que a pesar de la distancia nos asesoró desde la ciudad de Santiago Chile proporcionando pautas esenciales sobre el manejo del software Crystal Ball.*

*Al Ingeniero Oscar López por su colaboración y aporte información en el área de fluidos de perforación.*

*A nuestros amigos y todas las demás personas que de alguna forma ayudaron a la culminación exitosa de este proyecto.*

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN .....	19
1. MARCO TEÓRICO .....	21
1.1. RIESGO FINANCIERO .....	21
1.2. OPTIMIZACIÓN .....	22
1.3. TIPOS DE DISTRIBUCIÓN.....	23
1.3.1. Distribución normal. ....	23
1.3.2. Distribución triangular. ....	24
1.3.3. Distribución pareto. ....	25
1.3.4. Distribución uniforme. ....	25
1.3.5. Distribución Weibull.....	26
1.3.6. Distribución Beta. ....	27
1.3.7. Distribución extremo mínimo.....	28
1.3.8. Distribución extremo máximo.....	28
1.3.9. Distribución logística. ....	29
1.4. PERCENTILES .....	30
1.5. ESTUDIO ECONÓMICO .....	30
1.6. UMBRAL DE RENTABILIDAD .....	31
1.7. VARIABLES DISCRETAS.....	31
1.8. VARIABLES CONTINUAS .....	31
1.9. CORRELACIÓN Y DISPERSIÓN .....	32
1.9.1. ¿Cómo se interpreta? .....	32

2. SIMULACIÓN DE MONTECARLO Y CRISTALL BALL .....	34
2.1. SIMULACIÓN.....	34
2.2. MODELO DE SIMULACIÓN .....	35
2.3. SIMULACIÓN DE MONTECARLO .....	36
2.3.1. Características básicas.....	38
2.3.2. El algoritmo para implementar una simulación montecarlo.....	38
2.4. SIMULACIÓN MONTECARLO CON CRYSTAL BALL .....	39
2.5. CRYSTAL BALL.....	40
2.5.1. Procedimiento básico.....	42
2.5.2. Crystal Ball y microsoft office excel.....	43
2.5.3. ¿Cuáles son los beneficios de realizar un análisis de riesgo con Crystal Ball?:.....	44
2.5.4. ¿Qué es un supuesto?.....	44
2.5.5. ¿Cómo definir un pronóstico? .....	45
3. FLUIDOS DE PERFORACIÓN .....	47
3.1. FLUIDOS DE PERFORACIÓN .....	47
3.1.1. Propiedades de los fluidos de perforación. ....	48
3.1.2. Propiedades reológicas.....	48
3.2. CLASIFICACIÓN DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN.....	50
3.3. FUNCIONES BÁSICAS .....	51
3.4. FACTORES DE INFLUENCIA DE UN FLUIDO DE PERFORACIÓN.....	54
3.5. EL CICLO DE VIDA DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN.....	55
3.5.1. Diseño inicial.....	56
3.5.2. Circulación. ....	56
3.5.3. Medición y rediseño. ....	56

4. DESARROLLO TEÓRICO DE LA METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN APLICADO EN UN SOFTWARE ESPECIALIZADO .....	58
4.1. ETAPA 1: INFORMACIÓN REQUERIDA.....	58
4.2. ETAPA 2: ANÁLISIS DEL MODELO Y PROCEDIMIENTOS PARA LA APLICACIÓN EN EL SOFTWARE.....	60
4.3. ETAPA 3: OPTIMIZACIÓN OPTQUEST.....	63
5. DISEÑO DEL MODELO ESTADÍSTICO PARA EL DESARROLLO METODOLÓGICO PROPUESTO Y DESARROLLADO EN EL SOFTWARE CRYSTAL BALL.....	66
5.1. GENERALIDADES BÁSICAS DEL ESTUDIO ECONÓMICO.....	66
5.2. DATOS BÁSICOS.....	67
5.2.1. Referencias iniciales de los componente en los fluidos de perforacion. .	68
5.2.2. Historial de precios. ....	69
5.3. PLANTEAMIENTO DEL MODELO .....	70
5.3.1. Datos estadísticos básicos.....	72
6. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FUNDAMENTADO EN LA SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN ASOCIADOS A LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN EN CRYSTAL BALL .....	75
6.1. INSTALACIÓN Y EJECUCIÓN DEL SOFTWARE ESPECIALIZADO .....	75
6.2. INCIO DEL SOTWARE CRYSTAL BALL.....	76
6.3. ENTRADA DE DATOS .....	77
6.4. EVALUACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES DE SUPOSICIÓN.....	78
6.4.1. Forma de establecer los tipos de distribución. ....	78
6.4.2. Procedimiento para establecer los tipos de distribución. ....	78
6.4.3. Procedimientos para establecer las correlaciones entre los componentes. ....	84
6.5. DEFINICIÓN DE VARIABLE DE PREVISIÓN .....	88

6.5.1. Procedimiento para la asignación de la celda de previsión. ....	88
6.6. EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN.....	88
6.7. PROCEDIMIENTOS PARA EL DESARROLLO DEL OPTIMIZADOR OPTQUEST .....	90
6.7.1. Asignación de variable de decisión.....	91
6.7.1.1. Procedimiento.....	92
6.7.2. Herramienta Optquest.....	93
6.7.2.1. Ventana de transcripción del objetivo. ....	93
6.7.2.2. Ventana de variables de decisión. ....	94
6.7.2.3. Ventana de restricciones.....	95
6.7.2.4. Ventana de opciones finales. ....	96
6.7.2.5. Ejecución final.....	97
6.8. PRESENTACION DE RESULTADOS .....	97
6.8.1. Resultados de la simulación de previsión. ....	98
6.8.2. Resultado de la simulación Optquest.....	104
7. CONCLUSIONES .....	109
8. RECOMENDACIONES .....	110
BIBLIOGRAFIA.....	111

## LISTA DE ILUSTRACIONES

	<b>Pág.</b>
Ilustración 1. Comportamiento básico de una distribución estadística normal.....	23
Ilustración 2. Comportamiento básico de la distribución estadística triangular.....	24
Ilustración 3. Comportamiento básico de la distribución estadística pareto.....	25
Ilustración 4. Comportamiento básico de la distribución estadística uniforme.....	26
Ilustración 5. Comportamiento básico de la distribución estadística weibull. ....	26
Ilustración 6. Comportamiento básico de la distribución estadística bet.a .....	27
Ilustración 7. Comportamiento básico de la distribución estadística min extreme.....	28
Ilustración 8. Comportamiento básico de la distribución estadística max extreme.....	29
Ilustración 9. Comportamiento básico de la distribución estadística Logistic.....	29
Ilustración 10. Gráfico de correlación positiva. ....	32
Ilustración 11. Gráfico de correlación negativa. ....	33
Ilustración 12. Ejemplo de un cuadro de pronósticos Crystal Ball .....	46
Ilustración 13. Clasificación de fluidos de perforación. ....	50
Ilustración 14. Diagrama de flujo.....	59
Ilustración 15. Barra de herramientas sección definir. ....	62
Ilustración 16. Barra de herramientas sección ejecución y analizar.....	63
Ilustración 17. Barra de herramientas sección herramienta y ayuda. ....	64
Ilustración 18. Ventana de entrada al programa de Crystal Ball. ....	77
Ilustración 19. Ventana de ingreso para asignar las distribuciones estadísticas.....	79

Ilustración 20. Ventana emergente para ingreso de datos históricos y tipo de datos. ....	80
Ilustración 21. Resultados obtenidos del cálculo probabilístico por el software (Tipo Beta).....	81
Ilustración 22. Cuadro estadístico con los resultados del tipo de distribución más adecuado para el primer componente.....	82
Ilustración 23. Gráfico representativo del tipo de supuesto para el componente adelgazante polimérico para lodo base agua con los puntos mínimos y máximos. ....	84
Ilustración 24. Ventana emergente para el ingreso de variables a correlacionar .....	86
Ilustración 25. Cuadro de definición de correlaciones para el componente adelgazante polimérico para lodo base agua. ....	87
Ilustración 26. Pestaña emergente para el ingreso de los datos históricos referente al proceso de correlación de variables. ....	87
Ilustración 27. Ventana de ingresos de datos para la celda de previsión. ....	88
Ilustración 28. Ventana para el ingreso de dato finales para la simulación de previsión. ....	90
Ilustración 29. Ventana para asignar las celdas de cantidad con los valores y tipo de dato para cada componente.....	92
Ilustración 30. Ventana emergente de la herramienta Optquest para el ingreso de los objetivos. ....	94
Ilustración 31. Ventana de certificación y modificación de celdas de decisión.....	95
Ilustración 32. Ventana emergente para el ingreso de fórmulas de restricciones.....	96
Ilustración 33. Ventana emergente para ejecución de datos finales en la simulación del optimizador.....	97
Ilustración 34. Cuadro de pronósticos, resultados de la simulación de previsión. ....	99
Ilustración 35. Cuadro de pronósticos con el histograma de frecuencia acumulada. ....	100

Ilustración 36. Cuadro de pronóstico con el gráfico de distribución representativo de la simulación (Tipo Beta).....	101
Ilustración 37. Gráfico de sensibilidad. ....	103
Ilustración 38. Gráfico de rendimiento obtenido como resultado de la simulación por parte del optimizador. ....	105
Ilustración 39. Cuadro de pronósticos; resultados de la simulación del optimizado .....	106

## LISTA DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
Tabla 1. Datos básicos iniciales para el planteamiento del modelo. ....	68
Tabla 2. Componentes con el historial de precios. ....	69
Tabla 3. Datos y formulación del planteamiento del modelo para Crystal Ball. ....	70
Tabla 4. Valores Estadísticos para cada componente. ....	73
Tabla 5: Tabla de aditivos en pozos 2, 3, 4. ....	74
Tabla 6. Tipos de distribuciones asignadas para cada componente. ....	83
Tabla 7. Presentación de datos estadísticos. ....	101
Tabla 8. Datos estadísticos obtenidos de la simulación de Optquest. ....	106
Tabla 9. Valores de decisión (cantidades) en un escenario óptimo. ....	107
Tabla 10. Valores de los percentiles. ....	108

## LISTA ANEXOS\*

**ANEXO A:** Libro de cálculo del modelo diseñado y aplicado en Crystal Ball

**ANEXO B:** Tabla de historial de precios.

**ANEXO C:** Gráficos de los tipos de distribuciones.

**ANEXO D:** Cuadro de sensibilidad de la simulación del modelo económico.

**ANEXO E:** Informe final.

---

\* Los anexos se encuentra adjuntos en el cd y se podrán visualizar en la base de datos de la Biblioteca Universidad Industrial de Santander.

## RESUMEN

**TITULO:** METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE LOS COSTOS ASOCIADOS A LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN BASADO EN EL MÉTODO ESTADÍSTICO MONTECARLO\*

**AUTORES:** CRISTIAN CAMILO BARRAGAN SANCHEZ, LUIS HUMBERTO VARGAS DOMINGUEZ\*\*

**PALABRAS CLAVES:** Simulación Montecarlo, Optimización, Estadística, Crystal Ball, Fluidos de perforación, Optquest, Previsión.

### DESCRIPCIÓN

Para el desarrollo de este trabajo se diseñó una metodología bajo los principios del método Montecarlo, aplicada a un modelo estadístico en el software especializado, para la estimación de riesgos económicos y escenarios óptimos; en datos y variables de fluidos de perforación, como los componentes utilizados, historiales de costos y las cantidades propuestas inicialmente con sus respectivos precios teniendo presente las condiciones geológicas y la profundidad deseada. En muchas circunstancias no es posible obtener la información completa para el adecuado funcionamiento de un plan ingenieril estipulado, por lo que el empleo de un estudio probabilístico detallado constituye una gran alternativa para solucionar con altos niveles de certeza los objetivos propuestos.

A manera general para la solución de este proyecto se propusieron tres etapas generales que se desarrollan bajo 2 fases de simulación; en la primera sección se presentan las dos primeras etapas, constituidas por un estudio exhaustivo de la información recolectada, y la definición del tipo de variable de mayor incertidumbre. Asimismo, la respectiva asignación de tipos de supuestos probabilísticos o de decisión; con el objetivo de aplicar la simulación inicial bajo una cantidad de escenarios estipulados de acuerdo al modelo, obteniendo los datos de un pronóstico en la realización del proyecto.

La segunda fase se caracteriza por la búsqueda de una optimización de aditivos, en la cual se ingresa el objetivo y restricciones a la herramienta Optquest, de igual forma se asigna un número de simulaciones para la ejecución del optimizador generando los resultados estimados que se podrán observar en el cuadro de pronósticos, ilustrando los escenarios más pertinentes para la respectiva aplicabilidad con las condiciones presentadas.

---

\* Trabajo de Grado.

\*\* Facultad de Ingeniería Físico-Química. Escuela de Ingeniería de Petróleos. Director John Alexander León Pabón Magister en Ingeniería de Petróleos.

## ABSTRAC

**TITLE:** METHODOLOGY FOR OPTIMIZATION OF THE COSTS ASSOCIATED WITH DRILLING FLUIDS BASED ON THE MONTECARLO STATISTICAL METHOD\*

**AUTHORS:** CRISTIAN CAMILO BARRAGAN SANCHES; LUIS HUMBERTO VARGAS DOMINGUEZ.\*\*

**KEYWORDS:** Montecarlo Simulation, Optimization, Statistics, Crystal Ball, Drilling Fluids, Optquest, Forecasting.

### DESCRIPTION

For the development of this work a methodology was designed under the principles of the Monte Carlo method, applied to a statistical model in the specialized software, for the estimation of economic risks and optimum scenarios; In data and variables of drilling fluids, such as the components used, cost histories and quantities initially proposed with their respective prices considering the geological conditions and the desired depth. In many circumstances, it is not possible to obtain complete information for the proper functioning of a stipulated engineering plan, so the use of a detailed probabilistic study constitutes a great alternative to solve the proposed objectives with high levels of certainty.

In general way for the solution of this project three general stages were proposed that are developed under two phases of simulation; In the first section, we present the first two stages, consisting of an exhaustive study of the information collected, and the definition of the type of variable with greater uncertainty. Likewise, the respective assignment of types of probabilistic or decision assumptions; With the objective of applying the initial simulation under many scenarios stipulated according to the model, obtaining the data of a forecast in the realization of the project.

The second phase is characterized by the search for an optimization of additive, in which the objective and restrictions are entered into in the Optquest tool, likewise a number of simulations are assigned for the execution of the optimizer, generating the estimated results that can be observed in the forecast table, illustrating the most relevant scenarios for the respective applicability with the conditions presented.

---

\* Grade Work.

\*\* Faculty of Physical-Chemical Engineering. School of Engineering of Petroleos. Director John Alexander Leon Pabon Magister in Petroleum Engineering.

## INTRODUCCIÓN

En la industria de los hidrocarburos, teniendo en cuenta el mal momento por el que está atravesando, es indispensable considerar todos los factores económicos que se reflejan a la hora de realizar una exploración, perforación o producción de un pozo. A través del avance de la industria del petróleo se han desarrollado diversos métodos para economizar los distintos recursos a implementar en una perforación. Para ello se diseñó un modelo económico que se aplicó en un software especializado en el que se pueda hacer un análisis económico de los productos a utilizar en la perforación de un pozo.

La investigación y el desarrollo tecnológico que se ha venido dando en la industria y en el contexto académico nacional, brinda la posibilidad de ejecutar un trabajo que cuenta con una metodología para estimar y disminuir la incertidumbre asociada a una optimización de los fluidos de perforación, de esta forma se pueden conseguir resultados con alto nivel de confianza.

Esta investigación surge con la posibilidad de encontrar una técnica que combina los conceptos estadísticos y la capacidad que tienen los computadores de generar los diferentes números pseudo-aleatorios automatizando los cálculos para determinar una optimización de costos en el área de fluidos de perforación desarrollándose en siete capítulos.

El primer capítulo contiene la información sobre todos los aspectos generales y conceptos relacionados con el desarrollo del proyecto. Se muestra el tipo de distribuciones que se dan en la simulación gracias a la utilización del software Crystal Ball. El segundo capítulo se hace una descripción general de lo que es la simulación en Crystal Ball, sus algoritmos para realizar una simulación óptima, beneficios de realizar un análisis con Crystal Ball, características y demás conceptos fundamentales. En el tercer capítulo aborda todo lo relacionado con

fluidos de perforación, propiedades, clasificación, funciones y los factores que influyen en los fluidos de perforación. Seguidamente, en el capítulo cuatro, se muestra de forma general la metodología implementada aplicando los principios del método Montecarlo en el proyecto con sus respectivas etapas.

En el quinto capítulo se idealiza el modelo a ejecutar con el software Crystal Ball y el método Montecarlo, brindando un panorama de situaciones reales mostrando de manera optimizada los recursos, implementados en el desarrollo de la perforación. En el capítulo seis se sintetiza la metodología aplicada en el modelo establecido en el capítulo cuatro. Por último, el capítulo siete presenta las conclusiones y recomendaciones de este trabajo de una manera corta y precisa.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. RIESGO FINANCIERO

En las diferentes clases de mercado y tipo de industrias del sector petrolero, presentan condiciones en la cual la empresa se expone a situaciones no deseables, que pueden ser consideradas como caracteres de pérdida o éxito, e implican factores como la incertidumbre y asimetría de información<sup>1</sup>. De esta manera se puede afirmar que el riesgo está presente en la mayoría de las decisiones que deben tomar las organizaciones. Por esta razón se construyen y desarrollan métodos y modelos para la identificación de riesgos que permitan cuantificar las posibles consecuencias y así mismo ayudar al decisor determinar si es consecuente o no asumir el riesgo de acuerdo a los resultados obtenidos, reduciendo así los costos que implicaría una inadecuada toma de decisiones.

Es necesario comprender que el riesgo es una probabilidad de adquirir éxito o fracaso cuando se requiere realizar un proyecto, por tal motivo es de vital importancia desarrollar una evaluación del riesgo que se está asumiendo, a través de un análisis el cual es aplicado con métodos de tipo probabilístico, que considera que se puede asociar las variables con una distribución de probabilidades, determinando el grado de incertidumbre de las variables y las consecuencias de la ejecución del estudio. El análisis de riesgo para la aplicación de procesos se involucra principalmente en la sección económica buscando resultados que brinden determinar parámetros de rentabilidad o la construcción de un perfil con los siguientes requisitos

- Aplicación al planeamiento de capacidad.
- Aplicaciones para determinar políticas de mantenimiento óptimo.

---

<sup>1</sup> AVILA, Carlos, "Medición y control de riesgos financiero en empresas del sector real" 2005, (6).

- Modelando intercambio de mercados.
- El uso de simulación en administración de proyectos.
- Simulando presupuestos en efectivo.
- Cubrimiento con futuros.
- Determinar políticas óptimas de mantenimiento.
- Estimando la distribución del tiempo de concluir un proyecto.
- Determinar la probabilidad de que una actividad sea crítica.
- Determinar la tasa de riesgo asociado con un portafolio de bonos.
- Cálculo del riesgo en un análisis financiero.
- Proyección de ventas
- Análisis de la tasa de retorno.
- Análisis de distribución de estrategias.
- Análisis de mercadeo.

## 1.2. OPTIMIZACIÓN

La optimización se enfoca en determinar la política a seguir. En otros términos, se busca un conjunto de valores que toman los factores que se puede controlar a fin de regular el rendimiento de la práctica para maximizar o minimizar la respuesta del sistema y sus características a operar<sup>2</sup>, teniendo en cuenta el tipo de indicador a ejecutar como el costo, ganancia, cantidad de producción, etc.

“No todos los modelos de una hoja de cálculo necesitan de optimización; sin embargo, la técnica es muy importante cuando se tienen variables dentro del modelo que se pueda controlar y se quiera alcanzar metas máximas o mínimas que permitan confiar en esas variables”<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> REDCHUK, BAQUELA. “optimización matemática con R.”, introducción al modelado y resolución, Vol. 1, 2013, P.13.

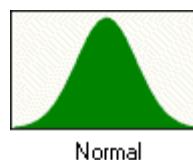
<sup>3</sup> LEON SANCHEZ, D.P, QUINTERO, I, M. ZULUAGA MUÑOZ, W. Crystal Ball. Bogotá D.C. Universidad Nacional De Colombia 2004 (p.15).

Para entender de un modo específico sobre el proceso de optimizar, se basa en implementar un modelo que permita tomar una decisión óptima para alcanzar una máxima ganancia o eficiencia de producción, minimizando el riesgo determinado por costos, tiempo y porcentaje de error en ejecución, presentando que no todas las opciones son viables.

### 1.3. TIPOS DE DISTRIBUCIÓN<sup>4</sup>

**1.3.1. Distribución normal.** La distribución normal representada en la ilustración 1 es continua y es la más importante en la teoría de la probabilidad, ya que describe muchos fenómenos naturales, como el cociente de inteligencia de las personas y los picos y las tasas reproductivas de los animales. Las personas encargadas de tomar decisiones en la empresa pueden utilizar la distribución normal para describir variables inciertas, como la tasa de inflación o el precio futuro de la gasolina.

#### **Ilustración 1. Comportamiento básico de una distribución estadística normal.**



Fuente: Página oficial oracle crystal ball

---

<sup>4</sup> GUÍA DEL USUARIO CRYSTAL BALL , distribuciones de probabilidad continua y discreta (En línea) , 5 de julio 2017 , disponible en internet: [http://www.crystalballservices.com/Portals/0/CB\\_Material/CrystalBallUserGuides/es/Crystal%20Ball%20Users%20Guide /frameset.htm?apas02s02.html](http://www.crystalballservices.com/Portals/0/CB_Material/CrystalBallUserGuides/es/Crystal%20Ball%20Users%20Guide /frameset.htm?apas02s02.html)

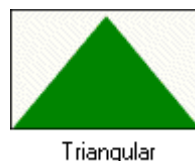
- **Parámetros:** Media, Desviación estándar.

<b>Nota:</b>	De los valores de la distribución normal, aproximadamente el 68% se encuentran dentro de una desviación estándar de 1 a ambos lados de la media. La desviación estándar es la raíz cuadrada de la distancia cuadrada promedio de los valores desde la media
--------------	---

- **Condicionales:** La distribución normal se utiliza cuando se dan las siguientes condiciones:
  - El valor de la media es el más probable.
  - Es simétrica respecto a la media.
  - Hay más probabilidad de que se aproxime a la media de que se aleje.

**1.3.2. Distribución triangular.** La distribución triangular es continua. Describe una situación en la que se conocen los valores mínimos, máximo y más probables asignados en sus respectivos picos como lo ilustra la ilustración 2. Resulta útil con datos limitados en situaciones como estimaciones de ventas, número de vehículos vendidos en una semana, números de inventario y costes de marketing. Por ejemplo, podría describir el número de vehículos vendidos por semana cuando las ventas anteriores muestran el número mínimo, máximo y habitual de vehículos vendidos.

**Ilustración 2. Comportamiento básico de la distribución estadística triangular.**

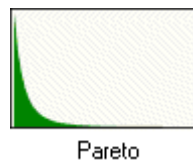


Fuente: Página oficial oracle crystal ball

- **Parámetros:** Mínimo, Más probable y Máximo.
- **Condicionales:** La distribución triangular se utiliza cuando se dan las siguientes condiciones:
  - a) Cuando el mínimo y el máximo son fijos.
  - b) Tiene un valor más probable en este rango, el cual conforma un triángulo con el mínimo y el máximo.

**1.3.3. Distribución pareto.** La distribución de Pareto como lo indica la ilustración 3 es continua. Se suele utilizar en la investigación de otras distribuciones asociadas con fenómenos empíricos, como tamaños de poblaciones de ciudades, cantidad de recursos naturales, tamaño de empresas, ingresos personales, fluctuaciones de precios de acciones y errores en circuitos de comunicación.

**Ilustración 3. Comportamiento básico de la distribución estadística pareto.**



Fuente: Página oficial oracle crystal ball

- **Parámetros:** Ubicación, Forma

**Nota:** El parámetro Ubicación es el límite inferior de la variable. Tras seleccionar el parámetro Ubicación, podrá estimar el parámetro Forma. El parámetro Forma es un número mayor que 0. Normalmente mayor que 1. Cuanto mayor sea el parámetro Forma, menor será la varianza y más gruesa la cola derecha de la distribución.

**1.3.4. Distribución uniforme.** La distribución uniforme es continua. En la distribución uniforme se conoce el rango entre los valores mínimo y máximo y se sabe que todos los valores en el rango tienen la misma probabilidad de

producirse como se indica en la ilustración 4. Se puede utilizar para describir una valoración inmobiliaria o una fuga en una tubería.

**Ilustración 4. Comportamiento básico de la distribución estadística uniforme.**

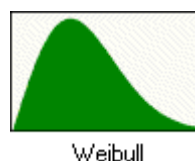


Fuente: Página oficial oracle crystal ball

- **Parámetros:** Mínimo, Máximo
- **Condicionales:** La distribución uniforme se utiliza cuando se dan las siguientes condiciones:
  - a) El mínimo es fijo.
  - b) El máximo es fijo.
  - c) Todos los valores en el rango tienen la misma probabilidad de producirse.
  - d) La distribución uniforme discreta es el equivalente discreto de la distribución uniforme.

