

**ANÁLISIS FINANCIERO DE LA CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS DIESEL A  
GNV EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA UTILIZANDO PROYECCIONES  
DE MERCADOS Y SIMULACIÓN CON UN MODELO BROWNIANO  
GEOMÉTRICO CON REVERSIÓN A LA MEDIA**

**JUAN CARLOS TORO MUÑOZ**

**CARLOS FERNANDO PINTO ARGUELLO**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
BUCARAMANGA**

**2009**

**ANÁLISIS FINANCIERO DE LA CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS DIESEL A  
GNV EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA UTILIZANDO PROYECCIONES  
DE MERCADOS Y SIMULACIÓN CON UN MODELO BROWNIANO  
GEOMÉTRICO CON REVERSIÓN A LA MEDIA**

**JUAN CARLOS TORO MUÑOZ**

**CARLOS FERNANDO PINTO ARGUELLO**

**Proyecto de grado para optar al Título de  
Ingeniero Industrial**

**Director**

**CARLOS ENRIQUE VECINO ARENAS, Ph.D.**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO MECÁNICAS  
ESCUELA DE ESTUDIOS INDUSTRIALES Y EMPRESARIALES  
BUCARAMANGA**

**2009**

## **AGRADECIMIENTOS**

Gracias a Dios todo poderoso quien con su obra, veo hoy reflejada su mano protectora en todos los aspectos de mi vida, gracias a mi madre Olga Muñoz de Toro por este regalo misterioso de la vida, gracias a mi esposa Sandra Chinchilla Farello y a mis hijos Valentina y Juan José Toro Chinchilla por su amor, comprensión y apoyo incondicional, gracias a Carlos Vecino por su guía, gracias a Juan José González, quien me apoyó en todo momento en el desarrollo del modelo, gracias a Moniquita por su apoyo incondicional durante toda mi carrera, gracias a mis viejos quienes murieron con la esperanza de verme triunfar, gracias a quienes pacientemente permitieron hacer de este sueño realidad. A todos aquellos que tuvieron que ver conmigo..... sinceramente, gracias....

### **JUAN CARLOS TORO MUÑOZ**

Gracias a Dios por bendecirme con una familia maravillosa, por iluminarme y acompañarme durante este proceso y en cada momento de mi vida; gracias a mis padres, Maria Graciela Argüello y Pablo Emilio Pinto por apoyarme en todas mis decisiones, por todos los sacrificios que hicieron para que este sueño sea hoy realidad, por su amor incondicional y ejemplo de vida; agradezco a mis hermanos Adriana Marcela y Diego Armando Pinto Argüello por su apoyo en los buenos y malos momentos; gracias a Mocaná por ser excelentes amigos y por esa grata experiencia vivida; gracias a Astrid Reyes por su amistad incondicional y su ayuda en mi formación académica y personal; gracias a Juan Carlos Toro por su guía durante mi experiencia como EPI y por su ejemplo de vida; agradezco a las familias y amigos que elevaron oraciones a Dios durante este proceso para que todo saliera bien, así como a mis amigos y compañeros de estudio por su acompañamiento durante mi formación académica, de ustedes, me llevo un grato y especial recuerdo. A todos los que aportaron y me apoyaron para la realización de este sueño infinitas gracias. Dios los Bendiga.