**1.3.5. Distribución Weibull.** Es continua además describe los datos resultantes de las pruebas de desgaste y se puede utilizar para describir momentos de error en estudios de fiabilidad o resistencia de materiales en pruebas de fiabilidad y control de calidad. Las distribuciones de Weibull se utilizan también para representar diferentes cantidades físicas, como la velocidad del viento un ejemplo del tipo de gráfica se observa en la ilustración 5.

**Ilustración 5. Comportamiento básico de la distribución estadística weibull.**



Fuente: Página oficial oracle crystal ball

- **Parámetros:** Ubicación, Escala, Forma
- **Condicionales:** Esta distribución flexible puede asumir las propiedades de otras distribuciones. Cuando el parámetro de forma es igual a 1,0, la distribución de Weibull es idéntica a la distribución exponencial. El parámetro de ubicación permite establecer una distribución exponencial para empezar en una ubicación distinta a 0,0. Cuando el parámetro de forma es menor que 1,0, la distribución de Weibull se convierte en una curva muy pendiente hacia abajo. Un fabricante puede encontrar útil este efecto para describir errores de piezas durante el periodo de quemado inicial.

Cuando los parámetros de forma equivalen a 1, es idéntica a la distribución exponencial; cuando son iguales a 2, es idéntica a la de Rayleigh.

**1.3.6. Distribución Beta.** Que se observa en la ilustración 6 es continua y se utiliza normalmente para representar variabilidad en un rango fijo. Puede representar incertidumbre en la probabilidad de que se produzca un evento. Se utiliza también para describir datos empíricos y predecir el comportamiento aleatorio de porcentajes y fracciones y se puede utilizar para representar la fiabilidad de los dispositivos de una empresa.

**Ilustración 6. Comportamiento básico de la distribución estadística bet.a**



Beta

Fuente: Página oficial oracle crystal ball

<b>Nota:</b>	Los modelos que utilizan distribuciones beta se ejecutarán más lentamente debido a los cálculos de parámetros alternativos y CDF inversa que tienen lugar cuando se gestionan números aleatorios como parte de las distribuciones beta.
--------------	---

- **Parámetros:** Mínimo, Máximo, Alfa, Beta
- **Condicionales:** La distribución beta se utiliza cuando se dan las siguientes condiciones:

a) El rango mínimo y máximo debe estar comprendido entre 0 y un valor positivo.

**1.3.7. Distribución extremo mínimo.** Es continua. Se suele utilizar para describir el valor más pequeño de una respuesta a lo largo de un periodo de tiempo como lo indica el gráfico de la ilustración 7; por ejemplo, las precipitaciones durante un periodo de sequía. Esta distribución está estrechamente relacionada con la distribución del extremo máximo.

**Ilustración 7. Comportamiento básico de la distribución estadística min extreme.**



Fuente: Página oficial oracle crystal ball

- **Parámetros:** Más probable, Escala

<b>Nota:</b>	Tras seleccionar el parámetro Más probable, se puede estimar el parámetro Escala. El parámetro Escala es un número mayor que 0. Cuanto mayor sea el parámetro Escala, mayor será la varianza.
--------------	---

**1.3.8. Distribución extremo máximo.** es continua. Se suele utilizar para describir el valor más alto de una respuesta a lo largo de un periodo de tiempo; por ejemplo, en inundaciones, precipitaciones y terremotos. Entre otras aplicaciones se incluyen resistencia de materiales, diseño de construcciones y cargas y tolerancias de aeronaves. Esta distribución de la ilustración 8 se conoce

también como distribución de Gumbel, y está estrechamente relacionada con la distribución del extremo mínimo, su "imagen simétrica".

### **Ilustración 8. Comportamiento básico de la distribución estadística max extreme.**



Fuente: Página oficial oracle crystal ball

- **Parámetros:** Más probable, Escala.

<b>Nota:</b>	Tras seleccionar el parámetro Más probable, se puede estimar el parámetro Escala. El parámetro Escala es un número mayor que 0. Cuanto mayor sea el parámetro Escala, mayor será la varianza.
--------------	---

**1.3.9. Distribución logística.** es continua. Se suele utilizar para describir el crecimiento (el tamaño de una población expresado como función de una variable de tiempo). Se puede utilizar también para describir reacciones químicas y el curso de crecimiento de una población o un individuo debido a la practicidad del tipo de gráfico ilustrado en la ilustración 9.

### **Ilustración 9. Comportamiento básico de la distribución estadística Logistic.**



Fuente: Página oficial oracle crystal ball

- **Parámetros: Media, Escala**

<b>Nota:</b>	El parámetro de media es el valor promedio, el cual, en esta distribución, es el mismo que el modo, ya que se trata de una distribución simétrica. Tras seleccionar el parámetro de media, se puede estimar el parámetro de escala. El parámetro de escala es un número mayor que 0. Cuanto mayor sea el parámetro de escala, mayor será la varianza.
--------------	---

#### **1.4. PERCENTILES<sup>5</sup>**

Un percentil es una de las llamadas medidas de posición no central (cuartiles, deciles, quintiles, percentiles, etc.) que se puede describir como una forma de comparación de resultados, por ello es un concepto ampliamente utilizado en campos como la estadística o el análisis de datos. El percentil es un número de 0 a 100 que está muy relacionado con el porcentaje pero que no es el porcentaje en sí. Para un conjunto de datos, el percentil para un valor dado indica el porcentaje de datos que son igual o menores que dicho valor; en otras palabras, nos dice dónde se posiciona una muestra respecto al total.

#### **1.5. ESTUDIO ECONÓMICO<sup>6</sup>**

El estudio económico financiero conforma la tercera etapa de los proyectos de inversión, en el que figura de manera sistemática y ordenada la información de carácter monetario, en resultado a la investigación y análisis efectuado en la etapa anterior; estudio técnico, que será de gran utilidad en la evaluación de la rentabilidad económica del proyecto.

---

<sup>5</sup> CURIOSOANDO Que son los percentiles, ciencia y tecnología (en línea), 5 de julio 2017, disponible en internet: <https://curiosoando.com/que-son-los-percentiles>

<sup>6</sup> ACADEMIA Análisis económico y financiero, unidad 4 (en línea), 5 de julio de 2017, disponible en internet: [http://www.academia.edu/7153316/UNIDAD\\_4\\_ANALISIS\\_ECONOMICO\\_Y\\_FINANCIERO](http://www.academia.edu/7153316/UNIDAD_4_ANALISIS_ECONOMICO_Y_FINANCIERO)

## **1.6. UMBRAL DE RENTABILIDAD**

Por umbral de rentabilidad entendemos aquel punto a partir del cual la venta de una unidad más de producto genera beneficios para la sociedad.<sup>7</sup> Así pues como contrapartida podremos afirmar que el umbral de rentabilidad es equivalente al número de unidades con las que cubrimos los costes totales de producción.

Otra forma de definir el punto muerto o umbral de rentabilidad es como aquella cifra de ventas o unidades facturadas que permiten cubrir la totalidad de los costes fijos de la sociedad.

## **1.7. VARIABLES DISCRETAS**

Una variable discreta es una variable que no puede tomar algunos valores dentro de un mínimo conjunto numerable, quiere decir, no acepta cualquier valor, únicamente aquellos que pertenecen al conjunto. Estas variables se dan de modo coherente separaciones entre valores observables sucesivos. Dicho con más rigor, se determina una variable discreta como la variable que hay entre dos valores observables (potencialmente), hay por lo menos un valor no observable (potencialmente).

## **1.8. VARIABLES CONTINUAS**

Una variable continua puede tomar un valor fijo dentro de un intervalo determinado. Y siempre entre dos valores observables va a existir un tercer valor intermedio que también podría tomar la variable continua. Una variable continua toma valores a lo largo de un continuo, esto es, en todo un intervalo de valores.

---

<sup>7</sup> AREA DE PYMES Análisis del umbral de rentabilidad, umbral de rentabilidad y procedimiento de cálculo, (en línea), 5 de julio de 2017, disponible en internet: <http://www.areadepymes.com/?tit=analisis-del-umbral-de-rentabilidad-umbral-de-rentabilidad-procedimiento-de-calculo&name=Manuales&fid=edcbcaa>

Un atributo esencial de una variable continua es que, a diferencia de una variable discreta, nunca puede ser medida con exactitud; el valor observado depende en gran medida de la precisión de los instrumentos de medición. Con una variable continua hay inevitablemente un error de medida.

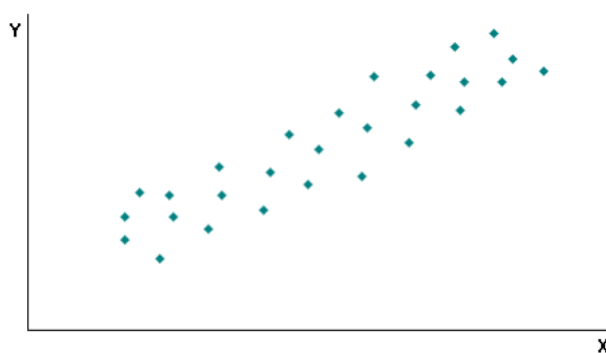
## 1.9. CORRELACIÓN Y DISPERSIÓN <sup>8</sup>

Es una herramienta gráfica que permite demostrar la relación existente entre dos clases de datos y cuantificar la intensidad de dicha relación. Se utiliza para conocer si efectivamente existe una correlación entre dos magnitudes o parámetros de un problema y, en caso positivo, de qué tipo es la correlación.

### 1.9.1. ¿Cómo se interpreta?

- **Correlación positiva:** A un crecimiento de X (causa) corresponde un crecimiento de Y (efecto). Controlando la evolución de los valores de X, quedan controlados los valores de Y

#### Ilustración 10. Gráfico de correlación positiva.



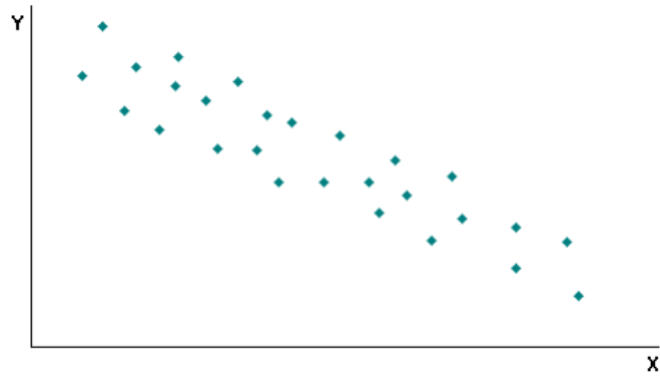
Fuente: Doménech José, calidad “diagrama de correlación”.

---

<sup>8</sup>DOMÉNECH ROLDAN José Manuel, Diagramas de correlación y dispersión 2015, p. 2-4

- **Correlación negativa:** A un crecimiento de X se observa una tendencia a disminuir de Y, Figura siguiente.

**Ilustración 11. Gráfico de correlación negativa.**



Fuente: Doménech José, Calidad “diagrama de correlación”.

## 2. SIMULACIÓN DE MONTECARLO Y CRISTALL BALL

### 2.1. SIMULACIÓN

Es un régimen de modelos bastante utilizado en diferentes ámbitos, con el fin de adquirir información que permita un estudio o análisis acertado sobre la aplicación de un proyecto, a través del desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, de manera que se obtenga una imitación de un proceso del método a implementar teniendo en cuenta el tiempo.

La simulación involucra la generación de una historia artificial del sistema y la observación de esta historia mediante la manipulación experimental; además, nos ayuda a inferir las características operacionales de tal sistema. Consecuentemente resulta que la simulación es uno de los procesos cuantitativos más utilizados en la toma de decisiones, pues sirve para aprender lo relacionado con un sistema real mediante la experimentación con el modelo que lo representa.<sup>9</sup>

Permite construir un contexto con la información proporcionada del uso de métodos y tecnología alternativa empleados por software especializados, certificando las variables que tendrán un efecto significativo en la toma de decisiones, logrando así formar un esquema aplicativo en la realidad disminuyendo los factores negativos. De acuerdo con Azofeifa<sup>10</sup>, los modelos de simulación son esenciales y presentan características que permite distinguirse de los modelos convencionales, debido a que son elaborados con el objetivo de evaluar diferentes circunstancias del medio para la comparación de resultados. Suelen enfocarse en operaciones físicas y financieras, analizándose el funcionamiento con el trascurso del tiempo y los efectos de cada periodo,

---

<sup>9</sup> AZOFEIFA, C. E. Aplicación de la simulación Monte Carlo en el cálculo de riesgo usando Excel. Tecnología en Marcha 2004 (p.97).

<sup>10</sup> Ibíd. p.99

además los modelos incluyen elementos probabilísticos que contienen ejemplos tanto numérico como análisis de riesgo denominado normalmente como Simulación de método Montecarlo.

## **2.2. MODELO DE SIMULACIÓN**

Un modelo es una representación formal de un sistema real, con el que se pretende hacer predicciones y ayudar a su control dentro los cuales se encuentran tres categorías como: físicos que son descritos por variables medibles, análogos o diagrama de flujo y simbólicos referenciados por presentar un comportamiento matemático, lingüístico o esquemático.

Los modelos matemáticos o cuantitativos son descritos por un conjunto de símbolos y relaciones lógico–matemáticas. Para la construcción de un buen modelo es necesario contar con leyes que describan el comportamiento del sistema. También es importante la experiencia, la intuición, la imaginación, la simplicidad y la habilidad para seleccionar el subconjunto más pequeño de variables.

Es de vital importancia reconocer previamente los riesgos a analizar, para lograr un modelo apropiado los cuales son identificados con un conocimiento significativo sobre los valores que intervienen y como varían, por esta razón es necesario tener presente ciertos procedimientos para realizar un estudio aplicado. El primer paso es establecer el problema en forma clara y lógica delimitando sus fronteras; luego viene la recogida y depuración de datos; el diseño del experimento; las pruebas de contrastes; la verificación del modelo y la validación de las hipótesis.

El modelo en el software Cristal Ball referencia el desarrollo de datos, funciones o formulas, que se ejecutan en una hoja de cálculo, permitiendo definir variables

para su respectivo análisis o rango de aplicación que otros programas por restricciones presenta una dispersión de datos.

### **2.3. SIMULACIÓN DE MONTECARLO<sup>11</sup>**

El uso real de los métodos de Montecarlo como una herramienta de investigación, proviene del trabajo de la bomba atómica durante la Segunda Guerra Mundial. Este trabajo involucraba la simulación directa de problemas probabilísticos de hidrodinámica concernientes a la difusión aleatoria de neutrones en material de fusión.

Aún en la primera etapa de estas investigaciones, John Von Neumann y Stanislaw Ulam refinaron esta simulación directa con ciertas técnicas, en particular “La Ruleta rusa”, dando uso a esta técnica ya que los problemas eran complicados para tratarse analíticamente y muy costosos y peligrosos para resolverse por medio de la experimentación física. El nombre que escogieron parece bastante apropiado, puesto que el principio básico es el mismo que se encuentra en operación en el casino de Mónaco; se emplean mecanismos o dispositivos para producir muestras al azar de poblaciones bien definidas, como por ejemplo la ruleta, los dados, o la baraja.

La posibilidad de aplicar el Método de Montecarlo a los problemas determinísticos fue notada por Fermi, Von Neumann y Ulam y fue popularizada por ellos en los años de postguerra inmediatos. Aproximadamente 1948 Fermi, Metrópoli y Ulam obtuvieron estimaciones con el método de Montecarlo para los auto valores de la ecuación de Schrödinger.

El Dr. Stephen Brush (del Laboratorio de la Radiación a Livermore), quien tiene un interés particular en la historia de la matemática, ha desenterrado un artículo

---

<sup>11</sup> OROZCO Fernando, ROCHA Nelso, “determinación de potenciales en pozos horizontales y desviados para flujo en dos fases usando una herramienta software en simulación Montecarlo. 2008, p.113

de Kelvin, increíblemente moderno de las técnicas de Montecarlo, en el que hace 60 años aparece una discusión de la ecuación de Boltzmann. Parece completamente correcto y apropiado que Ulam, Von Neumann, y Fermi deben tomar el crédito por redescubrir independientemente no sólo los Métodos Montecarlo sino también de asegurar que sus colegas científicos se dieran cuenta de las posibilidades, potencialidades, y las aplicaciones.

En el ámbito empresarial es importante la aplicación de este tipo de simulación, ya que permite obtener datos estadísticos o financieros imposibles de calcular debido al porcentaje de incertidumbre que se presentan. “El método de Montecarlo es un procedimiento numérico que permite aproximar la resolución de expresiones matemáticas complejas, con las que resulta difícil o casi imposible encontrar resultados exactos”<sup>12</sup>.

La simulación de Montecarlo se fundamenta en la elaboración de un modelo numerico sobre el proceso que se desea implementar, estableciendo las variables que presenta un sistema aleatorio como resultado, logrando determinar el rumbo general del estudio. Segun Faulin & Juan<sup>13</sup>, en su articulo mencionan que el método de simulación consiste en (1) generar –con ayuda del ordenador muestras aleatorias o valores concretos y (2) analizar el comportamiento del sistema ante los valores generados. Tras repetir  $n$  veces este experimento, dispondremos de  $n$  observaciones sobre el comportamiento del sistema, lo cual nos será de utilidad para entender el funcionamiento del mismo –obviamente, nuestro análisis será tanto más preciso cuanto mayor sea el número  $n$  de experimentos que se lleve a cabo.

Básicamente Método de Montecarlo radica en un modelo experimental que busca predecir el comportamiento de las variables que influye en los resultados finales cuyo propósito depende en gran medida de los datos iniciales que se

---

<sup>12</sup> CONESA, E. GARRIDO, A. “simulación por el método de Monte Carlo para generar criterios de aceptación en el control de calidad de construcción. Cartagena España, 2009 (p. 77).

<sup>13</sup> FAULIN, J, Juan, A. Simulación de Monte Carlo con Excel. UOC, 2005.

utilicen para general el proceso, basándose en sistema de muestro aleatorio en programas especializados para esta función como Cristal Ball

**2.3.1. Características básicas.** Existen características básicas o beneficios prácticos que complementa el estudio que se ejecuta con el método de Montecarlo. Permite que varios inputs sean utilizados al mismo tiempo para acceder a una distribución de posibilidades de uno o varios datos de salida; también accede a diferentes tipos de distribuciones de probabilidad que pueden ser asignadas a las variables del modelo. Si no se distingue la distribución, la manera de representar un ajuste pertinente es por medio del uso del número 1. Así mismo otra sección es la de los números aleatorios que caracterizan la simulación como un método de tipo estocástico por esta razón los números deben ser aleatorios, independientes y sin correlación entre sí y por último la simulación MC genera rangos de valores pertinentes con su respectiva cantidad de incertidumbre y viabilidad de ejecución, en lugar de un valor fijo.

**2.3.2. El algoritmo para implementar una simulación montecarlo.** La aplicación práctica-teórica de la simulación Montecarlo se basa en un algoritmo puro, establecido debido a la adjudicación de frecuencias acumuladas de los resultados generados. Sin embargo, se formulan 2 opciones que permite la viabilidad de los procesos. Orozco & Rocha<sup>14</sup> menciona los parametros correspondientes a la primera alternativa, teniendo en cuenta que en la realizacion del paso uno y dos se requiere iterar tantas veces para adquirir la cantidad necesaria para una excelente base de informacion.

- Determinar la/s variables aleatorias y sus distribuciones acumuladas (F)
- Generar un número aleatorio uniforme  $\in (0,1)$ .
- Determinar el valor de la Variable Aleatoria para el número aleatorio generado de acuerdo a las clases que tengamos.

---

<sup>14</sup> OROZCO Fernando, ROCHA Nelso, “determinación de potenciales en pozos horizontales y desviados para flujo en dos fases usando una herramienta software en simulación Montecarlo. 2008, p.116

- Calcular media, desviación estándar error y realizar el histograma.
- Analizar resultados para distintos tamaños de muestra.

Cuando las variables aleatorias no pertenecen al resultando final; presentan ambigüedad o existen correlaciones entre ellas, es “oportuno desarrollar la otra opción para trabajar con Montecarlo”<sup>15</sup>.

- Diseñar el modelo lógico de decisión
- Especificar distribuciones de probabilidad para las variables aleatorias relevantes.
- Incluir posibles dependencias entre variables, muestrear valores de las variables aleatorias.
- Calcular el resultado del modelo según los valores del muestreo (iteración) y registrar el resultado.
- Repetir el proceso hasta tener una muestra estadísticamente representativa.
- Obtener la distribución de frecuencias del resultado de las iteraciones.
- Calcular media, desvío.
- Analizar los resultados.

## **2.4. SIMULACIÓN MONTECARLO CON CRYSTAL BALL**

Cuando el método Montecarlo se ejecuta a través de un software especializado como Crystal Ball brinda resultados con un mayor rango de certidumbre, basado en el tipo de variables aplicadas y determinadas inicialmente, originando una mayor facilidad técnica en el desarrollo, permitiendo a su vez un análisis más detallado y puntual sobre las decisiones del proyecto a tomar. “La técnica denominada MC simulada en el programa Crystal Ball pronostica todos los resultados posibles para una situación determinada. Así mismo, muestra los

---

<sup>15</sup> OROZCO Fernando, ROCHA Nelso, “determinación de potenciales en pozos horizontales y desviados para flujo en dos fases usando una herramienta software en simulación Montecarlo. 2008.

niveles de confianza, de manera tal, que se podrá conocer la probabilidad de que ocurra cualquier evento específico”<sup>16</sup>.

El funcionamiento y uso del software Cristal Ball consiste en el desarrollo metodológico de la simulación Montecarlo con un análisis estadístico mediante la compresión de histogramas, y distribuciones de probabilidad.

Leon Sanchez, Quintero, & Zuluaga Muñoz<sup>17</sup>. Menciona que “Crystal Ball extiende la capacidad de pronosticar modelos sobre la hoja de cálculo de Excel y provee la información necesaria para que el usuario del software pueda llegar a ser más eficiente en la toma de decisiones”. De modo, que todos los supuestos que se ingresen al modelo son expresados al mismo tiempo. Además, usando el proceso de Simulación Montecarlo, Crystal Ball arroja resultados en un cuadro de pronósticos que muestra el rango entero de posibles valores y la probabilidad de alcanzar cualquiera de ellos.

## **2.5. CRYSTAL BALL**

El software “Crystal Ball es un programa de análisis de riesgo y de pronóstico orientado a través de gráficos, siendo de fácil manipulación y destinado a reducir la incertidumbre en la toma de decisiones”<sup>18</sup>. Este programa permite a la empresa o personal obtener un perfil de predicción sobre el riesgo que conlleva la ejecución del proyecto bajo ciertos parámetros y condiciones, haciendo que la toma de decisiones sea un poco más práctica, teniendo en cuenta los resultados adquiridos por las variables desarrolladas con su respectivo análisis, el objetivo es buscar una optimización tanto en costo, tiempo, utilización de material o productos, ya sea en el área de perforación con el manejo de tratamiento de fluidos u otro ámbito basándose en la metodología Montecarlo.

---

<sup>16</sup> DECISIONEERING, INC. Crystal Ball 7.2 Guía de inicio, Denver (2006), p. 7

<sup>17</sup> LEON SANCHEZ, D.P, QUINTERO, I, M. ZULUAGA MUÑÑOZ, W. Crystal Ball. Bogotá D.C. Universidad Nacional De Colombia 2004 (p.18).

<sup>18</sup> DECISIONEERING, INC. Crystal Ball 7.2 Guía de inicio, Denver (2006), p. 8

Mediante la simulación en el software y el método MC, el profesional será capaz de responder cuestiones importantes sobre el estudio, corroborar si el presupuesto está dentro del rango económico tanto en la construcción de la infraestructura como procesos a desarrollar, asimismo la posibilidad de culminar el proyecto con altos estándares en un tiempo definido y por ultimo las probabilidades de alcanzar un máximo de rentabilidad que es lo esencial para cualquier análisis de la industria petrolera.

El programa es ideal para elaborar sistemas con aplicación en la sección financiera, estadística y económica. Reduciendo los riesgos y disminuyendo la incertidumbre presente en un contexto de mercadeo muy dinámico.

Crystal Ball es sencillo de utilizar como de interpretar los resultados si se realiza con las variables correspondientes. Así mismo el programa está dirigido a todas aquellas personas que necesiten tomar decisiones referentes a un proyecto, posiblemente científicos, ingenieros, negociantes, economistas etc. Para un mejor desempeño por parte del beneficiario, el software Oracle Crystal Ball presenta un manual como guía autorizado por Decisioneering<sup>19</sup> donde menciona que el programa ha sido desarrollado teniendo presente una amplia gama de usuarios y usos en hojas de cálculos, por ende no es obligatorio adquirir un extenso conocimiento calificado sobre financiamiento o computación; solo se requiere la capacidad de elaborar los modelos de hojas de cálculo.