### **CARLOS FERNANDO PINTO ARGÜELLO**

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1.</b>	<b>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....</b>	<b>1</b>
<b>2.</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>2</b>
<b>3.</b>	<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>3</b>
<b>4.</b>	<b>SITUACIÓN ACTUAL.....</b>	<b>5</b>
4.1	EL MERCADO DEL ACPM EN COLOMBIA .....	5
4.2	EL MERCADO DEL GAS NATURAL VEHICULAR EN COLOMBIA .....	11
<b>5.</b>	<b>DESARROLLO DEL MODELO .....</b>	<b>16</b>
<b>6.</b>	<b>ANÁLISIS DE LAS SERIES DE PRECIOS Y CORRIDA DEL MODELO.....</b>	<b>20</b>
6.1	ANÁLISIS WTI.....	20
6.1.1.	<i>Análisis estadístico y distribución de los retornos del precio spot promedio diario.....</i>	<i>22</i>
6.1.2.	<i>Extracción de Saltos Retornos Diarios WTI.....</i>	<i>25</i>
6.1.3.	<i>Prueba de verificación de Volatilidad.....</i>	<i>26</i>
6.1.4.	<i>Estimación de los parámetros.....</i>	<i>28</i>
6.1.5.	<i>Corrida del modelo .....</i>	<i>29</i>
6.1.6.	<i>Resultados del modelo.....</i>	<i>30</i>
6.1.7.	<i>Comparación Vs Cambridge Energy Research Associates (CERA) y Nymex.....</i>	<i>31</i>
6.2	ANÁLISIS DE LAS SERIES DE PRECIOS DEL DIESEL.....	33
6.2.1.	<i>Análisis estadístico y distribución de los retornos del precio spot promedio diario.....</i>	<i>36</i>
6.2.2.	<i>Extracción de Saltos Retornos diarios Diesel.....</i>	<i>38</i>
6.2.3.	<i>Prueba de verificación de Volatilidad.....</i>	<i>39</i>
6.2.4.	<i>Estimación de los parámetros.....</i>	<i>41</i>
6.2.5.	<i>Corrida del modelo .....</i>	<i>41</i>
6.2.6.	<i>Resultados del modelo.....</i>	<i>42</i>
6.2.7.	<i>Comparación Vs Cambridge Energy Research Associates (CERA).....</i>	<i>43</i>
6.3	ANÁLISIS FUEL OIL .....	44
6.3.1.	<i>Análisis estadístico y distribución de los retornos del precio spot promedio diario.....</i>	<i>46</i>
6.3.2.	<i>Extracción de saltos Retornos Diarios Fuel Oil.....</i>	<i>48</i>
6.3.3.	<i>Prueba de verificación de Volatilidad.....</i>	<i>49</i>
6.3.4.	<i>Estimación de los parámetros.....</i>	<i>51</i>
6.3.5.	<i>Corrida del modelo .....</i>	<i>51</i>
6.3.6.	<i>Resultados del modelo.....</i>	<i>52</i>

6.4	ANÁLISIS GASOLINA UNL 87 .....	53
6.4.1.	<i>Análisis estadístico y distribución de los retornos del precio spot promedio diario.....</i>	55
6.4.2.	<i>Extracción de saltos Retornos Diarios Gasolina UNL 87.....</i>	57
6.4.3.	<i>Prueba de verificación de Volatilidad.....</i>	58
6.4.4.	<i>Estimación de los parámetros .....</i>	60
6.4.5.	<i>Corrida del modelo .....</i>	60
6.4.6.	<i>Resultados del modelo.....</i>	61
6.4.7.	<i>Comparación Vs Cambridge Energy Research Associates (CERA).....</i>	62
6.5	ANÁLISIS CORRECCIÓN POR OCTANAJE GASOLINA UNL 87 .....	62
6.5.1.	<i>Análisis estadístico y distribución de los retornos de la corrección promedia diaria Gasolina UNL 87 64</i>	
6.5.2.	<i>Extracción de saltos corrección por octanaje Gasolina UNL 87.....</i>	66
6.5.3.	<i>Prueba de verificación de Volatilidad.....</i>	68
6.5.4.	<i>Estimación de los parámetros .....</i>	70
6.5.5.	<i>Corrida del modelo .....</i>	70
6.5.6.	<i>Resultados del modelo.....</i>	71
<b>7.</b>	<b>VIABILIDAD FINANCIERA .....</b>	<b>73</b>
7.1	WACC DE LOS TRANSPORTADORES .....	73
	SE OBTIENE ASÍ UN WACC DE 20.55% PARA EL TRANSPORTADOR; VALOR CON EL CUAL SE REALIZA EL ANÁLISIS FINANCIERO. ....	75
7.2	VIABILIDAD FINANCIERA PARA EL TRANSPORTADOR.....	75
7.2.1.	<i>Resultados de la Simulación.....</i>	85
7.2.2.	<i>Resultado de simulación con valor de salvamento de Kit de conversión. ....</i>	95
7.2.3.	<i>Resultado de simulación con proyecciones de FCL hasta el 2018.....</i>	103
7.2.4.	<i>Simulación con distribuciones de probabilidad del rango total de precios .....</i>	113
7.2.5.	<i>Resultado de simulación con valor de salvamento de Kit de conversión. ....</i>	114
7.2.6.	<i>Resultado de simulación con proyecciones de FCL hasta el 2018.....</i>	117
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>121</b>
<b>9.</b>	<b>REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>123</b>