En general se busca que el usuario conozca las herramientas básicas y se familiarice con ellas, ya que su operación correcta implica que él o ella logre comunicarle al programa que variables específicas desea pronosticar, a partir de un determinado conjunto de elementos probabilísticos descritos mediante distribuciones de densidad<sup>20</sup>

---

<sup>19</sup> DECISIONEERING, INC. Crystal Ball 7.2 Guía de inicio, Denver 2006

<sup>20</sup> LEON SANCHEZ, D.P, QUINTERO, I, M. ZULUAGA MUÑOZ, W. Crystal Ball. Bogotá D.C. Universidad Nacional De Colombia 2004 (p.7).

**2.5.1. Procedimiento básico.** Para desarrollar un análisis acertado de los datos obtenidos del software especializado, se debe conocer un procedimiento básico, que se enfoca en determinar las variables en consideración de supuesto, decisión o previsión. Datos que son asignados como variables de entrada los cuales permiten la solución del proceso de simulación y un estudio eficiente de los resultados obtenidos.

Crystal Ball es un medio analítico que mediante un sencillo procedimiento y manejo de herramientas, beneficia a ejecutivos o profesionales a través de la aplicación de simulación de modelos o métodos asociados en una hoja de cálculo, que enseña los pronósticos, registra áreas de riesgo y evalúa la información creando bloques de ideas verificadas bajo las decisiones consecuentes al objetivo que se desea alcanzar. El manual guía original Decisioneering<sup>21</sup>, indica 3 pasos básicos para utilizar la aplicación.

- a) Diseñar un modelo que refleje un escenario incierto.
- b) Ejecutar una simulación sobre el modelo
- c) Análizar los resultados.

El funcionamiento de Crystal Ball se basa principalmente en abrir o diseñar un modelo dentro del software, para la aplicación de una simulación con el beneficio que brinda las múltiples opciones de herramientas que presenta en la sección definir y ejecutar, los cuales establecen los supuestos de cada variable de previsión compuesta por la ecuación establecida por las condiciones del proyecto y el número de iteraciones de la simulación final para obtener los resultados con su respectivo análisis en un cuadro de histogramas y frecuencias.

El principal planteamiento de la aplicabilidad de Crystal Ball es aligerar las operaciones de pronósticos y probabilidades de la simulación con el método Montecarlo, no obstante es importante percibir que el programa no “trata de tomar las decisiones por quien analiza el problema, sino de servir de soporte

---

<sup>21</sup> DECISIONEERING, INC. Crystal Ball 7.2 Guía de inicio, Denver (2006),

para el procesamiento y análisis de datos para convertirlos en información útil en la toma de decisiones”<sup>22</sup>

Para estudiar y observar los resultados adquiridos de la simulación León Sánchez et al<sup>23</sup>. Dicen que “cada modelo de la hoja de cálculo se tiene un sistema de salidas importantes, tales como totales de beneficios netos, o costos, que se deseen simular y analizar”. Resaltando que el programa Crystal tiene como función encargarse de recordar los valores de cada pronóstico estipulado de los ensayos realizados, además permite definir las celdas mencionadas junto con los pronósticos tantas veces como se requiera para que el estudio sea eficiente.

**2.5.2. Crystal Ball y microsoft office excel.** Las hojas de cálculo de Excel son excelentes herramientas para el análisis, pero su aplicación original tiene muchas limitaciones. Crystal Ball mejora el rendimiento de Excel y permite establecer valores inciertos para diferentes celdas, así como calcular su efecto en cada variable<sup>24</sup>. Para esto Crystal Ball adiciona una nueva barra de herramientas a Excel.

Las hojas de cálculo de Excel son excelentes herramientas para el análisis, pero en su aplicación original tienen muchas limitaciones. La mayor limitación de Excel es que esta, solo permite asignar un valor simple a cada celda; de modo que para crear escenarios se debe cambiar manualmente el valor de cada una. Otra desventaja es que solamente se puede modificar una hoja de cálculo por vez. Como consecuencia, explorar el rango entero de posibles resultados es casi imposible; no se podrá, en forma realista, determinar la magnitud del riesgo que afecta sus resultados finales. El análisis “¿Qué sucedería sí?” siempre termina en estimativos independientes los cuáles no indican la probabilidad que se tiene de alcanzar un resultado en particular. A pesar de que los estimativos

---

<sup>22</sup> LEON SANCHEZ, D.P, QUINTERO, I, M. ZULUAGA MUÑÑOZ, W. Crystal Ball. Bogotá D.C. Universidad Nacional De Colombia 2004 (p.10).

<sup>23</sup> *Ibíd.* p.13

<sup>24</sup> DECISIONEERING, INC. Crystal Ball 7.2 Guía de inicio, Denver 2006, p. 6

independientes podrán indicarle qué es posible, no podrán informar qué es probable.

**2.5.3. ¿Cuáles son los beneficios de realizar un análisis de riesgo con Crystal Ball?** “Cero conjeturas: como ya se había mencionado anteriormente, los riesgos ocultos o no planteados dentro de un modelo conducen a menudo a errores que implican grandes costos para las empresas”<sup>25</sup>. Crystal Ball al ofrecer una simulación explorando diferentes escenarios con características estipuladas para cada una, permite determinar eficientemente los riesgos y acorde a una posible realidad, logrando ilustrar una comprensión más amplia de la incertidumbre inherente al modelo.

No existen limitaciones con la hoja de cálculo de Excel: mediante la simulación de Montecarlo se pueden analizar múltiples escenarios sin necesidad de crear varias hojas de cálculo o estimar una sola variable, como sería si no se contara con la herramienta de Cristal Ball.

Con el análisis de sensibilidad de Cristal Ball se conocen los factores que realmente conducen a los resultados obtenidos por la simulación, mostrando información pertinente para la realización del proyecto o replanteamiento del modelo.

**2.5.4. ¿Qué es un supuesto?** En cualquier modelo dentro de una hoja de cálculo existen factores o variables que pueden ser inciertas. Debido a las limitaciones de Excel para usar valores sencillos en cada celda, es necesario usar un promedio o valor estimado para cada variable incierta, En lugar de estimar valores, Crystal Ball crea distribuciones de probabilidad o “supuestos” que representan el rango y la probabilidad de los valores posibles para cada variable. Estas distribuciones de probabilidad ofrecen una opción simple y gráfica

---

<sup>25</sup> LEON, QUINTERO, ZULUAGA, Crystal Ball, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2004 P. 15

de describir la incertidumbre alrededor de un valor en un modelo. Cada distribución tiene su propia forma de parámetros.

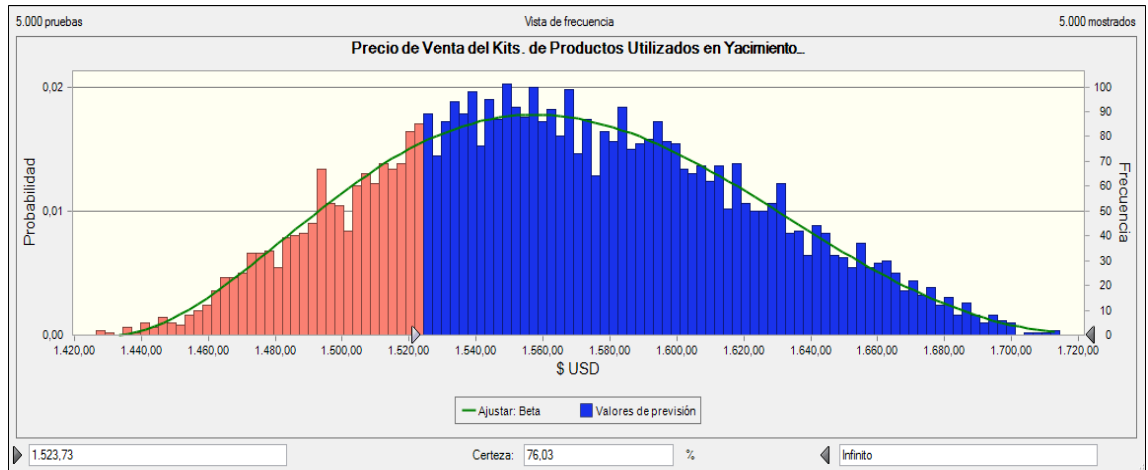
El primer paso para definir un supuesto es determinar cuáles de las variables del modelo son inciertas, es decir, establecer que tan confiable es el valor de cada entrada.

**2.5.5. ¿Cómo definir un pronóstico?** Se le debe indicar a cristal Ball las celdas a monitorear. Esta salida o pronóstico son celdas que contienen fórmulas que son afectadas por las celdas-supuestos. Un pronóstico es una variable de interés, que se intenta calcular; tales como ganancias netas, valor presente neto, capacidad de pago.

Se pueden definir tantos pronósticos en el software como se requiera; igualmente el programa mientras aplica la simulación de cada celda asignada de acuerdo a cada iteración, almacena todos los valores de pronóstico y al finalizar se pueden analizar estos resultados de rendimiento, para encontrar el nivel de riesgo que presenta el modelo.

El gráfico de pronósticos revela el rango total de los resultados como, pérdidas o ganancias pronosticados para la cantidad de iteraciones establecida de acuerdo al diseño del problema. Cada una de las barras del gráfico representa la probabilidad de obtener un ingreso, utilidad o falencia determinada. Para un ejemplo general se presenta la ilustración 13 donde el grupo de columnas ubicadas en el centro de la gráfica indican que el costo más probable de percibir varía entre los \$1500 y \$1600 USD. Se debe tener en cuenta que hay una pequeña posibilidad de que se pierda (extremo derecho del rango de exhibición) o de que gane más de lo usual para cualquier ejemplo diseñado. (manual cristal Ball)

## Ilustración 12. Ejemplo de un cuadro de pronósticos Crystal Ball



### **3. FLUIDOS DE PERFORACIÓN**

#### **3.1. FLUIDOS DE PERFORACIÓN**

Los fluidos de perforación cumplen varias funciones como: controlan las presiones de formación, remueven los recortes del pozo, sellan las formaciones permeables encontradas durante la perforación, enfrían y lubrican la broca, transmiten la energía hidráulica a las herramientas de fondo de pozo y a la broca de perforación; quizás lo más importante es que mantienen la estabilidad y el control del pozo. Aludido a menudo como “lodo,” el fluido de perforación fue introducido por primera vez alrededor del año 1913 para el control de la presión del subsuelo.

Las décadas de 1920 y 1930 fueron testigo del surgimiento de las primeras compañías estadounidenses especializadas en la distribución, desarrollo e ingeniería de los fluidos y componentes de perforación. En las décadas siguientes, las compañías de fluidos de perforación introdujeron desarrollos en materia de química, mediciones e ingeniería de procesos, que produjeron mejoras significativas en la eficiencia de la perforación y la productividad de los pozos. Las composiciones de los fluidos de perforación varían según las exigencias del pozo, las capacidades de los equipos de perforación y los asuntos ambientales. Los ingenieros diseñan los fluidos de perforación para controlar las presiones del subsuelo, minimizar el daño de la formación, minimizar la posibilidad de pérdida de circulación, controlar la erosión del pozo y optimizar los parámetros de perforación, tales como la velocidad de penetración y la limpieza del pozo. Además, dado que un gran porcentaje de los pozos modernos está representado por pozos altamente desviados, los sistemas de fluidos de

perforación deben ayudar a manejar los problemas de limpieza y estabilidad específicos de estos pozos.<sup>26</sup>

### 3.1.1. Propiedades de los fluidos de perforación<sup>27</sup>.

- **Densidad:** Es la relación entre la masa y el volumen de un cuerpo. En la industria petrolera se usa como el peso por unidad de volumen y se expresa en libras por galón (Lbs/gal), libras por pie cúbicos (Lbs/pc), libras por barril (Lbs/Bls), entre otros.

### 3.1.2. Propiedades reológicas<sup>28</sup>.

- **Viscosidad:** Es la resistencia al flujo de una sustancia.
- **Velocidad de corte:** La velocidad de corte, es igual a la velocidad Rotacional ( $\omega$ ). Depende de la velocidad medida del fluido en la geometría en que está fluyendo. Por lo tanto, las velocidades de corte son mayores en las geometrías pequeñas (dentro de la columna de perforación) y menores en las geometrías grandes (como la tubería de revestimiento y los espacios anulares). Las velocidades de corte más altas suelen causar una mayor fuerza resistiva del esfuerzo de corte.
- **Esfuerzo de corte:** Es la fuerza requerida para mantener la velocidad de corte. El esfuerzo de corte está expresado en libras de fuerza por cien pies cuadrados (Lb/100 pie)<sup>2</sup>.

---

<sup>26</sup> SCHLUMBERGER, Definición de fluidos de perforación, fundamentos de los fluidos de perforación, Oil Review primavera volumen 25 No 1, Don Williamson Editor colaborador, 2013, p.67.

<sup>27</sup> MSC CRUZ R Alfonso, "Ingeniería de perforación", Tecana american university, Accelerated degree program, Doctorate of science in petroleum, Engineering technology, cabinas 19 febrero de 2009, p.13.

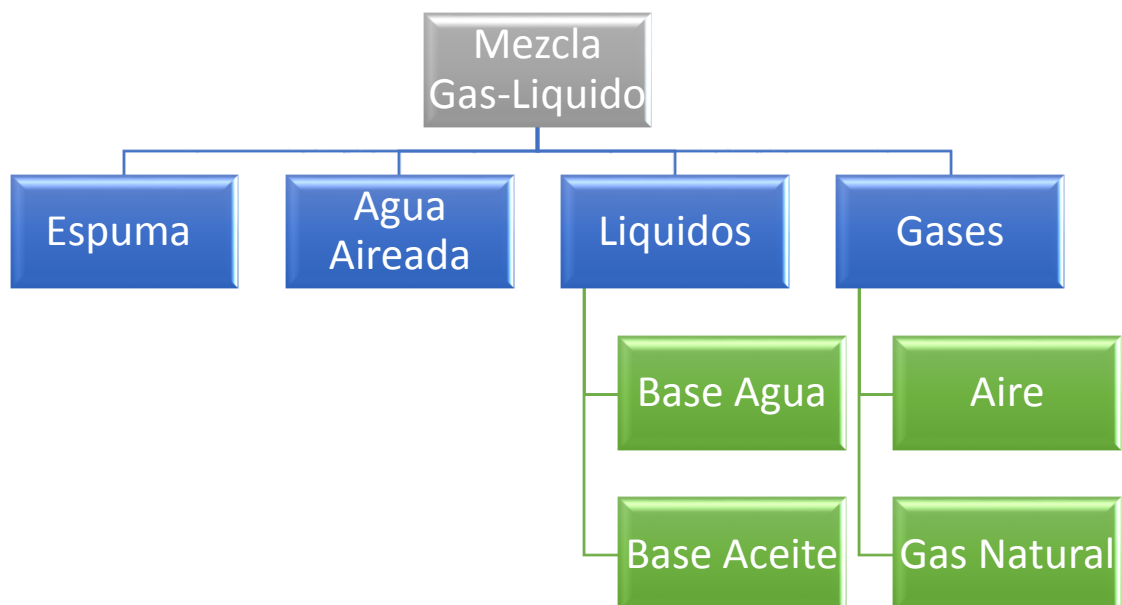
<sup>28</sup> *Ibíd.*, p.14.

- **Viscosidad de embudo:** Se usa como indicador relativo de la condición del fluido. No proporciona suficiente información para determinar las propiedades reológicas o las características de flujo de un fluido.
- **Viscosidad aparente (VA):** Es la viscosidad que un fluido, parece tener en un instrumento dado y a una tasa definida de corte. Está indicada el viscosímetro de lodo a 300 RPM ( $\Theta 300$ ) o la mitad de la indicación del viscosímetro a 600 RPM ( $\Theta 600$ ). Cabe indicar que ambos valores de viscosidad aparente concuerdan con la formula.
- **Viscosidad plástica (VP):** Se describe como la parte de la resistencia al flujo que es causada por la fricción mecánica, es afectada por: la concentración de sólidos, el tamaño y la forma de los sólidos, la viscosidad de la fase fluida, la presencia de algunos polímeros de cadenas largas (POLY-PLUS, hidroxietilcelulosa (HEC), POLYPAC, Carboximetilcelulosa (CMC) y por las relaciones de aceite-agua (A/A) o sintético – agua (S/A) en los fluidos de emulsión inversa. Los cambios de la viscosidad plástica pueden producir considerables cambios en la presión de bombeo.
- **Punto cedente (Pc):** Es una medida de las fuerzas electroquímicas o de atracción en un fluido. Es la parte de la resistencia al flujo que se puede controlar con un tratamiento químico apropiado. También disminuye a medida que las fuerzas de atracción son reducidas mediante el tratamiento químico.
- **Esfuerzos de gel:** La resistencia del gel formado depende de la cantidad y del tipo de sólidos en suspensión, del tiempo, de la temperatura y del tratamiento químico.
- **pH:** Es una medida para expresar la alcalinidad o ácido de un lodo de perforación. Si el  $\text{pH} \geq 7$  el lodo es alcalino y si el  $\text{pH} < 7$  el lodo es ácido. El pH debe ser alcalino para evitar la corrosión.

### 3.2. CLASIFICACIÓN DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN

Los fluidos de perforación se clasifican de acuerdo al tipo de base entre los que se encuentran fluido base agua y fluido base aceite como lo indica la ilustración 13. Si la fase continúa de un lodo es la parte líquida en el cual se encuentra suspendido otro líquido en forma de glóbulos muy pequeños, esto es lo que se conoce con el nombre como fluido base agua. En los lodos base agua, el agua constituye el medio de suspensión para los sólidos y es la fase continúa, haya o no petróleo. Los lodos base aceite constituyen una emulsión de agua en aceite, es decir, una emulsión inversa donde la fase dispersa es el agua y la fase continua al igual que el filtrado, es aceite. El agua no se disuelve o mezcla con aceite, sino que permanece suspendida, actuando cada gota como una partícula sólida.

**Ilustración 13. Clasificación de fluidos de perforación.**



Los principales factores que determinan la selección de fluidos de perforación son:

- Tipos de formaciones a ser perforadas.
- Rango de temperaturas, esfuerzos, permeabilidad y presiones exhibidas por las formaciones.

- Calidad de agua disponible.
- Consideraciones ecológicas y ambientales.

#### **a) Base Agua**

- Consisten en una mezcla de sólidos, líquidos y químicos, con agua siendo la fase continua
- Algunos de los sólidos reaccionan con la fase agua y químicos disueltos, por lo tanto, son llamados sólidos reactivos. La mayoría son hidratables
- Los químicos agregados al lodo restringen la actividad de estos, permitiendo que ciertas propiedades del fluido de perforación se mantengan dentro de límites deseados.
- Los otros sólidos en un lodo no reaccionan con el agua y químicos de manera significativa, siendo llamados sólidos inertes.
- Cualquier aceite que se agregue a un lodo base agua es emulsificador dentro de la fase agua, manteniéndose como pequeñas y discontinuas gotas.

#### **b) Base Aceite**

- Son similares en composición a los lodos base agua, excepto que la fase contiene es aceite en lugar de agua, y gotas de agua están emulsificadas en la fase aceite.
- Todos los sólidos son considerados inertes, debido a que no reaccionan con el aceite.
- Evitan la corrosión a la broca y la sarta
- Evitan problemas de arcillas sensibles.

### **3.3. FUNCIONES BÁSICAS<sup>29</sup>**

---

<sup>29</sup> SCHLUMBERGER, Definición de fluidos de perforación, fundamentos de los fluidos de perforación, Oil Review primavera volumen 25 No 1, Don Williamson Editor colaborador, 2013, p.67.

Los fluidos de perforación son formulados para llevar a cabo una amplia variedad de funciones. Si bien la lista es extensa y variada, las características de rendimiento clave son las siguientes:

- **Control de las presiones de formación:**

El fluido de perforación es vital para mantener el control de un pozo. El lodo es bombeado a través de la sarta de perforación, a través de la barrena y de regreso por el espacio anular. En agujero descubierto, la presión hidrostática ejercida por la columna de lodo se utiliza para compensar los incrementos de la presión de formación que, de lo contrario, producirían el ingreso de los fluidos de formación en el pozo, causando posiblemente la pérdida de control del pozo. Sin embargo, la presión ejercida por el fluido de perforación no debe exceder la presión de fractura de la roca propiamente dicha; de lo contrario, el lodo fluiría hacia la formación; situación que se conoce como pérdida de circulación.

- **Remoción de los recortes del pozo:**

La circulación del fluido de perforación permite llevar los recortes, fragmentos de rocas generados por la barrena a la superficie. Su capacidad de transporte es clave para la eficiencia de la perforación y la minimización del potencial para el atascamiento de la tubería. A fin de lograr este objetivo, los especialistas en fluidos de perforación trabajan con el perforador para balancear cuidadosamente la reología del lodo y la tasa de flujo a los efectos de ajustar la capacidad de transporte y a la vez evitar un valor elevado de densidad de circulación equivalente (ECD); la densidad real del lodo más la caída de presión producida en el espacio anular por encima de un punto dado del pozo. Una ECD alta, no controlada, puede producir incidentes de pérdidas de circulación.

- **Enfriamiento y lubricación de la barrena:**

A medida que el fluido de perforación pasa a través y alrededor del arreglo de perforación rotativo, ayuda a enfriar y lubricar la barrena. La energía térmica es transferida al fluido de perforación, que lleva el calor a la superficie. En ambientes de perforación extremadamente calientes, pueden utilizarse intercambiadores de calor en la superficie para enfriar el lodo.

- **Transmisión de la energía hidráulica a la barrena y las herramientas de fondo de pozo:**

El fluido de perforación es descargado a través de las boquillas de la cara de la barrena. La energía hidráulica liberada contra la formación ablanda y eleva los recortes lejos de la formación. Además, esta energía acciona los motores de fondo y otros equipos que direccionan la barrena y obtienen datos de perforación o de la formación en tiempo real.

Con frecuencia, los datos recolectados en el fondo del pozo son transmitidos a la superficie mediante el método de transmisión de pulsos a través del lodo, que se basa en los pulsos de presión transmitidos a través de la columna de lodo para enviar los datos a la superficie.

- **Mantenimiento de la estabilidad del pozo:**

Los componentes básicos de la estabilidad del pozo implican la regulación de la densidad, la minimización de la erosión hidráulica y el control de las arcillas. La densidad se mantiene mediante el leve sobre balance del peso ejercido por la columna de lodo contra la presión de poro de la formación. Los ingenieros minimizan la erosión hidráulica mediante el balance de la geometría del pozo en función de los requerimientos de limpieza, la capacidad de transporte de fluidos y la velocidad de flujo anular. El proceso de control de arcillas es complejo. Las arcillas presentes en algunas formaciones se expanden en presencia de agua,

mientras que otras se dispersan. En cierta medida, estos efectos pueden ser controlados mediante la modificación de las propiedades del fluido de perforación. Sin importar el enfoque utilizado, el control del efecto del fluido en la formación ayuda a controlar el pozo y la integridad de los recortes y se traduce en un fluido de perforación más fácil de mantener.

### **3.4. FACTORES DE INFLUENCIA DE UN FLUIDO DE PERFORACIÓN<sup>30</sup>**

- **Velocidad de perforación:**

La velocidad o ritmo de perforación depende principalmente de la selección y mantenimiento apropiados al fluido de perforación. El fluido debe tener propiedades que permitan la mayor velocidad de penetración, por ejemplo, la menor densidad posible, el mínimo contenido de sólidos y óptimas propiedades de flujo.

- **Limpieza del pozo**

Para mantener una apropiada limpieza del pozo, la velocidad del anular, el punto de cedencia y la gelatinosidad del fluido de perforación, deben ser mantenidos en los valores apropiados, indicados por las condiciones de la perforación.

- **Estabilidad del pozo**

La estabilidad del pozo se afecta principalmente por tres factores externos:

1. Erosión mecánica debida a la barrera y al aparejo de perforación.
2. Composición química del fluido de perforación.

---

<sup>30</sup> BENITEZ HERNANDEZ Miguel Angel, GARAICOHECA PETRIRENA Francisco, REYES ALVAREZ Ciro, Apuntes de fluidos de perforación, universidad nacional autónoma de México, facultad de ingeniería, división de ingeniería de ciencias de la tierra, departamento de explotación de petróleo, p.6,7.

3. El tiempo en el que el pozo permanece descubierto.

La erosión mecánica es producto de la rotación y los viajes de la sarta de perforación, y no existe modo de eliminarla. La composición química del filtrado se puede modificar de manera que cause el menor daño posible a la formación sensible al agua y el fluido de perforación se debe diseñar de tal manera que aumente la velocidad de penetración.

- **Evaluación de la formación**

El fluido de perforación se debe diseñar de manera que tenga el mínimo efecto sobre la formación productora. Esto permitirá una mejor interpretación de las características del yacimiento y del potencial de la zona productora. Para reducir cualquier daño, es importante que el fluido de perforación este en buenas condiciones al perforar la zona productora.

- **Tipo de perforación total y costos de terminación**

La elección de los fluidos de perforación se debe hacer tomando en cuenta el mayor valor de penetración con un pozo estable y el mínimo daño a la formación productora. El objetivo es reducir el número de días en el pozo, a través de una apropiada elección y mantenimiento del fluido.

### **3.5. EL CICLO DE VIDA DE LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN<sup>31</sup>**

Los diseños y mantenimiento de los fluidos de perforación son procesos iterativos afectados por las condiciones de superficie y de fondo de pozo. Estas condiciones cambian a medida que el pozo se perfora a través de formaciones más profundas encontrando incrementos graduales de temperatura y presión,

---

<sup>31</sup> SCHLUMBERGER, Definición de fluidos de perforación, fundamentos de los fluidos de perforación, Oil Review primavera volumen 25 No 1, Don Williamson Editor colaborador, 2013, p.69.

además el lodo experimenta alteraciones en la estructura química generadas por los diferentes tipos de rocas y fluidos de formación. Los especialistas en fluidos que trabajan en sitio y los ingenieros de planta utilizan la ingeniería de procesos continuos para ajustar el fluido de perforación en respuesta a las condiciones variables de pozo y luego evalúan el rendimiento de los fluidos, modificando sus propiedades en un ciclo continuo.

**3.5.1. Diseño inicial.** En la fase de planeación, los especialistas en fluidos seleccionan diferentes tipos y diseños de sistemas de lodo para cada sección del pozo. Los sistemas están diseñados para cumplir con diversas especificaciones, incluidos los requerimientos de densidad, la estabilidad del pozo, los gradientes térmicos, los aspectos logísticos y los asuntos ambientales. La perforación puede comenzar con un sistema de fluidos simples. A menudo, el agua es el primer fluido utilizado para perforar hasta la profundidad de entubación inicial. A medida que el pozo se profundiza, el incremento de la presión de formación, el aumento de la temperatura y la presencia de formaciones más complejas requieren niveles más altos de control mecánico y capacidad de limpieza del pozo. Los sistemas de fluidos simples pueden ser desplazados o convertidos en un lodo inhibidor espesado, a base de agua, seguido por fluidos de perforación no acuosos a mayores profundidades.

**3.5.2. Circulación.** El carácter del fluido de perforación evoluciona constantemente. En un ciclo de circulación, el fluido consume energía, levanta los recortes, enfría la barrena y el pozo, y luego descarga los residuos en la superficie. Esto exige que los ingenieros y especialistas en fluidos evalúen y recarguen continuamente el sistema con fluidos nuevos y otros aditivos.

**3.5.3. Medición y rediseño.** El especialista en fluidos de perforación mide ciertas propiedades del lodo de retorno. Por lo general, las propiedades específicas medidas son una función del tipo de fluido que se utiliza, pero habitualmente incluyen la densidad, la reología, la tasa de filtración, las relaciones y el contenido de la fase continua, y el contenido y la clasificación de

sólidos. El fluido es analizado posteriormente para la estimación del pH, la dureza, la alcalinidad, los cloruros, el contenido de gas ácido y otros parámetros específicos de ciertos tipos de fluidos. Luego, el especialista diseña un programa de tratamiento para las 12-24 horas siguientes. El perforador, el encuellador y el especialista en fluidos monitorean constantemente las condiciones del pozo y las características del fluido de retorno y luego efectúan en el lodo los ajustes que imponen las condiciones de pozo y de perforación.

## **4. DESARROLLO TEÓRICO DE LA METODOLOGÍA PARA LA OPTIMIZACIÓN DE FLUIDOS DE PERFORACIÓN APLICADO EN UN SOFTWARE ESPECIALIZADO**

En este capítulo a través de un diagrama de flujo como lo indica la ilustración 14, se describe la metodología que se propone para determinar una optimización de costos que están asociados a los fluidos de perforación basado en el método estadístico Montecarlo. En primer lugar, se debe realizar una consulta bibliográfica en tema como: simulación Montecarlo, fluidos de perforación, Crystal Ball y análisis de riesgo. Así mismo es importante comprender el problema con la intención de formular un modelo que permita dar solución al hecho de estudio.

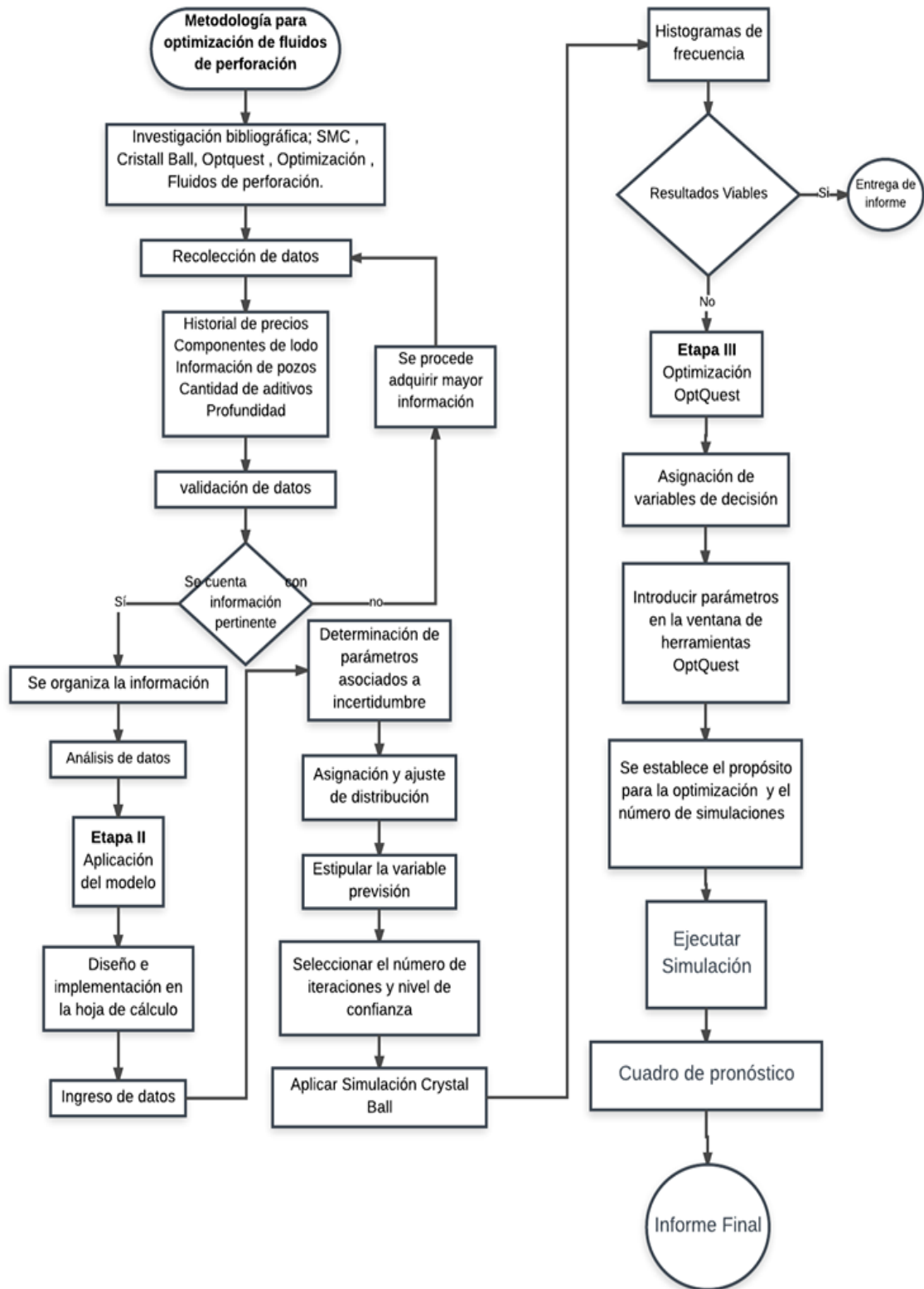
La siguiente fase consiste en efectuar una predicción de costos, con el objetivo de entregar resultados optimizados para los fluidos de perforación. Debido a la investigación y análisis de datos obtenidos, se planteo realizar un modelo. El software Crystall Ball es una herramienta complemento de excel, la cual se usa para la aplicación de la metodología que se propone en este capitulo; la investigación realizada se implementa como un complemento destinado a reducir los costos asociados a los fluidos de perforación a través de un análisis detallado de los diferentes resultados estimados con el fin de superar las limitantes presentes en las hojas de calculo.

### **4.1. ETAPA 1: INFORMACIÓN REQUERIDA**

En esta primera fase, se evidencia la información requerida para el desarrollo del modelo en el software, presentando como primer paso organizar los datos obtenidos, los cuales deben ofrecer un grado de autenticidad alto de acuerdo al sector de perforacion, específicamente los fluidos que se utiliza pare llevar acabo esta operación. Asi mismo es importante un análisis adecuado de las variables

en estudio, teniendo en cuenta la incertidumbre de superar los costos establecidos y no lograr el margen de utilidad estimada.

**Ilustración 14. Diagrama de flujo.**



A continuación se expone los items de la información recolectada para un estudio económico básico, siendo esencial y conveniente disponer de:

- Nombre de los componentes presenten en los fluidos de perforación
- Cantidades y unidades estimadas inicialmente.
- Historial de costos
- Margen de utilidad
- Datos del pozo en estudio (Profundidad)
- Datos de los aditivos en n pozos de las misma area del caso base.

#### **4.2. ETAPA 2: ANÁLISIS DEL MODELO Y PROCEDICMIENTOS PARA LA APLICACIÓN EN EL SOFTWARE**

Generalmente en esta fase depende en gran medida del usuario y en la idealización del modelo para el desarrollo pertinente del problema que presente en el sector de perforación. Lo esencial, para iniciar con la ejecución de la hoja de calculo en el software Crystal Ball, es presentar la mayor la cantidad de datos, siendo adecuado para este caso en particular, un historial de precios de los aditivos que compongan los fluidos de perforación, de acuerdo con las necesidades que se dispongan por diferentes razones (geológicas, económicas, disponibilidad), de igual manera es de vital importancia la utilidad que se espera obtener por parte de la empresa y las cantidades estimadas que se propone utilizar para el desarrollo de la profundidad del pozo, debido a que son parámetro indispensable para la solución del siguiente proyecto económico. Las pautas a tener en cuenta son las siguientes.

- Como primer paso dentro de las pautas, es necesario realizar un análisis de todo el proceso en general y determinar cuales van hacer las variables de mayor desasosiego, siempre teniendo presente la información obtenida y el objetivo que se desea alcanzar. En este estudio económico es vital relacionar cada uno de los parámetros con la margen de utilidad y la profundidad de la

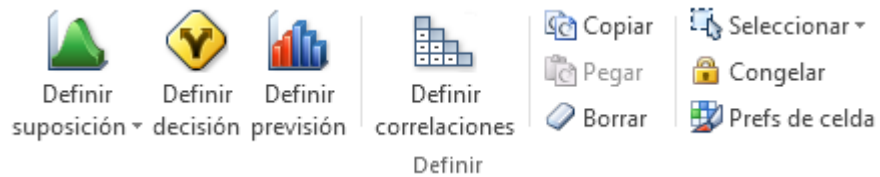
perforación final y asimismo evaluar un costo que es fijado como primera cotización.

- Después de efectuar el estudio básico sobre las variables que ejercen un efecto considerable en los resultados del proyecto, se procede con las diferentes asignaciones de distribución, iniciando regularmente con las denominadas “Celdas de Supuestos”. Como se menciona en el primer capítulo, se encuentran diferentes tipos de distribuciones de probabilidad que se moldean según la información presentada; existen dos maneras de establecer cual es el supuesto mas pertinente para cada celda que se vaya a trabajar, una de ellas es teniendo información específica sobre el comportamiento que venga presentando cada uno de los items, con sus correspondientes valores de desviación estándar, meda aritmética, moda y/o puntos mínimos y máximos.

La segunda opción siendo un poco mas sencilla cuando no se cuenta con valores aritméticos específicos, es la aplicacion de la alternativa autoeficiente del software, a traves de la opción de “ajuste de distribuciones de probabilidad”, instrumento que se encuentra dentro la herramienta “definir suposiciones” en la barra de menu como lo instruye la ilustración 15. Siendo de vital importancia disponer de un historial mínimo de 15 valores por cada variable que se proyecte aplicar una distribución, teniendo en cuenta que un rango de referencias mas amplio se obtenga sera mas específica y acertada los resultados que el programa proponga.

De igual forma se debe tener presente el desarrollo de las correlaciones estadísticas, que se efectúa entre los precios de los componentes del kit de fluidos estableciendo las relaciones existente entre los parámetros. El software ofrece la aplicabilidad de forma automatizada, siendo agrupados los datos específicos por el usuario.

### Ilustración 15. Barra de herramientas sección definir.

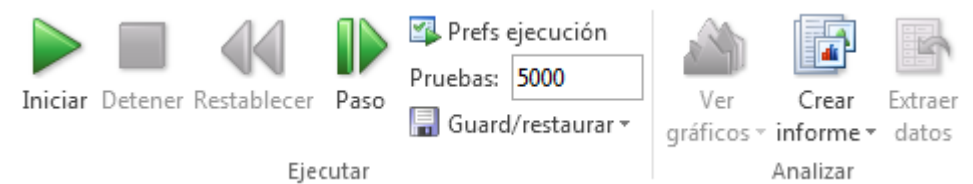


Fuente: tomado de programa Crystal Ball.

- Continuando con el proceso para lograr una optimización en Crystal Ball se debe emplear de una hoja de calculo primordialmente de Excel, con los datos recaudados en la etapa 1 como la margen de utilidad, la profundidad del pozo, las cantidades estimadas a utilizar además del historial de costo para cada componente, como los puntos máximos, y mínimos para cada ítem, estableciendo por el usuario directamente el resultado de tipo probabilidad mas adecuado, asimismo es importante definir el objetivo aplicar siendo en este caso un estudio económico basado en la probabilidad de superar el costo estimado de los productos en la operación a través de la ejecución del método Montecarlo, teniendo en cuenta lo anterior se formula la ecuación dentro de una de las celdas de la hoja que se denominada celda en previsión, organizando así la estructura del modelo a plantear.
- Asignar el numero de iteraciones para la simulación es el paso a seguir, comprendiendo que entre mayor sea el numero, mayor sera la certeza de los resultados del riesgo económico en la simulación final, aplicado en la programación automática del método de Montecarlo, el dato de pruebas se escribe en la barra de herramienta en la sección de ejecutar, facilitando obtener el grado de incertidumbre con los que se efectúan las simulaciones como las soluciones encontradas, debido a que un numero mayor permite buscar el contexto mas adecuado dentro de unas posibles condiciones, logrando alcanzar un ensayo representativo a la realidad.
- Como desenlace de esta etapa se aplica la simulación con la variable de previsión asignada correctamente, ejecutando el modelo en la barra de herramientas con la opción de “play” (figura 16). Como se ha venido

mencionando anteriormente, el software especializado, genera valores aleatorios para la celdas denominadas como supuesto, teniendo en cuenta la meta a lograr ejecutada por la ecuación de previsión; las evaluaciones obtenidas de acuerdo a las iteraciones se desarrollan y muestran a través de los histogramas de frecuencia, además los resultados en el cuadro denominado pronósticos se podrán observar los percentiles, gráfica de sensibilidad, datos estadísticos y que tipo de gráfico de probabilidad se moldea adecuadamente al comportamiento presentado, estos valores permitirán al ingeniero tener un rango de opciones bastante amplio bajo condiciones específicas, ayudando a pronosticar el mejor camino o el peor de los casos bajo el efecto del desarrollo del proyecto con niveles esenciales de certeza y confianza elegida por el usuario.

**Ilustración 16. Barra de herramientas sección ejecución y analizar.**



Fuente: tomado de programa Crystal Ball.

### 4.3. ETAPA 3: OPTIMIZACIÓN OPTQUEST

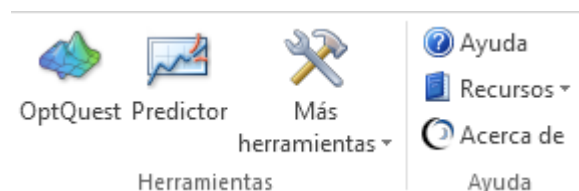
Es necesario resaltar que hasta el momento no se ha realizado una optimización profunda y vital, se ha predecido la conducta que se ejecutara si se lleva a cabo el proceso. Como se menciona en la guía presentada por Decisioneering<sup>32</sup> los modelos establecidos y simulados ejerce únicamente un rango de posibles resultados de la situación o problema presentada, dentro del análisis que extraiga el usuario podrá hacer una optimización de los componentes o permitir que el programa Crystal Ball bajo ciertas pautas y restricciones que dispone la opción "Optquest" desarrolle de manera automática la situación y el entorno mas

<sup>32</sup> DECISIONEERING INC, Optquest 2.3, User Manual Crystal Ball, Denver Colorado, USA, Pag (4).

óptimo para buscar el margen de utilidad representada dentro de un escenario eficiente y productivo.

- Como principal acto sucesivo en esta etapa, se determina que celdas de la hoja de cálculo se denominaran variables de decisión, las cuales son instrumentos encargados de proveer al software y usuario, situaciones con un grado de incertidumbre, que permite buscar una solución óptima bajo las condiciones del proyecto o de la simulación planteada, dichos datos se representaran con el color amarillo por el programa, además se asigna para cada ítem que marcara unos parámetros específicos, esta opción se encuentra en la barra de herramientas ofrecidas por Crystall Ball en la sección de “definir”.
- Ahora se procede a abrir la herramienta “OptQuest” ubicado en el menu ofrecido por la aplicación (ilustracion 17), para ingresar en el software el objetivo a maximizar o minimizar, seguido se ingresan los requisitos o restricciones que la simulación presente para que la optimización se resuelva con los parámetros esperados, por ultimo se programa el numero de las posibles simulaciones que depende particularmente del estudio del ingeniero, teniendo en cuenta que cada simulación presenta las misma cantidad de iteraciones propuestas en la etapa número 2, finalizando con la ejecución del optimizador.

#### **Ilustración 17. Barra de herramientas sección herramienta y ayuda.**



Fuente: tomado de programa Crystal Ball.

- Los valores obtenidos como resultados de la optimización mas acertada de acuerdo a lo propuesto, se observa en el cuadro de pronósticos de igual

manera que la fase anterior, con la excepción que en una ventana extra se enseña los datos concretos con los que el proyecto se maximiza.

Las tres etapas con sus diferentes pasos son fundamentales para un excelente desarrollo de la simulación y optimización, presentando los resultados en un cuadro de pronósticos que brinda al ingeniero una visión con alto grado de certeza y bajo nivel de incertidumbre, asimismo el usuario puede crear un informe que facilita el software especializado, con la opción que se presenta en el menu de herramientas en el area de “análizar”; la ilustración 16 es un básico ejemplo de las funciones que posee el programa. En el capítulo quinto se aplica la metodología explicada anteriormente con el ejemplo de estudio en cual se calcula el riesgo de superar el costo estimado inicialmente, y de acuerdo con las referencias de pozos de la misma zona que optimización es la mas acertada para los componentes de los fluidos de perforación.

## **5. DISEÑO DEL MODELO ESTADÍSTICO PARA EL DESARROLLO METODOLÓGICO PROPUESTO Y DESARROLLADO EN EL SOFTWARE CRYSTAL BALL**

Con el objetivo de obtener aplicaciones esenciales y practicas reales por medio del software Crystal Ball, se ejecutará un modelo que desarrolla una serie de simulaciones de predicción y optimización con datos referente a perforaciones de los llanos orientales, suministrados por la empresa JOAPETROL COMPANY, para un estudio y análisis de costos básicos teniendo presente un margen de utilidad.

### **5.1. GENERALIDADES BÁSICAS DEL ESTUDIO ECONÓMICO**

Este capítulo tiene como principal importancia enseñar una presentación rigurosa de cada uno de los elementos y componentes que se involucran en la estructura del proyecto, específicamente en el ámbito financiero, permitiendo al ingeniero conocer las diferentes alternativas para hacer funcionar de manera segura las inversiones, que cubre los costos de los componentes de los fluidos de perforación para llevar a cabo este proceso en un tiempo o periodo proyectado.

De igual forma por medio de la aplicación de la metodología que se postula en este libro, se desarrolla un modelo financiero y optimizador en el cual se realiza la inclusión de datos de forma manual en la hoja de cálculo. Específicamente los tipos de componente, las respectivas cantidades y precios, para dar inicio a partir de ahí con la construcción del proyecto económico basado en los gastos, margen de rentabilidad y el precio que representa de forma general para la empresa los productos utilizados por cada pie de profundidad del pozo a perforar.

De forma esencial se implementará una hoja de cálculo en Excel con la participación de software Crystal Ball, que permite la ejecución del modelo involucrando operaciones aritméticas sencillas, descritas para encontrar el valor del costo que tendrá el uso de todos los componentes más la margen de utilidad que se espera obtener basado siempre en los datos estimados y brindados para realizar un estudio semejante a la realidad.

Lo que se busca con la aplicación de modelo planteado en el anexo A es determinar cuál es el riesgo aparente de exceder el presupuesto estimado inicialmente de cada componente y de forma general, teniendo en cuenta que la profundidad del pozo es fija de 10.000 ft, permitiendo adquirir un kit completo de trabajo eficiente, que es afectado por el fenómeno de inestabilidad de precios, debido a la oferta y demanda en un mercado abierto de libre competencia permitido en este país. Generalmente ocurrido por el tiempo distante entre la primera cotización realizado por los estudios y el tiempo real en el cual el jefe de proyectos vaya acudir de dichos productos para el desarrollo del proyecto, logrando disponer de ese mismo kit de aditivos, pero a un precio distinto (Tabla 2). Debido a lo anterior se diseñó una metodología que permita predecir la certeza de aplicabilidad y asimismo optimizar el rendimiento financiero que pudiera llegar a presentar el proyecto, buscando disminuir la incertidumbre y el riesgo en cuanto a un presupuesto inicial.

## **5.2. DATOS BÁSICOS**

Se realizó un análisis ingeniería por parte de la empresa basándose en diferentes parámetros donde brinda la siguiente información representada en la tabla 1 como primera cotización de los componentes y las cantidades que se requiera para el proceso asimismo datos históricos como el modelo creado.

### 5.2.1. Referencias iniciales de los componente en los fluidos de perforacion.

**Tabla 1. Datos básicos iniciales para el planteamiento del modelo.**

<b>COMPONENTES</b>	<b>Unid</b>	<b>Cantidades.</b>	<b>PU\$</b>
Adelgazante polimérico para lodo base agua	5	32	\$ 15.00
Almidón para control de filtrado hpht > 300 f	50	185	\$ 48.00
Asfalto sulfonatado	50	197	\$ 25.00
Bactericida tipo glutaraldehido	5	56	\$ 36.00
Barita	100	2382	\$ 13.00
Bentonita tipo Wyoming	100	21	\$ 15.00
Cal hidratada	55	124	\$ 7.00
Carbonato de calcio m 10-40	110	25	\$ 8.80
Carbonato de calcio m 200	110	120	\$ 8.80
Carbonato de calcio m 325	110	640	\$ 8.80
Carbonato de calcio m 600	55	1280	\$ 7.20
Celulosa polianómica de baja viscosidad	50	170	\$ 72.00
Encapsulador de arcilla	50	82	\$ 132.00
Goma de Xanthan	5	109	\$ 85.00
Grafito material obturante (f, m, g)	50	105	\$ 67.00
Inhibidor de arcilla tipo polyamina	55	28	\$ 605.00
Lubricante y reductor de torque de origen vegetal	55	53	\$ 890.00
Mejorador de rop, anti-acreción y anti-embotamiento	55	23	\$ 860.00
Poliacrilato de sodio	50	80	\$ 89.00
Soda caustica	55	6	\$ 35.00
Secuestrante de co2	55	1	\$ 780.00

Fuente: JOAPETROL COMPANY S.A.S

La información presentada en la Tabla 1, proporciona varias observaciones, la fundamental es que se asume que las cantidades estimadas son específicamente para un pozo de la profundidad mencionada de 10.000 ft, con una densidad de lodo de 11 PPG (libras por galón) lo que indica que las condiciones geológicas son constantes, la composición de los estratos es estándar y los parámetros de porosidad, tipo de hidrocarburo, saturaciones iniciales tanto de agua como gas e hidrocarburo son precisadas por la ingeniería inicial de la empresa en ejecución del proyecto, por tal motivo se asume que ya se calculó de manera eficiente y precisa las cantidades mostradas.