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1 CARACTERIZACIÓN DE LOS PRECIOS SPOT DEL WTI AGOSTO 29/03 - AGOSTO 29/08 .....	25
TABLA 2 DATOS DEL MODELO DE REVERSIÓN A LA MEDIA PARA EL WTI. ....	29
TABLA 3 DATOS DE LOS SALTOS PARA EL WTI. ....	29
TABLA 4 CARACTERIZACIÓN DE LOS PRECIOS SPOT DEL DIESEL AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008 ....	37
TABLA 5 DATOS DEL MODELO DE REVERSIÓN A LA MEDIA PARA EL DIESEL. ....	41
TABLA 6 DATOS DE LOS SALTOS PARA EL DIESEL. ....	41
TABLA 7 CARACTERIZACIÓN DE LOS PRECIOS SPOT DEL FUEL OIL AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008.	47
TABLA 8 DATOS DEL MODELO DE REVERSIÓN A LA MEDIA PARA EL FUEL OIL. ....	51
TABLA 9 DATOS DE LOS SALTOS PARA EL FUEL OIL. ....	51
TABLA 10 DATOS DE LOS CEROS PARA EL FUEL OIL. ....	51
TABLA 11 CARACTERIZACIÓN DE LOS PRECIOS SPOT DE LA GASOLINA ENERO 87 AGTO 29-2003 / AGTO 29-2008 .....	56
TABLA 12 DATOS DEL MODELO DE REVERSIÓN A LA MEDIA PARA LA GASOLINA. ....	60
TABLA 13 DATOS DE LOS SALTOS PARA LA GASOLINA. ....	60
TABLA 14 CARACTERIZACIÓN DE LA CORRECCIÓN DIARIA POR OCTANAJE AGTO 29-2003 / AGTO 29-2008.....	65
TABLA 15 DATOS DEL MODELO DE REVERSIÓN A LA MEDIA PARA LA CORRECCIÓN POR OCTANAJE GASOLINA UNL87.....	70
TABLA 16 DATOS DE LOS SALTOS PARA LA CORRECCIÓN POR OCTANAJE GASOLINA UNL87.....	70
TABLA 17 DATOS DE LOS CEROS PARA LA CORRECCIÓN POR OCTANAJE GASOLINA UNL87. ....	70
TABLA 18 VALORES MÍNIMO, MAS PROBABLE Y MÁXIMO DE LA TASA DE CAMBIO EURO - DÓLAR .....	75
TABLA 19 VALORES MÍNIMO, MAS PROBABLE Y MÁXIMO DE LA TASA DE CAMBIO DÓLAR - PESO .....	76
TABLA 20 PRECIO CONVERSIÓN DIESEL-GAS .....	77
TABLA 21 PRECIO DIESEL ESCENARIO ALTO – MIN PROBABLE MAX.....	78
TABLA 22 PRECIO DIESEL ESCENARIO MEDIO – MIN PROBABLE MAX.....	78
TABLA 23 PRECIO DIESEL ESCENARIO BAJO – MIN PROBABLE MAX .....	78
TABLA 24 PRECIO GAS ESCENARIO ALTO – MIN PROBABLE MAX .....	79
TABLA 25 PRECIO GAS ESCENARIO MEDIO – MIN PROBABLE MAX .....	79
TABLA 26 PRECIO GAS ESCENARIO BAJO – MIN PROBABLE MAX.....	79
TABLA 27 COSTO MANTENIMIENTO ANUAL VEHÍCULO CONVERTIDO A GAS NATURAL .....	80
TABLA 28 COSTO MANTENIMIENTO ANUAL VEHÍCULO DIESEL.....	80
TABLA 29 TABLA DE COSTO DE MANTENIMIENTO PARA 2008.....	81
TABLA 30 INFLACIÓN PROYECTADA 2009-20013 .....	81
TABLA 31 CAMBIO EN FCL DEL TRANSPORTADOR POR CONVERSIÓN A GAS – ESCENARIO ALTO.....	82
TABLA 32 CAMBIO EN FCL DEL TRANSPORTADOR POR CONVERSIÓN A GAS – ESCENARIO MEDIO .....	83

TABLA 33 CAMBIO EN FCL DEL TRANSPORTADOR POR CONVERSIÓN A GAS – ESCENARIO MEDIO .....	84
TABLA 34 RESULTADOS FCL ESCENARIO ALTO.....	86
TABLA 35 RESULTADOS FCL ESCENARIO MEDIO.....	87
TABLA 36 RESULTADOS FCL ESCENARIO BAJO .....	88
TABLA 37 RESULTADOS VPN ESCENARIO ALTO .....	88
TABLA 38 RESULTADOS VPN ESCENARIO MEDIO .....	89
TABLA 39 RESULTADOS VPN ESCENARIO BAJO.....	89
TABLA 40 RESULTADOS TIR ESCENARIO ALTO.....	91
TABLA 41 RESULTADOS TIR ESCENARIO MEDIO.....	91
TABLA 42 RESULTADOS TIR ESCENARIO BAJO .....	92
TABLA 43 RESULTADOS FCL ESCENARIO ALTO.....	96
TABLA 44 RESULTADOS FCL ESCENARIO MEDIO.....	97
TABLA 45 RESULTADOS FCL ESCENARIO BAJO .....	98
TABLA 46 RESULTADOS VPN ESCENARIO ALTO .....	99
TABLA 47 RESULTADOS VPN ESCENARIO MEDIO .....	99
TABLA 48 RESULTADOS VPN ESCENARIO BAJO.....	100
TABLA 49 RESULTADOS TIR ESCENARIO ALTO.....	101
TABLA 50 RESULTADOS TIR ESCENARIO MEDIO.....	102
TABLA 51 RESULTADOS TIR ESCENARIO BAJO .....	103
TABLA 52 RESULTADOS FCL ESCENARIO ALTO.....	105
TABLA 53 RESULTADOS FCL ESCENARIO MEDIO.....	106
TABLA 54 RESULTADOS FCL ESCENARIO BAJO .....	107
TABLA 55 RESULTADOS VPN ESCENARIO ALTO .....	108
TABLA 56 RESULTADOS VPN ESCENARIO MEDIO .....	108
TABLA 57 RESULTADOS VPN ESCENARIO BAJO.....	109
TABLA 58 RESULTADOS TIR ESCENARIO ALTO.....	110
TABLA 59 RESULTADOS TIR ESCENARIO MEDIO.....	111
TABLA 60 RESULTADOS TIR ESCENARIO BAJO .....	111
TABLA 61 PARÁMETROS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DEL PRECIO DEL DIESEL .....	113
TABLA 62 PARÁMETROS PARA LA DISTRIBUCIÓN DE PROBABILIDAD DEL PRECIO DEL GAS .....	114
TABLA 63 FCL CON VALOR DE SALVAMENTO.....	115
TABLA 64 RESULTADOS VPN CON VALOR DE SALVAMENTO .....	116
TABLA 65 RESULTADOS TIR CON VALOR DE SALVAMENTO.....	117
TABLA 66 RESULTADOS FCL VIDA ÚTIL DEL KIT DE CONVERSIÓN.....	118
TABLA 67 RESULTADO VPN VIDA ÚTIL KIT .....	119
TABLA 68 RESULTADOS TIR VIDA ÚTIL DEL KIT.....	120