## 5.2.2. Historial de precios.

**Tabla 2. Componentes con el historial de precios.**

DATOS HISTORICOS	Precio Unitario Dólares	P1	P2	P3	P4
ADELGAZANTE POLIMERICOPARA LODO BASE AGUA	\$ 15.00	19	18	13	17
ALMIDON PARA CONTROL DE FILTRADO HPHT > 300 F	\$ 48.00	42	43	53	45
ASFALTO SULFONATADO	\$ 25.00	17	20	18	26
BACTERICIDA TIPO GLUTARALDEHIDO	\$ 36.00	38	37	30	29
BARITA	\$ 13.00	13	18	16	10
BENTONITA TIPO WYOMING	\$ 15.00	17	19	16	13
CAL HIDRATADA	\$ 7.00	9	10	12	11
CARBONATO DE CALCIO M 10-40	\$ 8.80	9	10	9	10
CARBONATO DE CALCIO M 200	\$ 8.80	8.5	8.0	8.8	9.2
CARBONATO DE CALCIO M 325	\$ 8.80	8.7	8.5	11.0	9.0
CARBONATO DE CALCIO M 600	\$ 7.20	7.0	6.9	6.6	6.9
CELULOSA POLIANIONICA DE BAJA VISCOSIDAD	\$ 72.00	73.0	72.0	70.6	70.7
ENCAPSULADOR DE ARCILLA	\$ 132.00	133	133	132	133
GOMA DE XANTHAN	\$ 85.00	84.0	84.3	84.0	84.0
GRAFITO MATERIAL OBTURANTE (F, M, G)	\$ 67.00	67	68	68	69
INHIBIDOR DE ARCILLA TIPO POLYAMINA	\$ 605.00	606	608	608	610
LUBRICANTE Y REDUCTOR DE TORQUE	\$ 890.00	889	890	890	890
MEJORADOR DE ROP	\$ 860.00	860	860	865	865
POLIACRILATO DE SODIO	\$ 89.00	86	87	87	87
SODA CAUSTICA	\$ 35.00	35.5	36.0	36.2	35.9
SECUESTRANTE DE CO2	\$ 780.00	730	745	800	810

Fuente: JOAPETROL COMPANYYS.A.S

Por medio de la Tabla 2 se puede interpretar el comportamiento que tuvo en su momento los precios de los 21 componentes, para este caso en la ejecución del programa es necesario tener 15 datos históricos por cada ítem, permitiendo al software brindar información suficiente para determinar los tipos de distribución de manera automática, proporcionado un rango de opciones de gráficas para el ingeniero, exponiendo cual es la más acertada y eficiente pero además ofreciendo la opción de que el mismo usuario escoja del menú automático de Crystal Ball la distribución más apropiada de acuerdo al criterio que se presente. En el anexo B se enseña la tabla anterior completa.

### 5.3. PLANTEAMIENTO DEL MODELO

Tabla 3. Datos y formulación del planteamiento del modelo para Crystal Ball.

		Unid	Cant.	PU\$	Sub-total
1	ADELGAZANTE POLIMERICOPARA LODO BASE AGUA	5	32	\$ 15.00	\$ 480
2	ALMIDON PARA CONTROL DE FILTRADO HPHT > 300 F	50	185	\$ 48.00	\$ 8,880
3	ASFALTO SULFONATADO	50	197	\$ 25.00	\$4,925
4	BACTERICIDA TIPO GLUTARALDEHIDO	5	56	\$ 36.00	\$ 2,016
5	BARITA	100	2382	\$ 13.00	\$ 30,966
6	BENTONITA TIPO WYOMING	100	21	\$ 15.00	\$ 315
7	CAL HIDRATADA	55	124	\$ 7.00	\$ 868
8	CARBONATO DE CALCIO M 10-40	110	25	\$ 8.80	\$ 220
9	CARBONATO DE CALCIO M 200	110	120	\$ 8.80	\$ 1,056
10	CARBONATO DE CALCIO M 325	110	640	\$ 8.80	\$ 5,632
11	CARBONATO DE CALCIO M 600	55	1280	\$ 7.20	\$ 9,216
12	CELULOSA POLIANIONICA DE BAJA VISCOSIDAD	50	170	\$ 72.00	\$ 12,240
13	ENCAPSULADOR DE ARCILLA	50	82	\$ 132.00	\$ 10,824
14	GOMA DE XANTHAN	5	109	\$ 85.00	\$ 9,265
15	GRAFITO MATERIAL OBTURANTE (F, M, G)	50	105	\$ 67.00	\$ 7,035
16	INHIBIDOR DE ARCILLA TIPO POLYAMINA	55	28	\$ 605.00	\$ 16,940
17	LUBRICANTE Y REDUCTOR DE TORQUE DE ORIGEN VEGETAL	55	53	\$ 890.00	\$ 47,170
18	MEJORADOR DE ROP, ANTI-ACRECIION Y ANTI-EMBOTAMIENTO	55	23	\$ 860.00	\$ 19,780
19	POLIACRILATO DE SODIO	50	80	\$ 89.00	\$ 7,120
20	SODA CAUSTICA	55	6	\$ 35.00	\$ 210
21	SECUESTRANTE DE CO2	55	1	\$ 780.00	\$ 780

<b>Costo Total</b>		<b>\$ 195,938</b>
Profundidad de pozo	10,000 (ft)	\$ 19.59
Margen de utilidad	30%	\$ 5.87
Precio del kit utilizado en el yacimiento.		\$ 25.47

Fuente: JOAPETROL COMPANY S.A.S

En el planteamiento del modelo estadístico para la ejecución en el software especializado, se fundamenta en los datos iniciales mostrado en la Tablab3, donde se busca encontrar el valor que se implementa por cada pie de profundidad en el pozo de perforación, tomando los componentes en general

como un kit de aditivos utilizados en el yacimiento, todo con el fin de aplicar el objetivo en el software de determinar una probabilidad de riego y la optimización desea. Para obtener esta variable se procede hacer uso de operaciones aritméticas.

Es importante tener un costo total de todos los componentes con sus diferentes cantidades y unidades, para llegar a la variable del kit que se desea estimar, por tal motivo se hallara un subtotal por cada artículo con la siguiente ecuación.

### **Ecuación 1.**

$$Cs = C * P$$

Donde:

*Cs: Costo subtotal*

*C: Cantidades*

*PU: Precio Unitario.*

Ahora como se muestra en la Tabla 3 se expone el subtotal para luego proceder a realizar una operación de sumatoria y así alcanzar el costo total en la operación por la sección de fluidos de perforación, asimismo se divide por la profundidad mostrada en la ilustración anterior, para adquirir una relación de costo/espacio.

### **Ecuación 2.**

$$Cf = \frac{Ct}{L}$$

Donde:

*Cf: Relacion de costo de kit por cada pie de profundidad*

*Ct = Costo Total*

*L: Profundidad (ft)*

El margen de utilidad es un valor importante para cualquier empresa, es la relación o el porcentaje de ganancia que se obtiene, para este caso en particular es de 30% como lo ilustra la sección final de la Tabla 3, por esta razón se

multiplica el costo del kit por la variable mencionada, buscando un precio rentable desde la primera estimación de datos.

### **Ecuación 3.**

$$Kit = (M * Cf) + Cf$$

Donde:

*Kit: precio final del kit de componentes en relacion con la profundidad.*

*M: Margen de utilidad*

*Cf: relacion de costo*

Después de tener el modelo del proyecto definido y haber construido las respectivas tablas en hojas de cálculo de Excel, se procede a dar uso de la herramienta de Crystal Ball para determinar y predecir el riesgo existente de superar el costo estimado de 25,47 como kit de fluidos de perforación, y presentar la necesidad de una optimización de costos o rendimiento financiero. Presentando como referencia los datos históricos y datos estadísticos como puntos máximos, mínimos, promedio, desviación estándar entre otros, valores que son esenciales para contribuir como información principal al momento de establecer las celdas de supuesto como de previsión y decisión.

**5.3.1. Datos estadísticos básicos.** El paso siguiente es elaborar una ilustración o tabla con los datos estadísticos mencionados, creado en una hoja aparte de o en la misma el orden ya depende estrictamente del usuario y la forma de manejar el software, con la Tabla 4 como guía se contruye los datos destinados a referenciar los gráficos de distribución en pautas mas adelante, el programa de Excel brinda la opción de hallar directamente con comando los valores de desviación estándar y los puntos máximos y mínimos implicados de acuerdo con el historial de precios.

**Tabla 4. Valores Estadísticos para cada componente.**

<b>DATOS HISTORICOS</b>	<b>Promedio /Media Aritm.</b>	<b>Desv Est.</b>	<b>Mín.</b>	<b>Máx</b>
ADELGAZANTE POLIMERICOPARA LODO BASE AGUA	16.067	2.153	13	19
ALMIDON PARA CONTROL DE FILTRADO HPHT > 300 F	49.400	6.219	38	58
ASFALTO SULFONATADO	22.067	5.229	17	31
BACTERICIDA TIPO GLUTARALDEHIDO	33.267	3.172	29	38
BARITA	13.800	2.336	10	18
BENTONITA TIPO WYOMING	15.800	1.934	13	19
CAL HIDRATADA	9.667	1.951	6	13
CARBONATO DE CALCIO M 10-40	9.080	0.922	8	11
CARBONATO DE CALCIO M 200	9.707	0.924	8	11
CARBONATO DE CALCIO M 325	10.567	0.969	8.5	11.5
CARBONATO DE CALCIO M 600	8.040	1.153	6.6	10
CELULOSA POLIANIONICA DE BAJA VISCOSIDAD	71.873	1.046	70	73
ENCAPSULADOR DE ARCILLA	132.133	0.990	131	134
GOMA DE XANTHAN	84.353	1.059	83	86
GRAFITO MATERIAL OBTURANTE (F, M, G)	70.027	1.515	67	72
INHIBIDOR DE ARCILLA TIPO POLYAMINA	610.087	1.638	606	612
LUBRICANTE Y REDUCTOR DE TORQUE DE ORIGEN VEGETAL	891.893	1.690	889	894
MEJORADOR DE ROP, ANTI-ACRECION Y ANTI-EMBOTAMIENTO	866.400	2.797	860	868
POLIACRILATO DE SODIO	87.807	0.976	86	90
SODA CAUSTICA	35.740	1.070	33.5	37.1
SECUESTRANTE DE CO2	777.267	20.179	730	810

Fuente: Crystal Ball

Los comando para la contrucción de la tabla 4 y sus diferentes variables los propone el programa de Excel, las formulas son las siguientes.

- a. Media Aritmetica:  $MA = promedio(x1 : x2)$
- b. Desviacion estandar:  $DE = desvest(x1 : x2)$
- c. Punto Minimo:  $PM = \min(x1 : x2)$
- d. Punto Maximo:  $PA = \max(x1 : x2)$

La definición de la letra x hace referencia a los respectivos extremos de los datos históricos de precios tomados para el cálculo automático mediante el comando. Ahora la fase a seguir es la ejecución del modelo en el programa con las restricciones y ventajas que proyecto aplique, construyendo las simulaciones finales del proceso.

**Tabla 5: Tabla de aditivos en pozos 2, 3, 4.**

	<b>Cant pozo2</b>	<b>Cant pozo3</b>	<b>Cant pozo4</b>
ADELGAZANTE POLIMERICOPARA LODO BASE AGUA	35	30	37
ALMIDON PARA CONTROL DE FILTRADO HPHT > 300 F	175	200	190
ASFALTO SULFONATADO	205	190	200
BACTERICIDA TIPO GLUTARALDEHIDO	50	68	60
BARITA	2527	2310	2548
BENTONITA TIPO WYOMING	19	25	23
CAL HIDRATADA	135	130	120
CARBONATO DE CALCIO M 10-40	27	22	19
CARBONATO DE CALCIO M 200	112	129	125
CARBONATO DE CALCIO M 325	620	685	600
CARBONATO DE CALCIO M 600	1395	1210	1305
CELULOSA POLIANIONICA DE BAJA VISCOSIDAD	160	178	175
ENCAPSULADOR DE ARCILLA	75	88	92
GOMA DE XANTHAN	105	114	118
GRAFITO MATERIAL OBTURANTE (F,M,G)	98	108	112
INHIBIDOR DE ARCILLA TIPO POLYAMINA	32	27	25
LUBRICANTE Y REDUCTOR DE TORQUE DE ORIGEN VEGETAL	60	55	50
MEJORADOR DE ROP, ANTI-ACRECIION Y ANTI-EMBOTAMIENTO	16	28	20
POLIACRILATO DE SODIO	71	89	85
SODA CAUSTICA	6	8	6
SECUESTRANTE DE CO2	1	2	1

Fuente: JOAPETROL COMPANY. S.A.S

La tabla 5 se encuentran los aditivos utilizados para 3 pozos en el área de los llanos orientales, construidos en forma infill respecto al pozo 1 (estudio base). Estos datos permiten establecer parámetros que indican posibles puntos mínimos o máximos dentro la simulación del optimizador como referencia para el usuario bajo procesos ya ejecutados.

## **6. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA FUNDAMENTADO EN LA SIMULACIÓN Y OPTIMIZACIÓN ASOCIADOS A LOS FLUIDOS DE PERFORACIÓN EN CRYSTAL BALL**

Crystal Ball es una herramienta especializada para la evaluación y análisis de la rentabilidad de los proyectos, este software se basa en hojas de cálculo para elaborar modelos predictivos, simulación, y optimización, además ofrece una perspectiva inigualable de los factores críticos que prevalece con una incertidumbre, este programa permite tomar las decisiones tácticas correctas para alcanzar objetivos específicos bajo condiciones competentes en un mercado.

El software es muy simple y sencillo de manipular además de interpretar los resultados de manera eficiente, sin embargo los errores pueden prevalecer a la hora de definir las variables inconsistentes o fijas, arrojando el programa Crystal Ball soluciones no acertadas para el proyecto en específico; por esas razones seguir cuidadosamente las instrucciones y metodología para realizar un trabajo esperado es necesario, en este capítulo se aplicara el modelo básico estipulado en el capítulo 5, buscando estimar la probabilidad que presenta el proyecto y las opciones optimizadas en un ámbito económico.

### **6.1. INSTALACIÓN Y EJECUCIÓN DEL SOFTWARE ESPECIALIZADO**

La opción más práctica para descargar la aplicación es a través de la página oficial "Oracle", inmediatamente ofrece dos links para la instalación uno para procesadores de 64 bits y otro para computadores de 32 bits, por tal motivo es indispensable conocer qué tipo de ordenador se dispone.

- **Instalación:** Después de descargar el software que demora unos pocos minutos dependiendo de la velocidad del Internet, la instalación es aún más simple después de aceptar el proceso por el permiso que pide Windows como administrador, se inicia la descarga oficial donde el usuario debe confirmar la carpeta de instalación, aceptar las condiciones representativas y espera que culmine, tener en cuenta que el software utiliza como servidor al programa de Excel, si este se encuentra abierto en el momento de la instalación, este no se ejecutará dando el respectivo aviso.
- **Licencias:** El software después de haber concluido su instalación aparece el icono de Oracle Crystal Ball en el escritorio, se abre el programa e inmediatamente aparece un cuadro solicitando la licencia que se debe disponer, seguido se abrirá el cuadro de inicio para disfrutar y hacer uso.

En cuanto al software, características y ejemplos de uso de esta herramienta la Universidad Industrial de Santander-UIS, cuenta con una licencia para su utilización y se puede encontrar en el edificio CENTIC del campus universitario central.

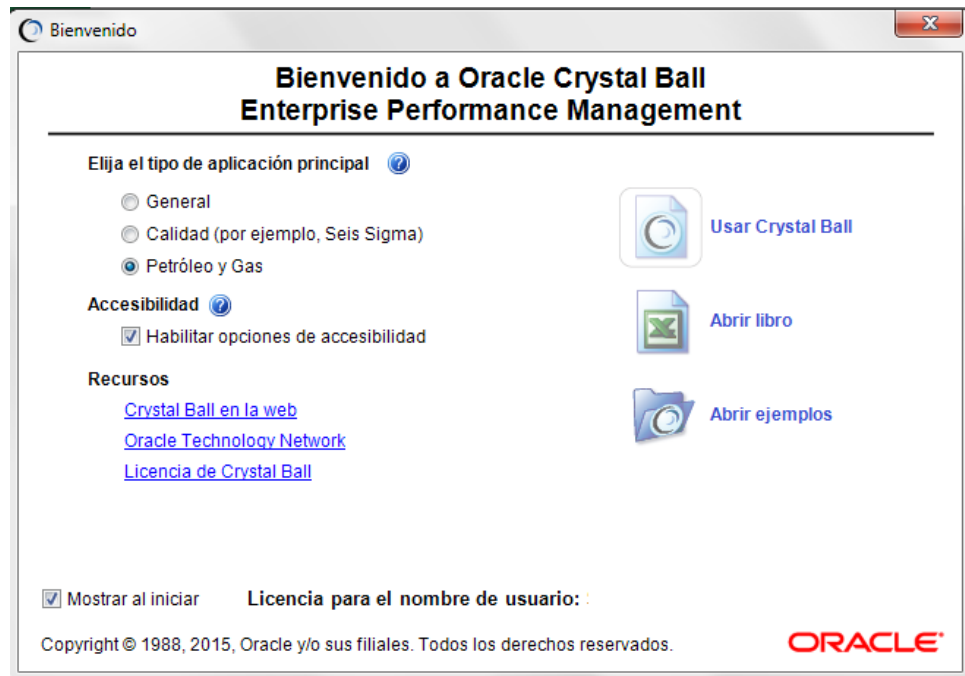
Para iniciar con la herramienta una vez instalada se da clic en el acceso directo de Oracle en el escritorio, o sencillamente a través del icono de Excel la mayoría de los casos la aplicación se abre instantáneamente. A continuación, se expondrá la metodología aplicada del modelo en estudio.

## **6.2. INICIO DEL SOFTWARE CRYSTAL BALL**

Al momento de abrir la aplicación en el programa de Excel sale una pestaña, donde permite especializar el modelo que se empleará en él con las opciones de un estudio General, de calidad o enfocado en la industria de Petróleo y Gas; como el modelo de aplicación está enfocado en los fluidos de perforación se

escoge la tercera opción se habita las opciones de accesibilidad y por último dar clic en la opción de “Usar Crystal Ball” como lo referencia la imagen 18.

**Ilustración 18. Ventana de estrada al programa de Crystal Ball.**



Fuente: Crystal Ball.

### 6.3. ENTRADA DE DATOS

Esta sección podría ser la más decisiva de todas debido que es la parte de la simulación donde se ingresan los datos de un modelo que se planteó con anterioridad, si desde este paso el modelo no se interpreta o no se tiene el objetivo claro posiblemente la ejecución no sería satisfactoria.

En este paso las tablas 3 y 4 se transcriben ya se en una hoja o dos hojas de cálculo este factor no influye en gran medida solo en el orden.

## 6.4. EVALUACIÓN Y DEFINICIÓN DE VARIABLES DE SUPOSICIÓN

La aplicación y evaluación de los datos presente es esencial para determinar qué tipo de distribución o definición se le asignara a cada variable, generalmente las celdas de suposiciones son aquellas que presentan un cambio constante y afecta en un nivel alto el modelo, expandiendo la incertidumbre y riesgos en un resultado específico.

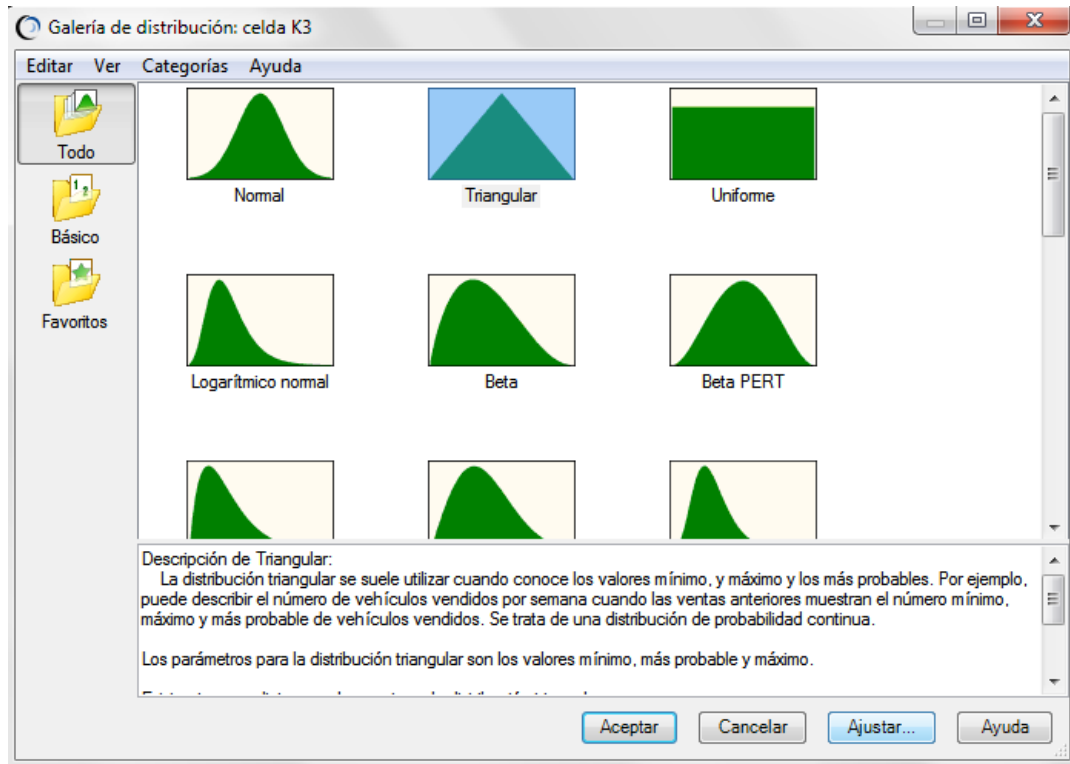
El ejemplo en ejecución, las variables que presenta un cambio constante por condiciones de mercado ya mencionadas, son las de los precios de cada componente de los 21 existente en la tabla 4.

**6.4.1. Forma de establecer los tipos de distribución.** Ahora para definir el tipo de distribución estadístico (suposición) se requiere de los datos históricos de precios, ofrecidos en el anexo B, el software permite la asignación de esta variable de dos formas, manual o automática, para ejercer el método manual se necesitará tener establecido con antelación el tipo de distribución, así mismo como datos estadísticos de desviación estándar et. Se aplica la segunda opción en este modelo debido a que no se conoce con exactitud el comportamiento de los datos por medio de esquemas, pero Crystal Ball presenta la capacidad de predecir un tipo de gráfico con los valores establecidos como históricos, determinado la mejor conducta de forma autónoma, con la regla que se requiere como mínimo de 15 datos por cada ítem para desarrollar eficientemente el proceso.

**6.4.2. Procedimiento para establecer los tipos de distribución.** Como primera pauta, se debe seleccionar la celda, seguido dar clic en la herramienta de “definir suposiciones”, inmediatamente aparece una pestaña presentando las diferentes opciones de gráficos disponibles, en el sector inferior del cuadro como lo enseña la ilustración 19 está la opción de ajustar , permitiendo paso a otra pestaña indicada en la ilustración 20, que brinda la facilidad de ingresar los datos

históricos del ítem correspondiente, para el análisis respectivo por parte de la aplicación.

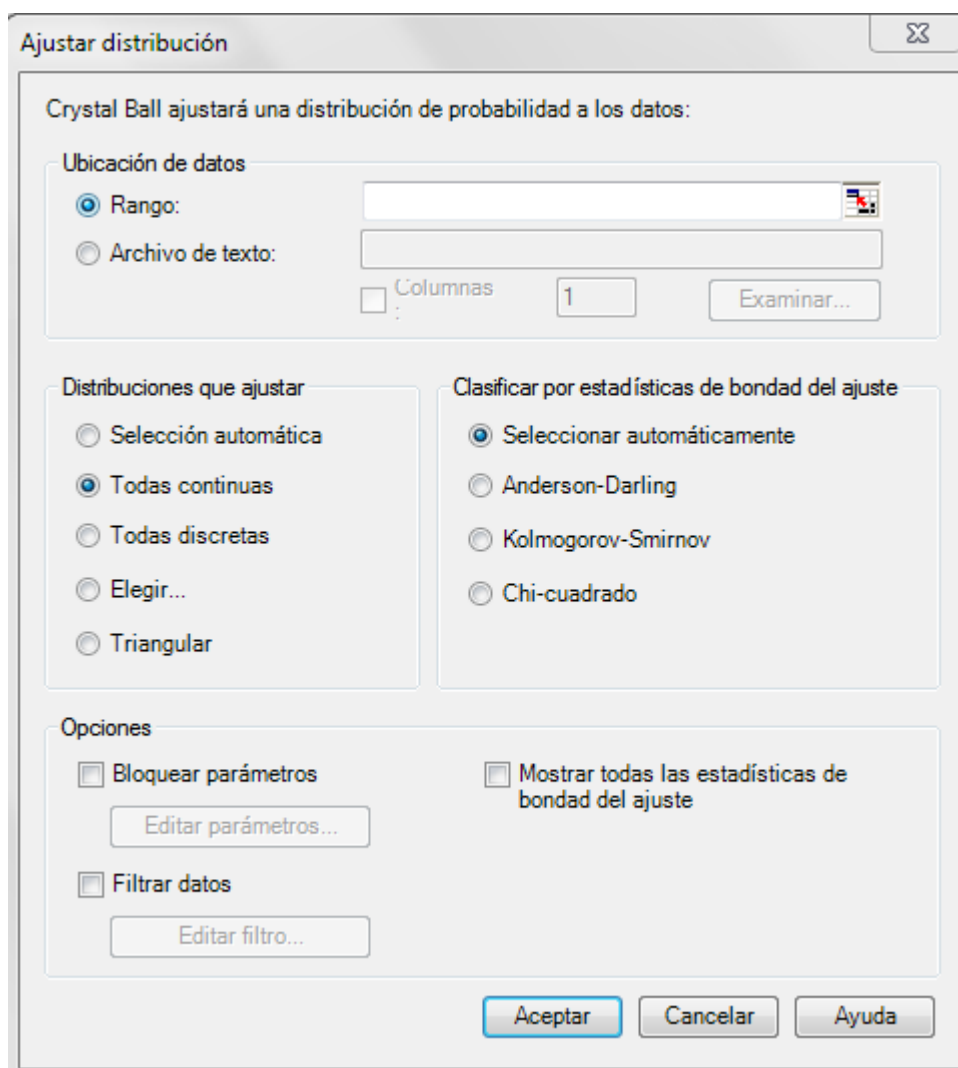
**Ilustración 19. Ventana de ingreso para asignar las distribuciones estadísticas.**



Fuente: Tomado y modificado de Crystal Ball

La alternativa que se dispone en el cuadro de "ajuste de distribución" se encuentra en el departamento de "ubicación de datos" frente la opción de rango se selecciona permitiendo elegir en la hoja de cálculo los 15 valores del primer componente denominado "Adelgazante polimérico para lodo base agua"

**Ilustración 20. Ventana emergente para ingreso de datos históricos y tipo de datos.**



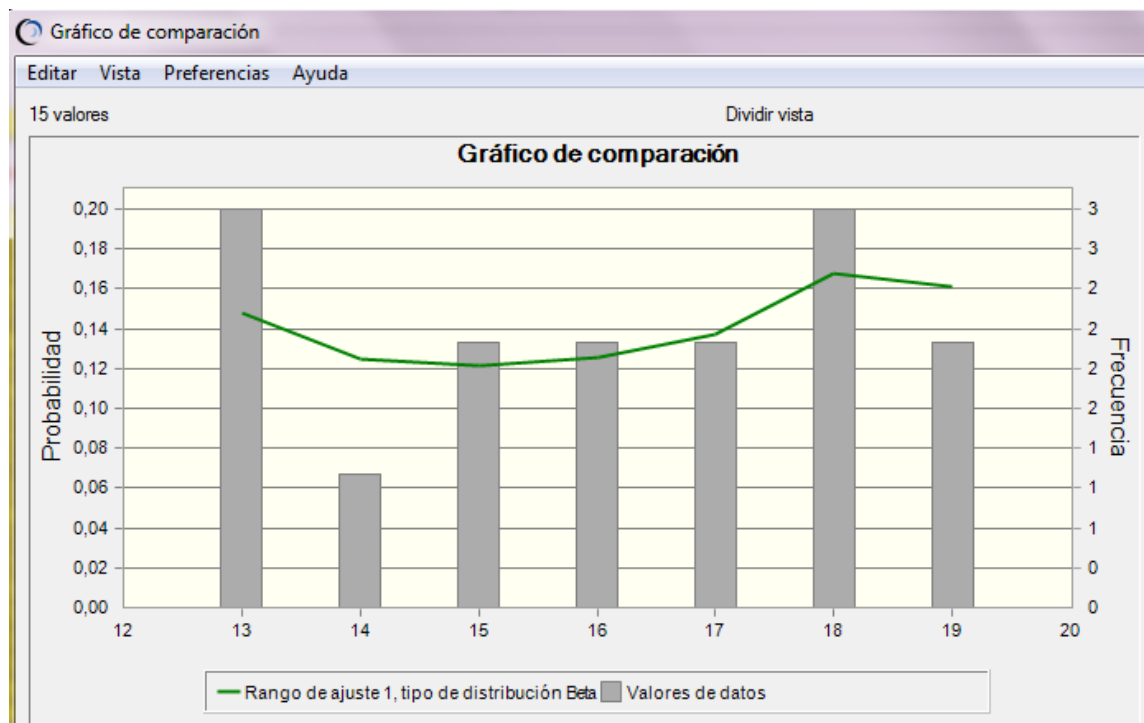
Fuente: Tomado y modificado de Crystal Ball

En el sector de “distribuciones que ajustar” es importante definir qué tipo variables se trabajara en un contexto estadístico, el programa presenta varias opciones incluyendo la selección automática realizada por la misma aplicación, en el primer capítulo de este libro se encuentra más información sobre estos tipos de datos. Las alternativas que comúnmente se utiliza es: discretas y continuas; pero para este estudio económico se ejecutara el programa con la elección de datos continuo, debido a que presenta la posibilidad de manejar un rango de numero racionales, parámetro necesario porque ofrece la opción de manipular una clase de números enteros, pero sin excluir los decimales,

necesarios para simulación de modelos económicos cuando la variable en aplicación se alude al dinero.

Después de elegir adecuadamente las diferentes alternativas, se da aceptar y se prosigue con un cuadro diferente, donde posibilita observar el tipo de distribución con el comportamiento más semejante a la conducta que presenta el historial de precios de acuerdo a cada componente.

### Ilustración 21. Resultados obtenidos del cálculo probabilístico por el software (Tipo Beta).



Fuente: tomado y modificado de Crystal Ball

**Ilustración 22. Cuadro estadístico con los resultados del tipo de distribución más adecuado para el primer componente.**

Clasificado por: Anderson-Darling			
Distribución	A-D	Valor P:	
Beta	,3642	---	Mín
Weibull	,3820	0,245	Ubi
Extremo mínimo	,4214	0,325	Más
Uniforme	,4278	0,652	Mín
Normal	,4293	0,273	Mec
Logística	,4313	0,236	Mec
Gamma	,4815	0,413	Ubi
Logarítmico nor	,4860	0,087	Ubi
Extremo máximo	,6110	0,108	Más
Triangular	,8461	---	Mín
t de Student	,8461	---	Pun
Pareto	1,2289	---	Ubi
Exponencial	5,2350	0,000	Tas
Beta PERT	5,8547	---	Mín

Fuente: Tomado y modifica del software Crystal Ball

El análisis realizado por el software, indica que el mejor gráfico de suposición es el tipo Beta como lo confirma la ilustración 22 y el ajuste en la ilustración 21, relacionado con la conducta que presenta los valores para el primer artículo. Sin embargo, el software posibilitar establecer alguna otra opción de supuesto de acuerdo al análisis del usuario; asimismo se debe proceder con los demás componentes que pertenece al kit de fluidos de perforación, en la tabla 6 confirma el tipo de distribución que se asignó respectivamente a cada artículo.

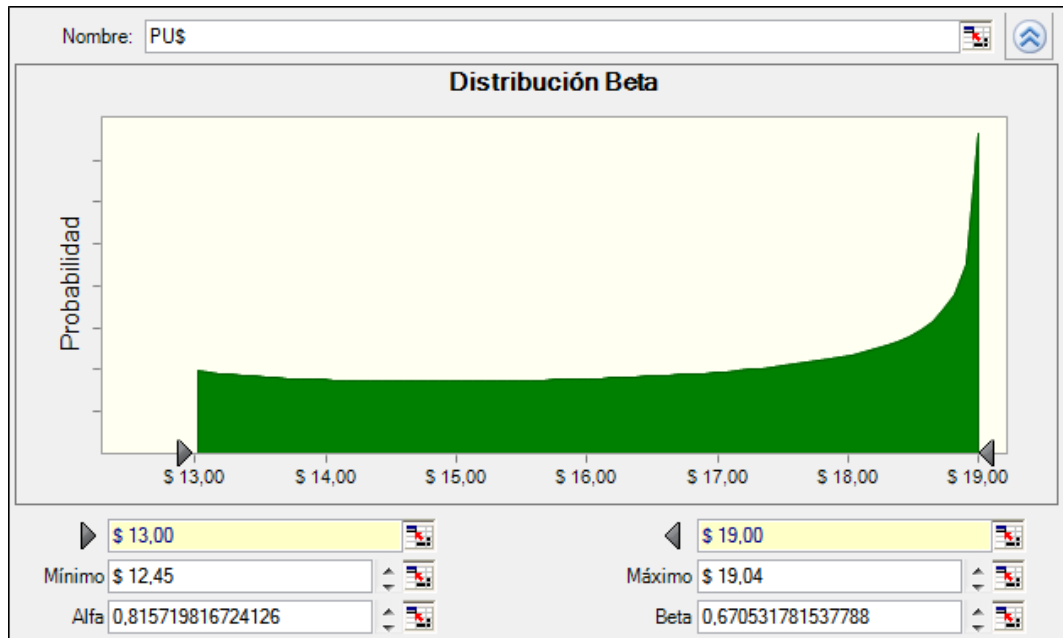
**Tabla 6. Tipos de distribuciones asignadas para cada componente.**

PRODUCTO A UTILIZAR		Tipo De Distribución
1	ADELGAZANTE POLIMERICOPARA LODO BASE AGUA	Beta
2	ALMIDON PARA CONTROL DE FILTRADO HPHT > 300 F	Triangular
3	ASFALTO SULFONATADO	Pareto
4	BACTERICIDA TIPO GLUTARALDEHIDO	Uniforme
5	BARITA	Triangular
6	BENTONITA TIPO WYOMING	Weibull
7	CAL HIDRATADA	Normal
8	CARBONATO DE CALCIO M 10-40	Beta
9	CARBONATO DE CALCIO M 200	Beta
10	CARBONATO DE CALCIO M 325	Extremo Mínimo
11	CARBONATO DE CALCIO M 600	Triangular
12	CELULOSA POLIANIONICA DE BAJA VISCOSIDAD	Weibull
13	ENCAPSULADOR DE ARCILLA	Normal
14	GOMA DE XANTHAN	Extremo Máximo
15	GRAFITO MATERIAL OBTURANTE (F, M, G)	Weibull
16	INHIBIDOR DE ARCILLA TIPO POLYAMINA	Weibull
17	LUBRICANTE Y REDUCTOR DE TORQUE DE ORIGEN VEGETAL	Normal
18	MEJORADOR DE ROP, ANTI-ACRECIÓN Y ANTI-EMBOTAMIENTO	Logística
19	POLIACRILATO DE SODIO	Logística
20	SODA CAUSTICA	Logística
21	SECUESTRANTE DE CO2	Weibull

Fuente: Tomado y modificado de los resultados ofrecidos por software.

Los puntos mínimos y máximos que se encuentra en la tabla estadística 4, se tiene en cuenta al momento de seleccionar el tipo de gráfico, estos valores se escriben directamente en las casillas de cada gráfico de distribución como lo enseña la imagen 23, para que al momento de realizar la simulación presente unos parámetros establecidos más cercanos a los valores reales.

**Ilustración 23. Gráfico representativo del tipo de supuesto para el componente adelgazante polimérico para lodo base agua con los puntos mínimos y máximos.**



Fuente: Tomado y modificado de los resultado del modelo planteado aplicado en Crystal Ball

De igual manera se debe proceder con los demás componentes que pertenece al kit de fluidos de perforación las gráficas que se le denomino a cada artículo se podrá encontrar en el anexo C, pero en la Tabla 6 se confirma el tipo de distribución que se asignó respectivamente.

**6.4.3. Procedimientos para establecer las correlaciones entre los componentes.** Bajo las condiciones de simulación si se ejecutara sin la adecuada pauta de relación de datos se obtendría un rango más amplio de los valores de costos que podría aplicar el proyecto con grados de certeza inestable, asimismo la correlación de las variables de precios que representa cada componente es esencial para este modelo y el programa Cristal Ball permite realizar este paso de forma sencilla de la siguiente forma programando un proyecto más adecuado a la realidad.

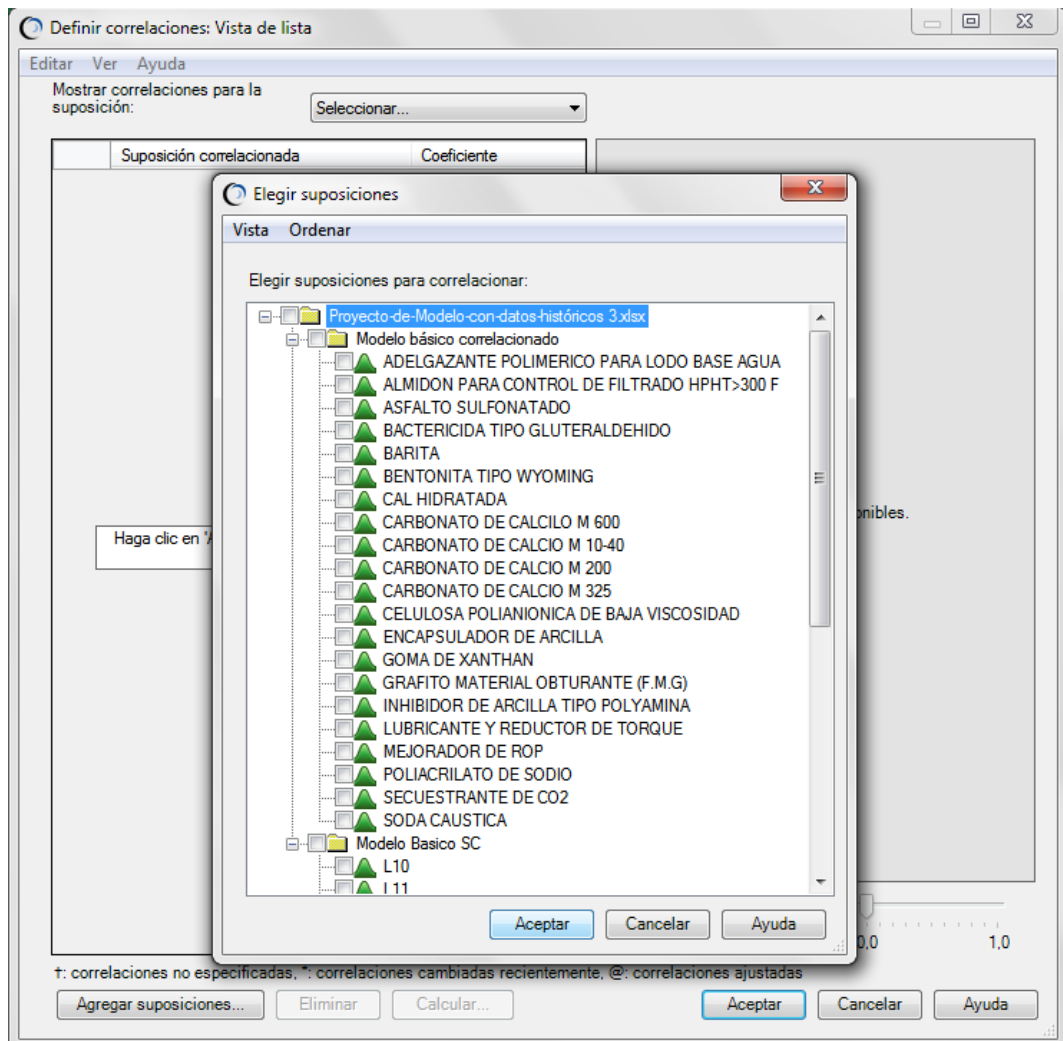
- Después de obtener definidas los tipos de supuestos para cada variable por los pasos anteriores se abre de nuevo la ventana que enseña la gráfica de

distribución asignada, donde se da clic en la opción brindada por el programa de “correlacionar”.

- En la ilustración 24 se observa la pestaña emergente, la cual facilita la inclusión de los datos históricos con las diferentes variables, cuando se da clic en la opción de “seleccionar” una ventana aparece para seleccionar el componente que se correlacionara, se escoge para iniciar “ADELGAZANTE POLIMÉRICO PARA LODO BASE AGUA”.

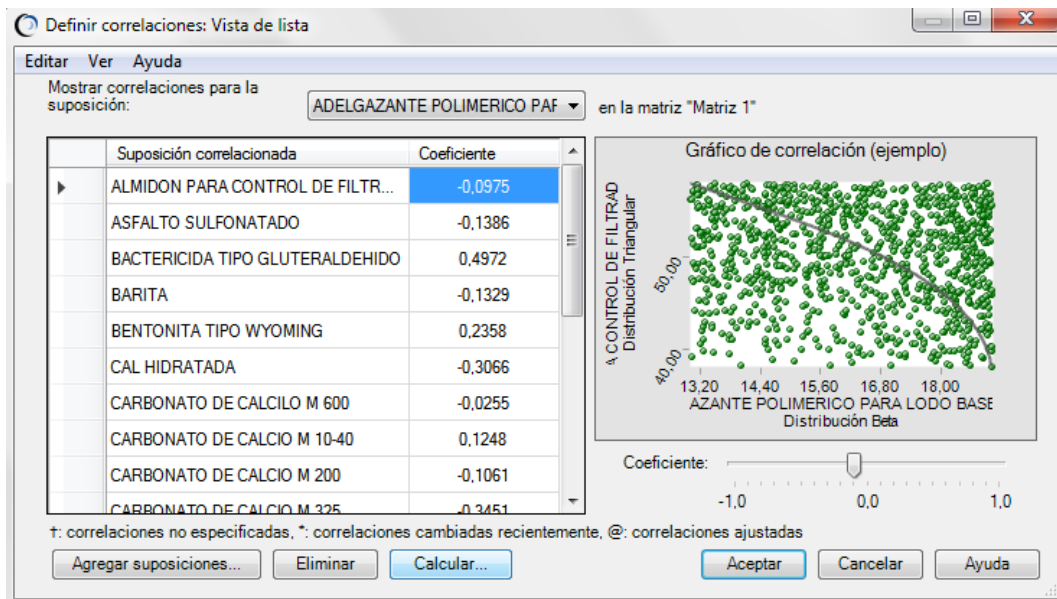
La alternativa automática que provee el programa, se efectúa seleccionando la casilla con el componente a correlacionar siendo para este caso “almidón para control de filtrado”; seguido se da clic en la opción “calcular” que facilitara una nueva pestaña para el ingreso de los respectivos datos históricos de las dos primeras variables; la imagen 25 ilustra los resultados obtenidos de acuerdo a cada ítem con alusión al primer componente, de igual forma el cuadro 26, realiza una guía para la introducción de los datos seleccionando los 15 valores referenciados como historial de precios, teniendo presente que la primera celda de la imagen es disponible para el componente base que sería para este primer ejemplo el Adelgazante Polimérico y la segunda casilla para el resto de los 20 elementos salándose uno a la vez.

**Ilustración 24. Ventana emergente para el ingreso de variables a correlacionar**



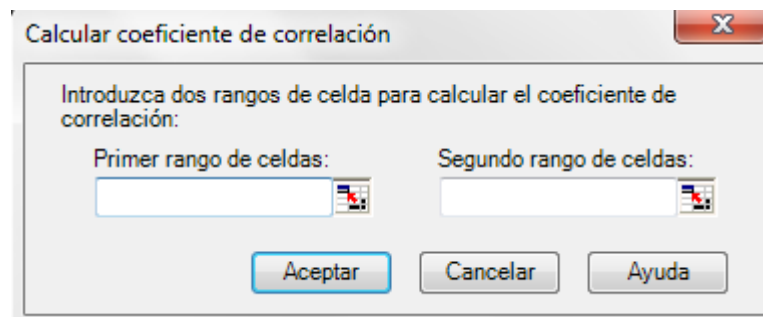
Fuente: Tomado y modificado de los resultado del modelo planteado aplicado en Crystal Ball

**Ilustración 25. Cuadro de definición de correlaciones para el componente adelgazante polimérico para lodo base agua.**



Fuente: Tomado y modificado de los resultado del modelo planteado aplicado en Crystal Ball

**Ilustración 26. Pestaña emergente para el ingreso de los datos históricos referente al proceso de correlación de variables.**



Fuente: Tomado y modificado de los resultado del modelo planteado aplicado en Crystal Ball

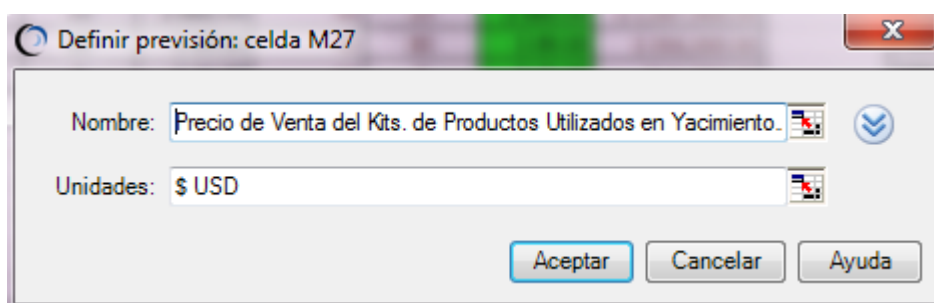
- Los procedimientos mencionados se elaboran para cada como artículo del kit de fluidos de perforación como base en relación con los demás datos históricos, realizándose una matriz total de 209 valores de correlacionados de acuerdo los 21 componentes. Los resultados se podrán apreciar en el anexo A.

## 6.5. DEFINICIÓN DE VARIABLE DE PREVISIÓN

Para la celda previsión es importante tener presente que es una casilla donde se encuentra una fórmula establecida por el modelo, permitiendo al programa realizar una simulación de acuerdo a la restricción que le imprima la ecuación básica o compleja.

**6.5.1. Procedimiento para la asignación de la celda de previsión.** La metodología para esta sección de la simulación es muy sencilla lo importante es presentar la ecuación en una casilla de la hoja de cálculo en Excel y saber en qué unidades se manipulará. Como primera acción se selecciona la celda que se encuentra la ecuación destinada, luego se da clic en la herramienta de “definir previsión”, para que la aplicación muestre una nueva ventana, donde se escribirá el nombre de la variable que tendrá como resultado y la unidad en que se maneja, siendo para este ejemplo, Precio del Kit de productos utilizados para fluidos de perforación en el yacimiento y dólares respectivamente, como lo indica la imagen 27. Al finalizar la celda antes seleccionada tomara el color azul claro representado que ha sido estimada bajo la condición de previsión.

### Ilustración 27. Ventana de ingresos de datos para la celda de previsión.



Fuente: Tomada y modificada del programa Crystal Ball como aplicación del modelo

## 6.6. EJECUCIÓN DE LA SIMULACIÓN

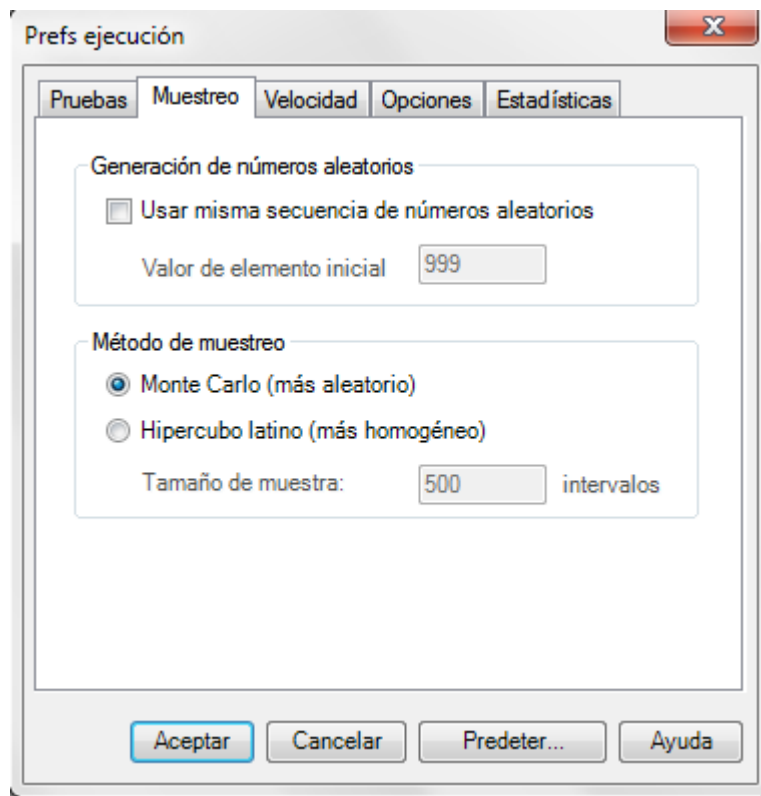
La principal acción es decidir cuantas iteraciones se aplicará para el desarrollo de la simulación, como ya se mencionó anteriormente, el número de pruebas es

la cantidad de escenarios que se recreará para estimar el riesgo o la incertidumbre que existe en desarrollar el modelo planteado. Entre mayor sea las iteraciones, mayor será la probabilidad de encontrar el objetivo y sus excelentes condiciones, este valor depende únicamente del usuario. Para la ejecución del modelo de precio de kit de fluidos de perforación el número de iteraciones es de 5000.

Para asignar el número de pruebas se puede realizar de dos maneras directamente escribiendo el número en la casilla que ofrece la barra de menú en la sección de “ejecutar”, la segunda forma es abriendo la ventana que ofrece “prefs ejecución”, donde se encuentra múltiples pestañas, la primera se escribe la cantidad de iteraciones como el paso anterior, agregando el nivel de confianza que se desea usualmente siempre lo más alto posible, de igual forma, para que se aplique el método de Montecarlo se realiza un clic en el departamento de Método de muestro, asignado la opción del más aleatorio como lo manifiesta la imagen 28, las siguiente pestaña se encuentra la velocidad a la que se desea realizar la simulación, siendo extrema para el modelo planteado, asimismo en la última pestaña se encuentran la función de cálculo y formato de salida a los percentiles..

Por último, se dispone en esta etapa, dar clic en el símbolo de “play” localizado el panel de herramientas en el departamento de ejecución como lo ilustra la figura 16, para hacer correr la simulación de estimación y análisis de riesgo, obteniéndose diversos resultados en el cuadro de pronóstico que presenta la gráfica de frecuencia, sensibilidad y datos estadísticos.