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 RESERVA DE CRUDO. INFORME ANUAL DE ECOPETROL S.A. 2007 .....	1
FIGURA 2 VENTA NACIONAL DE COMBUSTIBLE LÍQUIDO EN LOS ÚLTIMOS AÑOS. ....	5
FIGURA 3 CANASTA PRODUCCIÓN Vs IMPORTACIÓN DE DIESEL .....	9
FIGURA 4 SUBSIDIO A LA GASOLINA Y AL DIESEL.....	11
FIGURA 5 CONSUMO DE GAS NATURAL EN COLOMBIA.....	11
FIGURA 6 PRODUCCIÓN DE GAS .....	12
FIGURA 7 CIFRAS GNV EN COLOMBIA .....	13
FIGURA 8 NATURAL GAS VEHICLE GROWTH BY REGION .....	14
FIGURA 9 NGV COUNT – RANKED NUMERICALLY .....	14
FIGURA 10 PRECIO PROMEDIO DIARIO DEL WTI (ENERO 1986- AGOSTO 2008).....	20
FIGURA 11 PRECIO PROMEDIO, MÁXIMO Y MÍNIMO ANUAL DEL WTI (ENERO 1986- AGOSTO 2008) .....	21
FIGURA 12 PRECIO PROMEDIO DIARIO WTI AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008. ....	21
FIGURA 13 RETORNOS DIÁRIOS WTI AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008 .....	22
FIGURA 14 PRUEBA DE BONDAD Y AJUSTE RETORNOS DIARIOS WTI AGOSTO 29/03 - AGOSTO 29/08 FUENTE EIA. ELABORACIÓN PROPIA .....	24
FIGURA 15 RETORNOS DIARIOS WTI SIN SALTOS AGOSTO 29/03 - AGOSTO 29/08 .....	26
FIGURA 16 PRUEBA DE BONDAD Y AJUSTE SIN SALTOS DEL WTI AGOSTO 29/03 - AGOSTO 29/08 .....	26
<b>FIGURA 17 PRUEBA DE VOLATILIDAD CONSTANTE PARA E EL WTI.....</b>	<b>28</b>
FIGURA 18 SIMULACIÓN DEL MODELO PARA WTI.....	30
FIGURA 19 RESULTADOS DEL MODELO PARA WTI.....	30
FIGURA 20 SELECCIÓN DE RANGOS DEL MODELO PARA WTI .....	31
FIGURA 21 COMPARACIÓN DEL MODELO PARA EL WTI Y LOS DATOS DE CAMBRIDGE ENERGY RESEARCH ASSOCIATES (CERA) .....	32
FIGURA 22 GRÁFICA COMODITY PRICE CURVES - WTI .....	33
FIGURA 23 PRECIO PROMEDIO DIARIO DEL DIESEL (ENERO 1986- AGOSTO 2008).....	34
FIGURA 24 VOLATILIDAD DEL PRECIO DEL DIESEL (ENERO 1986- AGOSTO 2008).....	35
FIGURA 25 PRECIO PROMEDIO DIARIO DIESEL ENERO AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008 .....	35
FIGURA 26 RETORNOS DIARIOS DIESEL AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008 .....	36
FIGURA 27 PRUEBA DE BONDAD Y AJUSTE RETORNOS DIARIOS DIESEL AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008 .....	37
FIGURA 28 RETORNOS DIARIOS DIESEL SIN SALTOS AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008 .....	38
FIGURA 29 PRUEBA DE BONDAD Y AJUSTE SIN SALTOS A LOS RETORNOS DIARIOS DIESEL AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008 .....	39

FIGURA 30 PRUEBA DE VOLATILIDAD CONSTANTE PARA EL DIESEL .....	40
FIGURA 31 SIMULACIÓN DEL MODELO PARA DIESEL.....	41
FIGURA 32 RESULTADOS DEL MODELO PARA DIESEL .....	42
FIGURA 33 SELECCIÓN DE RANGOS DEL MODELO PARA DIESEL .....	42
FIGURA 34 COMPARACIÓN DEL MODELO PARA EL DIESEL Y LOS DATOS DE CAMBRIDGE ENERGY RESEARCH ASSOCIATES (CERA) .....	43
FIGURA 35 PRECIO PROMEDIO DIARIO DEL FUEL OIL (JULIO 1993- AGOSTO 2008) .....	44
FIGURA 36 PRECIO PROMEDIO, MÁXIMO Y MÍNIMO ANUAL DEL FUEL OIL (JULIO 1993 – AGOSTO 2008) .....	45
FIGURA 37 PRECIO PROMEDIO DIARIO FUEL OIL AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008 .....	45
FIGURA 38 RETORNOS DIARIOS FUEL OIL AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008.....	46
FIGURA 39 PRUEBA DE BONDAD Y AJUSTE RETORNOS DIARIOS FUEL OIL AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008 .....	47
FIGURA 40 RETORNOS DIARIOS FUEL OIL SIN SALTOS AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008.....	48
FIGURA 41 PRUEBA DE BONDAD Y AJUSTE SIN SALTOS A LOS RETORNOS DIARIOS FUEL OIL AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008 .....	49
FIGURA 42 PRUEBA DE VOLATILIDAD CONSTANTE PARA EL FUEL OIL.....	50
FIGURA 43 SIMULACIÓN DEL MODELO PARA FUEL OIL .....	51
FIGURA 44 RESULTADOS DEL MODELO PARA EL FUEL OIL.....	52
FIGURA 45 SELECCIÓN DE RANGOS DEL MODELO PARA EL FUEL OIL .....	52
FIGURA 46 PRECIO PROMEDIO DIARIO DE LA GASOLINA (JULIO 1993- AGOSTO 2008) .....	53
FIGURA 47 PRECIO PROMEDIO, MÁXIMO Y MÍNIMO ANUAL DEL U.S. GULF COAST CONVENTIONAL GASOLINE REGULAR (ENERO 1986- AGOSTO 2008).....	54
FIGURA 48 PRECIO PROMEDIO DIARIO GASOLINA UNL 87 AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008 .....	54
FIGURA 49 RETORNOS DIARIOS GASOLINA UNL 87 AGOSTO 29 DE 2003 / AGOSTO 29 DE 2008 .....	55
FIGURA 50 PRUEBA DE BONDAD Y AJUSTE RETORNOS GASOLINA UNL 87 AGTO 29-2003 / AGTO 29-08 .....	56
FIGURA 51 RETORNOS DIARIOS GASOLINA UNL 87 SIN SALTOS AGTO 29-2003 / AGTO 29-2008.....	57
FIGURA 52 PRUEBA DE BONDAD Y AJUSTE SIN SALTOS A LOS RETORNOS DIARIOS GASOLINA UNL 87 AGTO 29- 2003 / AGTO 29-2008.....	58
FIGURA 53 PRUEBA DE VOLATILIDAD CONSTANTE PARA LA GASOLINA. ....	59
FIGURA 54 SIMULACIÓN DEL MODELO PARA LA GASOLINA .....	60
FIGURA 55 RESULTADOS DEL MODELO PARA LA GASOLINA .....	61
FIGURA 56 SELECCIÓN DE RANGOS DEL MODELO PARA LA GASOLINA.....	61
FIGURA 57 COMPARACIÓN DEL MODELO PARA LA GASOLINA UNL87 Y LOS DATOS DE CAMBRIDGE ENERGY RESEARCH ASSOCIATES (CERA) .....	62
FIGURA 58 CORRECCIÓN PROMEDIA DIARIA GASOLINA UNL 87 AGTO 29-2003 / AGTO 29-2008.....	63