**Ilustración 28. Ventana para el ingreso de dato finales para la simulación de previsión.**



Fuente: Modificado y tomado de Crystal Ball

## **6.7. PROCEDIMIENTOS PARA EL DESARROLLO DEL OPTIMIZADOR OPTQUEST**

La meta principal de esta herramienta en la aplicación de Crystal Ball es encontrar a través de una cantidad de simulaciones un escenario que presente condiciones favorables y óptimos frente a los recursos que se efectúen en el modelo, siendo para el proyecto en estudio una optimización en el ámbito financiero que pudiera presentar la empresa, afectando esencialmente las cantidades de los aditivos, teniendo como base la información utilizada de 4 pozos en construcción infill en el área de los llanos orientales.

Los procedimientos a seguir para desarrollar acertadamente el modelo optimizador se enseñarán a continuación, iniciando desde las variables de decisión, ingreso de objetivos y restricción.

**6.7.1. Asignación de variable de decisión.** Los datos de decisión son aquellos que no presentan un grado de incertidumbre alto, son variables de modelos que se puede ejercer un control específico sobre ellas y brinda al usuario un panorama sobre las soluciones o situaciones más rentable y eficiente, para este caso se ha determinado que dichas celdas son representadas por el ítem de cantidad del proyecto de kit de fluidos de perforación. Estas celdas deben ser diferentes a las celdas de distribución o previsión, de igual manera no pueden ser representadas por ecuaciones, sino por numero reales.

En la designación de las variables de cantidad se debe tener presente unos procedimiento y restricciones como limites numéricos, tipo de datos estadísticos etc. El software lo que busca es establecer que valor para cada dato representado por la celda de decisión será más apropiada.

Los límites establecidos para las variables de decisión del caso base son designados por información referente a otros tres pozos de perforación del área construidos de forma infill, que permitirá encontrar un valor adecuado a un proceso ya ejecutado de las cantidades, como puntos máximos y mínimos (tabla 5) utilizados en sistemas que se encuentra en la misma formación; presentando al usuario un posible escenario de aditivos. A continuación, se sintetizará el procedimiento respectivo para otorgar los valores a las celdas de decisión.

**Ilustración 29. Ventana para asignar las celdas de cantidad con los valores y tipo de dato para cada componente.**

Definir variable de decisión: celda K3

Nombre: ADELGAZANTE POLIMERICOPARA LODO BASE AGUA

Límites

Inferior: 28,80 Superior: 35,20

Tipo

Continua

Discreta Paso: 1,00

Aceptar Cancelar Ayuda

Fuente: Modificado y tomado del software especializado Crystal Ball

**6.7.1.1. Procedimiento.**

- Se procede a seleccionar la celda, recordar que esta celda no puede componerse por una formula debe ser representado por un número real.
- Se da clic en la opción que muestra la herramienta en el departamento de “definir” ilustrada en la imagen 15
- Se abre una pestaña nueva como lo indica la ilustración 29, donde posibilita escribir el nombre de cada componente a medida que se vaya asignando, de igual manera se ingresa lo límites máximos y mínimo establecidos por los pozos de la zona como base de ejecución.
- Por último, se selecciona el tipo de dato a trabajar entre discreto y continuo; teniendo presente que la cantidad que se maneja en el modelo planteado del kit de fluidos de perforación es un numero entero, ya que los productos se acceden a ellos es por unidades completa, por esa razón se asignara el tipo discreto que interpreta mejor estas clases de valores.

- Se da aceptar, y finalmente la casilla de cantidad correspondiente al adalgazante polimérico para lodo base agua toma el color amarillo rectificado que ha sido asignada completamente, asimismo se prosigue a continuar con estos pasos normativos con los demás valores de cantidad.

**6.7.2. Herramienta Optquest.** Para hacer uso de la herramienta optimizadora de Crystal Ball con el modelo que se tiene como ejemplo, se debe iniciar abriendo el Optquest que se encuentra en la barra del menú en la sección de herramientas como lo indica la imagen 17, enseguida emerge una ventana donde el programa ofrece una bienvenida y corta explicación de la función que posee, el cuadro muestra unas series de pestañas de acuerdo a las formulas y opciones que se deben habilitar por el usuario por tal motivo se da clic en “siguiente” o directamente sobre la pestaña de “objetivo”.

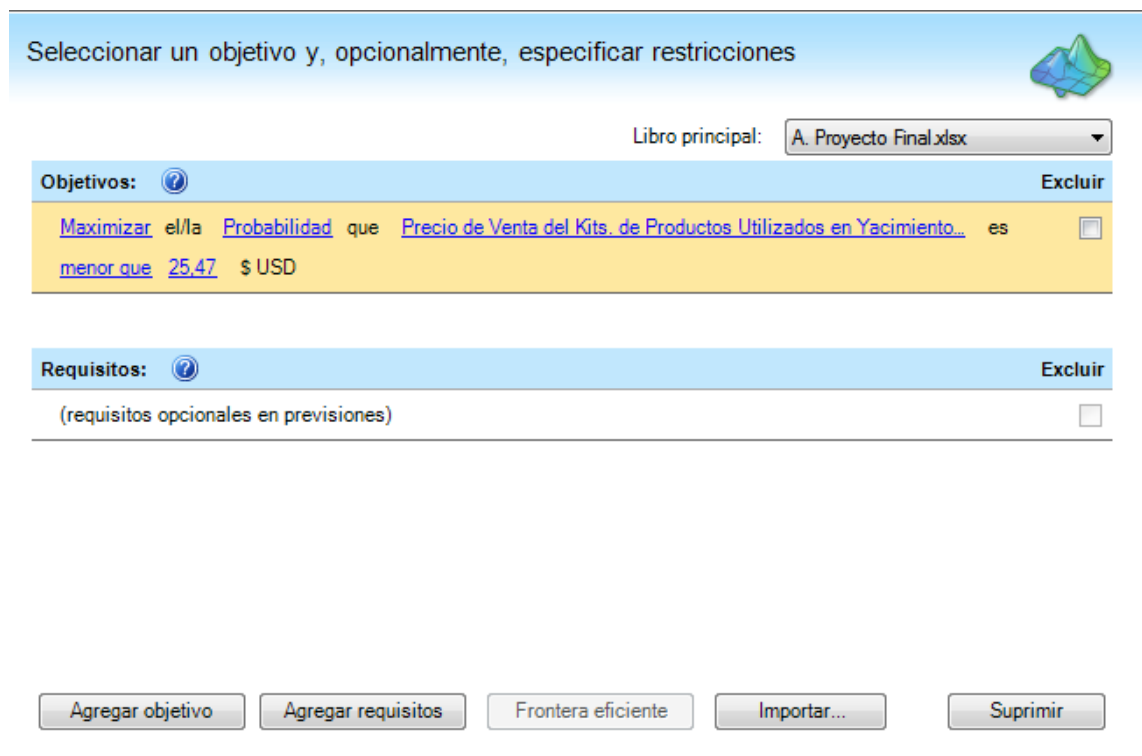
**6.7.2.1. Ventana de transcripción del objetivo.** En la nueva pestaña que se dispuso se debe ingresar el objetivo a cumplir por el modelo que se planteó bajo teniendo en cuenta las condiciones que le imprimió a las celdas de previsión y decisión, siendo el precio del kit de los productos utilizados en los fluidos perforación como las cantidades respectivamente, de igual modo el software brinda opciones prácticas y cómodas para transcribir el objeto a conseguir.

La primera alternativa que permite el optimizador es maximizar o minimizar la función de acuerdo a la simulación, el segundo parámetro a asignar es el tipo la función que se analizara, las alternativas que se permiten son varias como: Desviación estándar, probabilidad, certeza, media, sesgo, coeficiente de variación, etc.

Por último, se busca el parámetro a simular normalmente es el valor de previsión que el determinante en todo el modelo, asimismo las restricciones de costos o de valores que provean a la celda mencionada anteriormente.

El objetivo para el modelo propuesto se estipulo de la siguiente forma: Maximizar la probabilidad de precios de los kits de productos de fluidos de perforación usados en yacimiento es menor a \$ 25,47 dólares. En la imagen 30 se muestra lo referido anteriormente.

**Ilustración 30. Ventana emergente de la herramienta Optquest para el ingreso de los objetivos.**



Fuente: Tomado y modificado de Crystal Ball

Se concretó de esta manera debido a la facilidad que ofrecía la interpretación de resultado y el enfoque especializado economizar los productos que hacen parte del kit para fluidos de perforación.

**6.7.2.2. Ventana de variables de decisión.** Como se asignó previamente las celdas de decisión a las variables de cantidad de cada componente, en la nueva pestaña emergida deben aparecer en forma de lista, donde facilita congelar algún ítem o dato que se requiera simular con otro grupo de variables para su respectivo análisis, la siguiente imagen 31 representa lo indicado.

**Ilustración 31. Ventana de certificación y modificación de celdas de decisión.**

Revisar variables de decisión y cambiar propiedades según sea necesario

Mostrar ubicaciones de celdas

Variables de decisión	Límite inferior	Caso base	Límite superior	Tipo	Paso	Con...
ADELGAZANTE POLIMERICOPARA LODO BASE AGUA	30.00	32.00	37.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
ALMIDON PARA CONTROL DE FILTRADO HPHT 300 F	175.00	185.00	200.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
ASFALTO SULFONATADO	190.00	197.00	205.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
BACTERICIDA TIPO GLUTARALDEHIDO	50.00	56.00	68.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
BARITA	2.310.00	2.382.00	2.548.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
BENTONITA TIPO WYOMING	19.00	21.00	25.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
CAL HIDRATADA	120.00	124.00	135.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
CARBONATO DE CALCIO M 10 40	19.00	25.00	27.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
CARBONATO DE CALCIO M 200	112.00	120.00	129.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
CARBONATO DE CALCIO M 325	600.00	640.00	685.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
CARBONATO DE CALCIO M 600	[A. Proyecto Final.xlsx]Modelo básico correlacionado 'ISK512			Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
CELULOSA POLIANIONICA DE BAJA VISCOSIDAD	160.00	170.00	178.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
ENCAPSULADOR DE ARCILLA	75.00	82.00	92.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
GOMA DE XANTHAN	105.00	109.00	118.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
GRAFITO MATERIAL OBTURANTE FMG	98.00	105.00	112.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
INHIBIDOR DE ARCILLA TIPO POLYAMINA	25.00	28.00	32.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
LUBRICANTE Y REDUCTOR DE TORQUE DE ORIGEN VEGETAL	50.00	53.00	60.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
MEJORADOR DE ROP ANTI ACRECION Y ANTI EMBOTAMIENTO BASE HID...	16.00	23.00	28.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
POLIACRILATO DE SODIO	71.00	80.00	89.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
SECUESTRANTE DE CO2	6.00	6.00	8.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>
SODA CAUSTICA	1.00	6.00	2.00	Discreto	1.00	<input type="checkbox"/>

< Atrás      Siguiente >

Ejecutar      Cerrar      Ayuda

Fuente: Tomado y modificado del optimizado Optquest en Crystal Ball

**6.7.2.3. Ventana de restricciones.** Las restricciones son el mecanismo que permite al optimizador mantener unos parámetros al momento de ejecutar el modelo en la cantidad de simulaciones propuesta, en el espacio que brinda el software brinda la forma de incluir unas formulas simples, para el ejemplo que se mantiene, se determinó como restricciones que el Optquest encuentre el mejor escenario sin sobrepasar los valores iniciales estipulados, pero teniendo presente los limites ofrecidos por la información recolectada de pozos aledaños al caso estudio como lo señala la imagen 32.

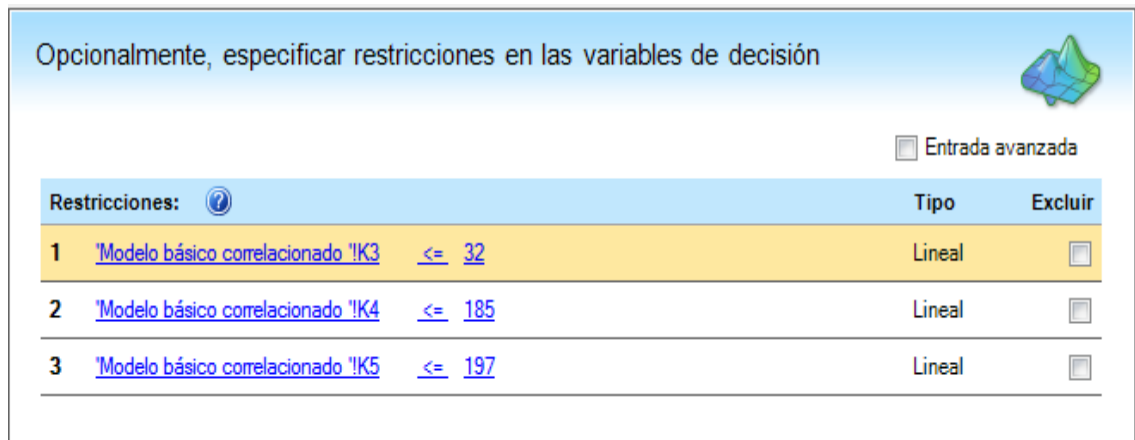
$$C \leq D$$

Donde:

*C*: cantidad estimada de cada componente del kit de fluidos de perforacion

*D*: datos iniciales de cantidad de cada componente

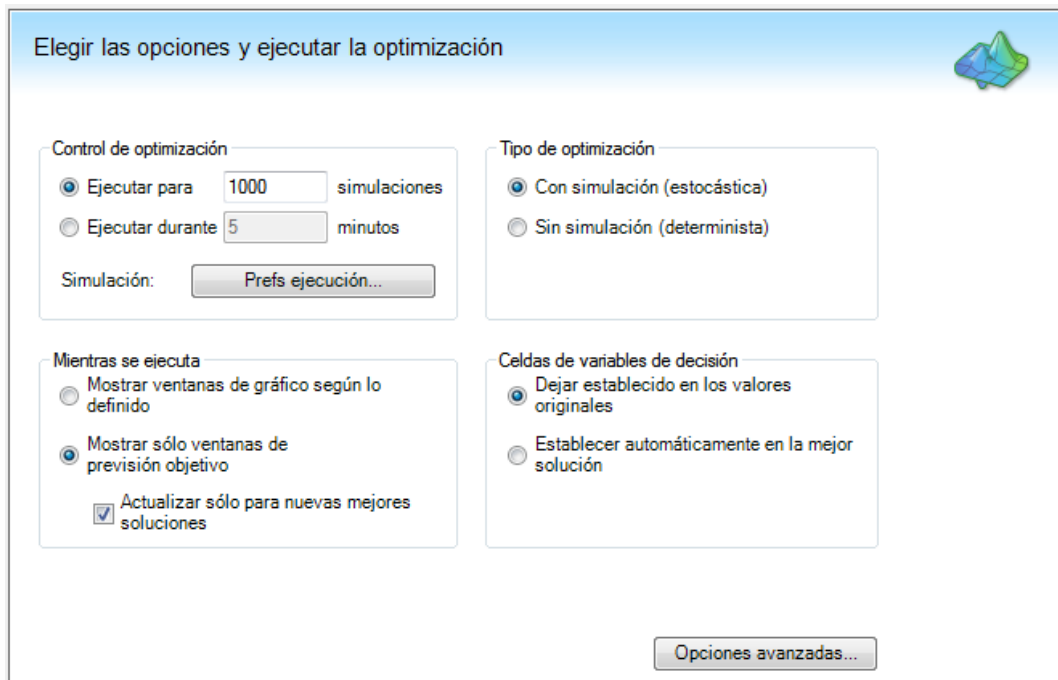
**Ilustración 32. Ventana emergente para el ingreso de fórmulas de restricciones.**



Fuente: Tomado y modificado del optimizador Optquest en Crystal Ball

**6.7.2.4. Ventana de opciones finales.** La pestaña permite elegir las opciones de 4 secciones, las importante es el control de optimización, donde se escribe el número de simulaciones a ejecutar, para el caso en estudio será una cantidad de 500, de igual modo el tipo de optimización siendo para estocástica y las más usada, otro factor importante es autorizar en la parte de las “Celdas de variables de decisión” que se establezcan en las casillas los valores originales para realizar una comparación y un orden exacto estas pautas se encuentran ilustradas en el gráfico 33.

**Ilustración 33. Ventana emergente para ejecución de datos finales en la simulación del optimizador.**



Fuente: Tomado y modificado del optimizador Optquest en Crystal Ball

**6.7.2.5. Ejecución final.** Ya para dar culminación a este montaje del modelo y datos esenciales se da clic en acepta y proceder a realizar el respectivo análisis de resultado obtenidos de la correr la simulación, sin embargo aplicar este proceso toma su respectivo tiempo debido a que cada por cada simulación que se escribió que fueron 500 se realiza las 5000 iteraciones, cuando culmine este proceso el software enseñara un cuadro de pronósticos de la misma manera que la simulación pasada pero son la diferencia que muestras los valores más apto en un escenario determinado.

## 6.8. PRESENTACION DE RESULTADOS

La meta que se busca en la solución y diseño del modelo planteado, es realizar una metodología detallada que permita desarrollar una análisis económico de un proyecto estadístico enfocado en el área de fluidos de perforación, aplicándose en el software especializado Crystal Ball con los principios básicos de Método

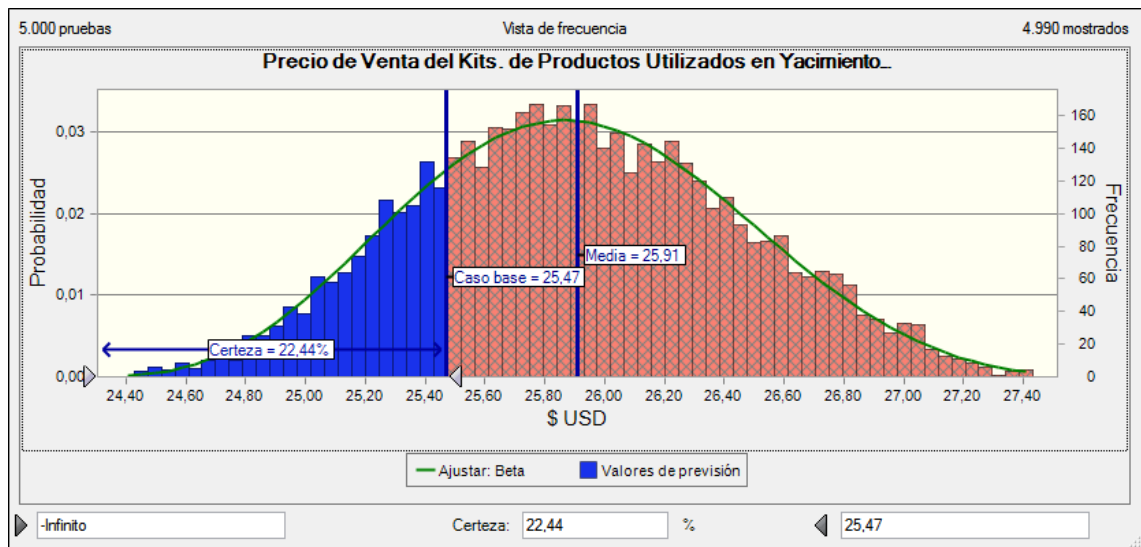
Montecarlo, de igual modo establecer el escenario más óptimo con la herramienta Optquest que brinda el programa, todo basándose en un proceso ya formulado donde requiere concretar cuál es la incertidumbre o nivel de probabilidad de exceder el costo estimado inicialmente, en relación de un valor específico de los 21 componentes del kit de fluidos de perforación utilizados en el yacimiento con la profundidad del pozo, por tal razón fue necesario disponer de variables de cantidad, costo por cada unidad, asimismo la longitud del pozo, y margen de utilidad, estableciendo un valor denominado “precio del kit” que afronta a un desasosiego de un mercado de oferta y demanda, es decir precios variables acondicionando un historial de 15 ítems, del mismo la aplicación de la simulación se fundamenta en la presentación de un informe que exponga un amplio panorama de datos de frecuencia, gráficos de probabilísticos, tablas de sensibilidad, percentiles, el porcentaje de certeza de aplicar el plan de acción correctamente y el mejor entorno numérico que se establezca de la optimización. lo estipulado anteriormente se describirá detalladamente en la sección de este libro.

Para el cálculo del porcentaje de certeza y los resultados de la optimización fue necesario contar con información obtenida del historial de costos.

Para el reporte de datos finales y el análisis correspondiente se debe distribuir en dos secciones la primera parte se conformaría de los resultados obtenido de la simulación de las variables de previsión y supuestos; como segundo ámbito el informe ofrecido por el optimizador Optquest y las celdas de decisión.

**6.8.1. Resultados de la simulación de previsión.** La simulación de previsión que es complementada con las celdas determinadas datos probabilísticos se desarrolla como primera opción ya que establece el riesgo que se generaría aplicar el proyecto brindando la alternativa de modificar datos o establecer el plan de acción a aplicar, asimismo el programa manifiesta un cuadro de pronósticos como primer resultado.

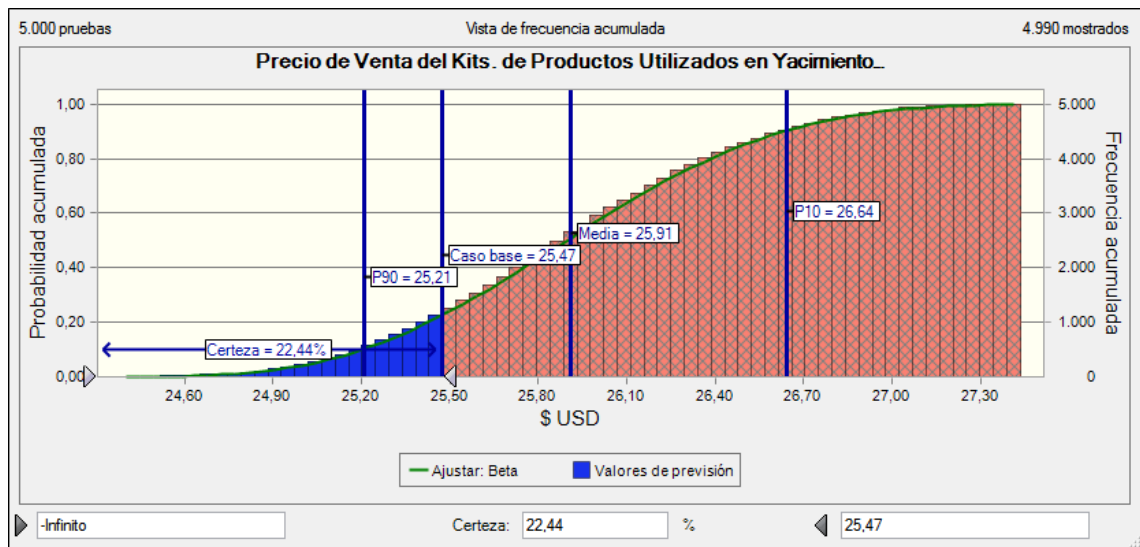
**Ilustración 34. Cuadro de pronósticos, resultados de la simulación de previsión.**



Fuente: Tomado y modificado del software Crystal Ball

La imagen 34 representa la frecuencia y probabilidad para efectuarse el modelo, teniendo como principal parámetro el riesgo que presenta la variable de previsión del precio del kit de fluidos de perforación bajo el comportamiento del historial de precios, revelando que el grado de certeza de que el modelo supere el precio estimado es de 25,47 USD\$ por cada pie de profundidad es de 77,46%, bajo un número de iteraciones de 5000 y nivel de confianza de 99% programado previamente; la sección de la gráfica simbolizada por el color rojo alude al porcentaje de exceder, mientras que la figura revelada de un color azul simboliza con un 22,44%. Se estimó de manera promedio que en la solución del proyecto se debe tener presente el nivel de probabilidad para ejecutarlo, siendo representativamente bajo y no apto para la rentabilidad de una empresa. Sin embargo, la posibilidad que enseña el cuadro de pronósticos indica que realizando un cambio en el valor de las unidades o cantidades se puede obtener una probabilidad más alta de conseguir el objetivo pronosticado. Para amplificar tal número de certeza se debe realizar una optimización que rectifique y proponga al usuario un entorno más favorable pero la última decisión siempre dependerá del Ingeniero.

**Ilustración 35. Cuadro de pronósticos con el histograma de frecuencia acumulada.**

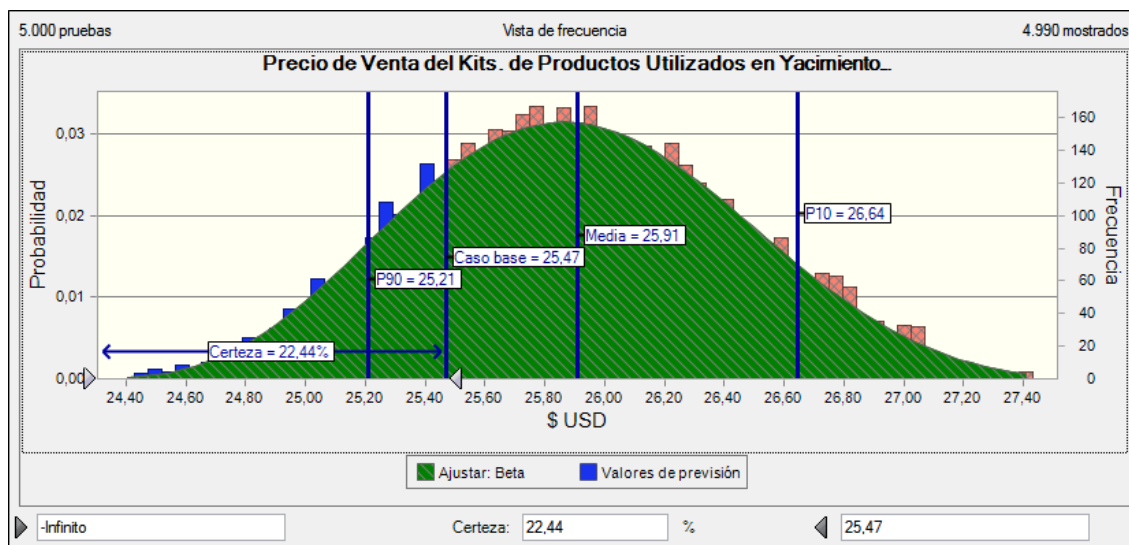


Fuente: Tomado y modificado del software Crystal Ball

En la ilustración 35 representativa de la frecuencia acumulada, se observa que el valor de la media es de 25,91 USD\$ siendo el dato con la probabilidad más alta, del mismo modo se encuentra los percentiles de 10% y 90%; de las 5000 pruebas que se otorgaron realizar, el cuadro de pronóstico de frecuencia solo muestra 4990 por motivo de que existen algunos valores que corresponde a valores externos que no se exponen en la figura.

El ajuste probabilístico que el software Crystal Ball asimilo más apropiado para el comportamiento presentado de la variable Kit de fluidos de perforación es el tipo beta, este paso es una alternativa que genera el programa realizando un estudio completo en muy poco tiempo, esta opción se recrea dando uso de la herramienta “previsión” del programa que se encuentra en la parte superior de la gráfica de histogramas de frecuencia, lográndose de forma rápida, eficiente y precisa. La gráfica 36 expone con área de color verde la conducta de este tipo de ajuste estadístico.

**Ilustración 36. Cuadro de pronóstico con el gráfico de distribución representativo de la simulación (Tipo Beta).**



Fuente: tomado y modificado del software Crystal Ball

A continuación, se presenta un cuadro establecido con los datos estadísticos que se lograron en la aplicación de la simulación. Para extraer de manera fácil los valores en la figura 33 se procesa a dar clic en la opción de “visualizar” ubicada en el menú del cuadro de pronósticos y se abre la ventana de “Estadísticas” donde surge una pestaña con los datos, segundo paso es usar la herramienta “Editar” y por último copiar “Cuadro Estadístico”.

**Tabla 7. Presentación de datos estadísticos.**

Previsión: Precio de Venta del Kits. de Productos Utilizados en Yacimiento		
Estadística	Ajustar: Beta	Valores de previsión
Pruebas	---	5.000
Caso base	---	25,47
Media	25,91	25,91
Mediana	25,89	25,89
Modo	25,86	---
Desviación estándar	0,54	0,55
Varianza	0,3	0,3
Sesgo	0,1159	0,1159

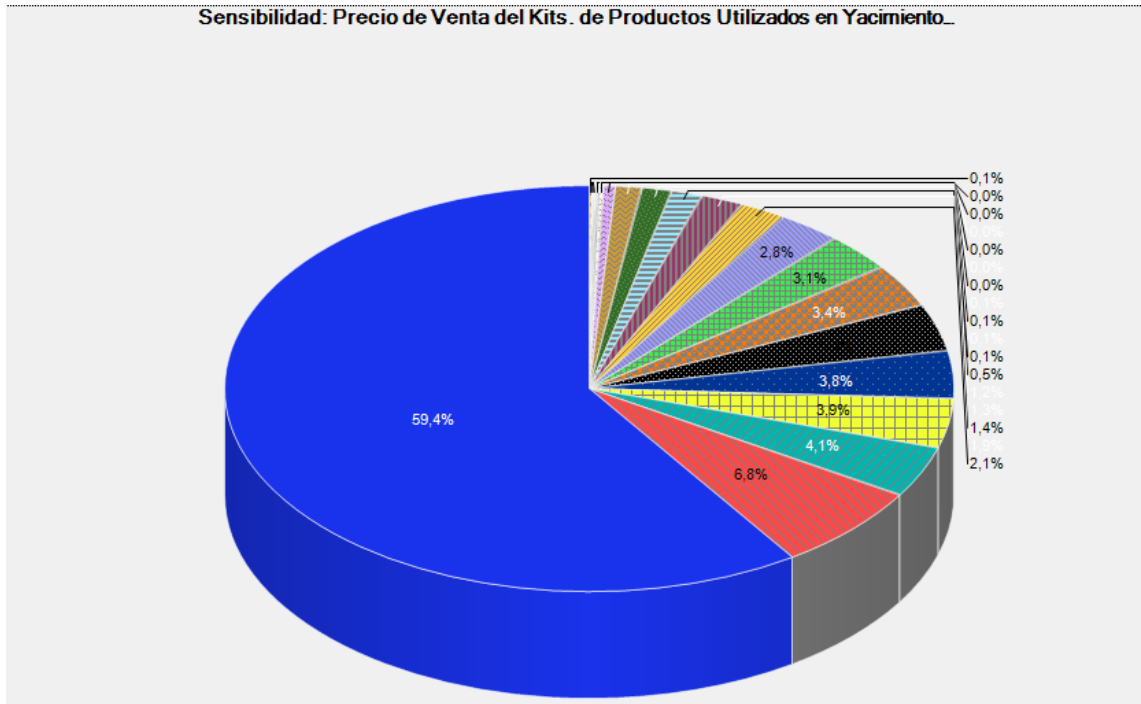
<b>Previsión: Precio de Venta del Kits. de Productos Utilizados en Yacimiento</b>		
<b>Estadística</b>	<b>Ajustar: Beta</b>	<b>Valores de previsión</b>
Curtosis	2,62	2,62
Coefficiente de variación	0,021	0,021
Mínimo	24,14	24,35
Máximo	28,12	27,64
Error estándar medio	---	0,01

Fuente: Tomado y modificado del software Crystal Ball

En la anterior Tabla 7 se observa los valores promedio o más prominentes de las diferentes variables estadísticas, haciendo una breve comparación entre el ajuste de probabilidad automatizado de Crystal Ball y los valores de previsión arrojado por la simulación, donde se confirma que el precio del kit más predominante es de 25.91 para ambos casos excediéndose del costo original 0,44 USD\$ por cada pie de profundidad, sumando un costo total de 4400 USD\$ un precio relativamente alto. Asimismo, se encuentran los ítems de máximo y mínimo de las tarifas que podría ocasionar con un porcentaje de que pase muy extremo.

El gráfico de sensibilidad se exporta aplicando clic en la sección de “previsión” en la barra de menú del mismo cuadro de pronósticos, luego se abre la opción de “sensibilidad”, obteniendo un resultado como la siguiente imagen

**Ilustración 37. Gráfico de sensibilidad.**



Suposiciones

* BARITA	* ALMIDON PARA CONTROL DE FILTRADO HPHT > 300 F
* CELULOSA POLIANIONICA DE BAJA VISCOSIDAD	* MEJORADOR DE ROP
* GOMA DE XANTHAN	* BENTONITA TIPO WYOMING
* ADELGAZANTE POLIMERICO PARA LODO BASE AGUA	* SODA CAUSTICA
* CARBONATO DE CALCIO M 10-40	* POLIACRILATO DE SODIO
* SECUESTRANTE DE CO2	* ENCAPSULADOR DE ARCILLA
* CARBONATO DE CALCILO M 600	* CARBONATO DE CALCIO M 325
* CAL HIDRATADA	* ASFALTO SULFONATADO
* BACTERICIDA TIPO GLUTERALDEHIDO	L15
L6	L19
L12	* INHIBIDOR DE ARCILLA TIPO POLYAMINA
PUS	* GRAFITO MATERIAL OBTURANTE (F.M.G)
L21	Otros

Fuente: Tomado y modificado del software Crystal Ball

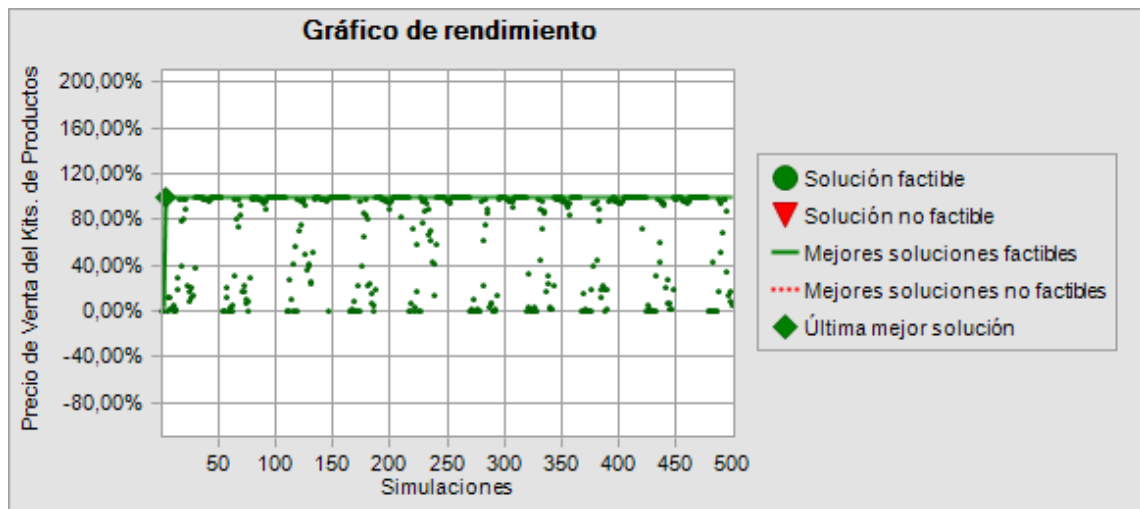
En el análisis del cuadro de sensibilidad y los datos obtenidos en la ilustración 37, se puede examinar como cumple un papel específico dentro de la simulación del modelo tanto de forma positiva como negativa, haciendo gran énfasis el costo de cada componente, cada artículo es representado con un color específico, además muestran el nivel que afecta en la unidad de porcentaje siendo el de mayor impacto el componente “Barita” con un 59,4%, seguido de “Almidón para control de filtrado” de valor 6,6%, para el primer caso sucede debido a que es uno de los artículo que mayor aplicación presenta dentro de la simulación del kit con una cantidad de 2382 unidades y a su vez cada unidad se compone de 100lbs siendo en un total 238200 Lbs a un costo correspondiente.

En el anexo D se presentará el cuadro visible y detalladamente

**6.8.2. Resultado de la simulación Optquest.** Como solución que brinda la herramienta Optquest para el modelo en estudio, se analiza la posibilidad de efectuar una evaluación acertada estableciendo la alternativa más prudente dentro de las variables de cantidades, permitiendo modificar lo estipulado en la simulación de previsión, buscando aumentar el grado de certeza hallado anteriormente, mediante el cambio prudente de las cantidades utilizadas para el kit ofreciendo al usuario un escenario más amplio y de mayor rentabilidad económica. Siendo la opción que define completamente la ejecución del proyecto bajo los criterios del ingeniero.

Para implementar el modelo en el optimizador, se concretó una prueba de 500 simulaciones con 5000 iteraciones cada una, este proceso se desarrolló en un tiempo de 09 minutos y 2 segundos exactamente, los resultados obtenidos durante la simulación del Optquest son ilustrados en la figura 38.

**Ilustración 38. Gráfico de rendimiento obtenido como resultado de la simulación por parte del optimizador.**

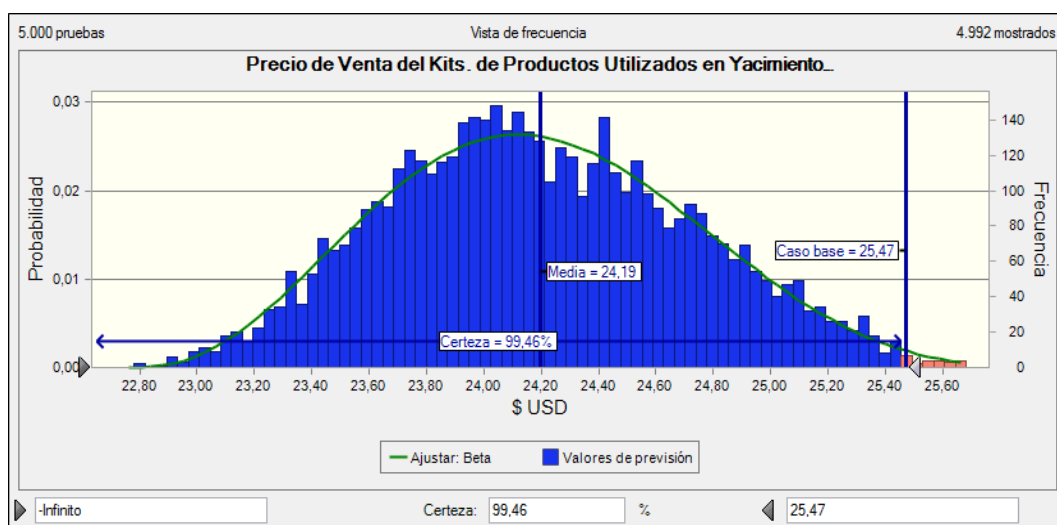


Fuente: Tomado y modificado de Optquest software Crystal Ball

El objetivo base para la herramienta optimizadora se fundamenta en maximizar la certeza de la media del precio de kit de los fluidos de perforación utilizados en el yacimiento, siendo establecida como el punto de partida valores menores del dato de previsión inicial de 25,47 USD\$ para un costo total de 195,938 USD\$.

El cambio en el Gráfico 39 donde se puede observar la mejor solución determinada por el software y así mismo los valores factibles como datos de dispersión, disponiendo de una conducta final de 99,4%.

### Ilustración 39. Cuadro de pronósticos; resultados de la simulación del optimizado



Fuente: Tomado y modificado del Optquest software Crystal Ball.

Como resultado final de la simulación se dicta que el histograma de frecuencia cambio lo suficiente ilustrando el nuevo valor medio de 24,19 USD\$ para el kit siendo a su vez el valor que proyecta mayor posibilidad de efectuarse en la aplicación del proyecto si se decide y puede modificar las variables de cantidad bajo el análisis respectivo del usuario, aumentando la certeza a 99% donde se tiene presente que el caso base es de 25,47 USD\$.

**Tabla 8. Datos estadísticos obtenidos de la simulación de Optquest.**

Estadísticas:	Valores de previsión
Pruebas	5.000
Caso base	25,98
Media	24,20
Mediana	24,17
Modo	---
Desviación estándar	0,52
Varianza	0,27
Sesgo	0,1538
Curtosis	2,63
Coefficiente de variación	0,0216
Mínimo	22,69
Máximo	25,90

Fuente: tomado y modificado del Optquest software Crystal Ball.

La Tabla 8 de los datos estadísticos, muestra cambios sorprendentes donde se enfoca en el porcentaje de certeza arrojado por la simulación de previsión, buscando obtener el mejor contexto para el desarrollo del plan, estableciendo como el punto máximo y mínimo de 22,69 y 25,90 USD\$ respectivamente, con una desviación estándar de 0,52 y la media de 24,20 bajo las condiciones estipuladas por el optimizador en la tabla 8.

La tabla 9 muestra el contexto más óptimo para un escenario de aplicación del proyecto apropiado donde las condiciones establecidas, conlleva aumentar la probabilidad de ejecución casi al doble en comparación con las iniciales, sin embargo, la decisión final la tomara el ingeniero del proyecto que indicara si es posible los cambios realizados bajo las limitaciones que presente la zona geológica y los requisitos del yacimiento.

**Tabla 9. Valores de decisión (cantidades) en un escenario óptimo.**

VARIABLES DE DECISIÓN.	Mejor solución:
ADELGAZANTE POLIMERICOPARA LODO BASE AGUA	30
ALMIDON PARA CONTROL DE FILTRADO HPHT 300 F	175
ASFALTO SULFONATADO	190
BACTERICIDA TIPO GLUTARALDEHIDO	50
BARITA	2.310
BENTONITA TIPO WYOMING	19
CAL HIDRATADA	120
CARBONATO DE CALCIO M 10 40	19
CARBONATO DE CALCIO M 200	112
CARBONATO DE CALCIO M 325	600
CARBONATO DE CALCIO M 600	1.210
CELULOSA POLIANIONICA DE BAJA VISCOSIDAD	160
ENCAPSULADOR DE ARCILLA	75
GOMA DE XANTHAN	105
GRAFITO MATERIAL OBTURANTE FMG	98
INHIBIDOR DE ARCILLA TIPO POLYAMINA	25
LUBRICANTE Y REDUCTOR DE TORQUE DE ORIGEN VEGETAL	50
MEJORADOR DE ROP ANTI ACRECIION Y ANTI EMBOTAMIENTO BASE HIDROCARBURO Y VEGETAL	16
POLIACRILATO DE SODIO	71
SECUESTRANTE DE CO2	1
SODA CAUSTICA	6

Fuente: tomado y modificado del Optquest software Crystal Ball.

**Tabla 10. Valores de los percentiles.**

<b>Valores de previsión final</b>	
P100	25,90
P90	24,90
P80	24,66
P70	24,47
P60	24,31
P50	24,17
P40	24.05
P30	23,89
P20	23,74
P10	23,52
P0	22,69

Fuente: tomado y modificado del Optquest software Crystal Ball.

La Tabla 10, ilustra los percentiles que se obtuvieron en la simulación de la herramienta Optquest. Donde se puede realizar una comparación con los percentiles iniciales arrojando soluciones optimas en un rango de datos favorables, sin superar el presupuesto estimado inicialmente del precio del kit en relación por cada pie de profundidad.

El programa Crystal Ball desarrolla un informe detallado de todas las simulaciones, variables y resultados favorables, para un mejor análisis por parte del usuario de las condiciones del precio y rentabilidad del kit fluidos de fluidos de perforación como modelo en estudio, dicho reporte se realiza dando clic en la opción de “Crear Informe” ubicado en la sección de analizar en la barra del menú. Los informes respectivos se encuentran en el anexo E. Asimismo, es prudente mencionar que los valores mostrados en este trabajo pueden variar en un rango aceptable a medida que se reinicie la simulación o se disponga a efectuarse en otro equipo computarizado, aun así, si se dispone como referencia los mismo datos y variables, esto de se debe a que cada ordenador puede asumir diferentes números aleatorios bajo el principio de Método Montecarlo, creando una discrepancia que se reflejara en los resultados.

## 7. CONCLUSIONES

- Se estimó un nivel de certeza de 23%, bajo el riesgo de no superar el precio 25,47 USD\$ referente al kit de fluidos de perforación, siendo no apropiada y eficiente para la ejecución del proyecto, siendo necesario realizar una optimización para aumentar la seguridad de aplicabilidad.
- Se obtuvo un aumento de probabilidad de ejecución del modelo de 23% a 98% aplicando la simulación de Optquest, que determinó el mejor escenario económico para el proyecto presentado como ejemplo el aditivo de bentonita o barita de acuerdo a la información obtenida de los pozos del área.
- La aplicación de Optquest como herramienta de Crystal Ball, estipuló el mejor escenario para las variables de cantidad de cada componente, con 500 simulaciones compuestas de 5000 pruebas cada una, donde la media del precio por kit de aditivos para la perforación es 24,20 menor a 25,47 USD\$.
- Se estableció un modelo con la metodología correspondiente que permite realizar una simulación que ofrece como resultado, escenarios óptimos con sus respectivas mejoras de datos, asimismo postula al usuario el ambiente más deseado para la aplicación del proyecto bajo los criterios constituidos inicialmente.

## 8. RECOMENDACIONES

- Realizar estudio específico de un modelo involucrando una cantidad de datos históricos más amplio, conllevaría a determinar un comportamiento más detallado y definido de los costos que presentara los 21 componentes representantes del kit fluido de perforación, con una mayor certeza que contribuiría a un análisis de los resultados de la metodología más eficiente.
- Desarrollar la metodología con un pozo no convencional teniendo en cuenta las propiedades petrofísicas dentro del modelo, aplicando el análisis para un proyecto estadísticos completo en función de los fluidos de perforación.
- En el diseño de aplicación de un modelo probabilístico en el software especializado se plantean diferentes restricciones o pautas a tener en cuenta, se sugiere que realizar recaudar suficiente información inicial y representativa de tipo de fluido a utilizar, como el número de componentes, cantidades especificadas y un historial de precios por cada ítem establecido dentro del kit, de igual modo la profundidad para formar la relación en base al costo.
- En la ejecución de la herramienta Optquest es importante disponer de un objetivo claro de acuerdo a la meta a conseguir en la celda de previsión, que se establece con las opciones que implanta el software que a su vez tiene presente las restricciones desarrolladas por el usuario y el modelo en estudio, que constituirá los límites en la simulación final.

## BIBLIOGRAFIA

AZOFEIFA, C. E. Aplicación de la simulación Montecarlo en el cálculo de riesgo usando Excel. Tecnología en Marcha 2004

AVILA Carlos, "Medicion y control de riesgos finacinciero en empresas del sector real" 2005, (6).

BENITEZ HERNANDEZ miguel angel, GARAICOHECA PETRIRENA Francisco, REYES ALVAREZ Ciro, Apuntes de fluidos de perforación, universidad nacional autónoma de México, facultad de ingeniería, división de ingeniería de ciencias de la tierra, departamento de explotación de petróleo, p.6,7,8,9

BENÍTEZ HERNÁNDEZ Miguel Ángel, GARAICOECHEA Francisco, REYES ÁLVAREZ Ciro Fluidos de perforación, división de ingenierías en ciencias de la tierra, departamento de explotación del petróleo, universidad nacional autónoma de México,

CRUZ R Alfonso, "Ingeniería de perforación", Tecana american university, Acelerante degree program, Doctorate of science in petroleum, Engineering technology, cabinas 19 febrero de 2009, p.13,14

CRYSTAL BALL Software de análisis y simulador de riesgo, Universidad Nacional De Colombia, Diana Patricia León Sánchez, Ingrid Milena Quintero Rodríguez, William Zuluaga Muñoz, Bogotá Colombia-2004.

CONESA, E. GARRIDO, A. "simulación por el método de Monte Carlo para generar criterios de aceptación en el control de calidad de construcción. Cartagena España, 2009 (p. 77).

DECISIONEERING, INC. Crystal Ball 7.2 Guía de inicio, Denver (2006), p. 6

DECISIONEERING INC, Optquest 2.3, User Manual Crystal Ball, Denver Colorado, USA, Pag (4).

FAULIN, J. (s.f.). Simulación de Montecarlo con Excel.

Fluidos de perforación de emulsión reversible para un mejor desempeño del pozo, Syed Ali, Chevron Texaco, Houston Texas, EUA, SLB.

Fundamentos de los fluidos de perforación, Don Williamson Editor colaborador, SLB.

Guía de Fluidos de perforación y Laboratorio. Fredy Guaracha Lara.

INSTITUTO AMERICANO DEL PETRÓLEO Manual de fluidos de perforación, , Dallas Texas.

LEON, QUINTERO, ZULUAGA, Crystal Ball, Universidad Nacional de Colombia, Bogotá, 2004 P. 15

OROZCO Fernando, ROCHA Nelso, “determinación de potenciales en pozos horizontales y desviados para flujo en dos fases usando una herramienta software en simulación Montecarlo. 2008, p.113

PDVSA Fluidos de perforación, 2002 centro internacional de educación y desarrollo (CEID).

REDCHUK, BAQUELA. “optimización matemática con R.”, introducción al modelado y resolución, Vol. 1, 2013, P.13.

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA, Ministerio del Poder popular para la Defensa, Universidad Nacional Experimental de la Fuerza Armada UNEFA, Núcleo Carabobo – Sede Naguanagua, Fluidos de perforación y sus funciones.

ROMAI Yran Fluidos de perforación;; México 2008.

SCHLUMBERGER, Definición de fluidos de perforación, fundamentos de los fluidos de perforación, Oíl Review primavera volumen 25 No 1, Don Williamson Editor colaborador, 2013, p.67,69

Simulación método montecarlo, Facultad de ciencias exactas, Universidad Nacional Del Centro De La Pcia De Buenos Aires Argentina, Investigación Operativa I 2005.

UNIVERSIDAD DE ORIENTE, núcleo Monagas, escuela de ingeniería de petróleo, laboratorio de perforación, Fredy Marshall, Carlos E. Díaz B. C.I: 17933806

Utilización del Crystal Ball para aplicar el modelo de simulación monte Carlo, universidad nacional de cuyo, Coloma Ferra y Claudia Botteon.

W. ERWIN DIEWERT, “cost functions”, The New Palgrave Dictionary of Economics, 2nd Edition· 2008.