FIGURA 59 RETORNOS DIARIOS CORRECCIÓN PROMEDIA DIARIA GASOLINA UNL 87 AGTO 29-2003 / AGTO 29-2008 .....	64
FIGURA 60 PRUEBA DE BONDAD Y AJUSTE CORRECCIÓN PROMEDIA DIARIA GASOLINA UNL 87 AGTO 29-2003 / AGTO 29-2008.....	65
FIGURA 61 RETORNOS DIARIOS SIN SALTOS DE LA CORRECCIÓN POR OCTANAJE GASOLINA UNL87 AGTO 29-2003 / AGTO 29-2008 .....	66
FIGURA 62 PRUEBA DE BONDAD Y AJUSTE SIN SALTOS A LOS RETORNOS DIARIOS CORRECCIÓN POR OCTANAJE AGTO 29-2003 / AGTO 29-2008 .....	67
FIGURA 63 PRUEBA DE BONDAD Y AJUSTE SIN SALTOS NI CEROS A LOS RETORNOS DIARIOS CORRECCIÓN POR OCTANAJE AGTO 29-2003 / AGTO 29-2008 .....	68
FIGURA 64 PRUEBA DE VOLATILIDAD CONSTANTE PARA LA CORRECCIÓN POR OCTANAJE.....	69
FIGURA 65 SIMULACIÓN DEL MODELO PARA LA CORRECCIÓN POR OCTANAJE GASOLINA UNL87.....	71
FIGURA 66 RESULTADOS DEL MODELO PARA LA CORRECCIÓN POR OCTANAJE GASOLINA UNL87.....	71
FIGURA 67 SELECCIÓN DE RANGOS DEL MODELO PARA LA CORRECCIÓN POR OCTANAJE GASOLINA UNL87 ....	72
FIGURA 68 DATOS HISTÓRICO DE LA TASA DE CAMBIO DÓLAR - PESO .....	76
FIGURA 69 DATOS HISTÓRICO DE LA TASA DE CAMBIO EURO - DÓLAR .....	76
FIGURA 70 FLUJO DE.....	85
FIGURA 71 FLUJO DE CAJA LIBRE ESCENARIO MEDIO.....	86
FIGURA 72 FLUJO DE CAJA LIBRE ESCENARIO BAJO.....	87
FIGURA 73 VPN ESCENARIO ALTO.....	88
FIGURA 74 VPN ESCENARIO MEDIO.....	89
FIGURA 75 VPN ESCENARIO BAJO .....	90
FIGURA 76 TIR ESCENARIO ALTO .....	91
FIGURA 77 TIR ESCENARIO MEDIO .....	92
FIGURA 78 TIR ESCENARIO BAJO .....	93
FIGURA 79 PERIODO DE RECUPERACIÓN ESCENARIO ALTO .....	94
FIGURA 80 PERIODO DE RECUPERACIÓN ESCENARIO MEDIO .....	94
FIGURA 81 PERIODO DE RECUPERACIÓN ESCENARIO BAJO .....	95
FIGURA 82 FLUJO DE CAJA LIBRE ESCENARIO ALTO .....	96
FIGURA 83 FLUJO DE CAJA LIBRE ESCENARIO MEDIO.....	97
FIGURA 84 FLUJO DE CAJA LIBRE ESCENARIO BAJO.....	98
FIGURA 85 VPN ESCENARIO ALTO.....	99
FIGURA 86 VPN ESCENARIO MEDIO.....	99
FIGURA 87 VPN ESCENARIO BAJO .....	100
FIGURA 88 TIR ESCENARIO ALTO .....	101
FIGURA 89 TIR ESCENARIO MEDIO .....	102

FIGURA 90 TIR ESCENARIO BAJO .....	103
FIGURA 91 FCL ESCENARIO ALTO	FIGURA 92 FCL ESCENARIO MEDIO.....
	104
FIGURA 93 FCL ESCENARIO BAJO .....	104
FIGURA 94 FLUJO DE CAJA LIBRE ESCENARIO ALTO .....	105
FIGURA 95 FLUJO DE CAJA LIBRE ESCENARIO MEDIO .....	106
FIGURA 96 FLUJO DE CAJA LIBRE ESCENARIO BAJO.....	107
FIGURA 97 VPN ESCENARIO ALTO.....	108
FIGURA 98 VPN ESCENARIO MEDIO.....	109
FIGURA 99 VPN ESCENARIO BAJO .....	109
FIGURA 100 TIR ESCENARIO ALTO .....	110
FIGURA 101 TIR ESCENARIO MEDIO .....	111
FIGURA 102 TIR ESCENARIO BAJO .....	112
FIGURA 103 FCL CON VALOR DE SALVAMENTO.....	115
FIGURA 104: VPN CON VALOR DE SALVAMENTO.....	116
FIGURA 105 TIR CON VALOR DE SALVAMENTO .....	117
FIGURA 106 FCL VIDA ÚTIL DEL KIT.....	118
FIGURA 107 VPN VIDA ÚTIL DEL KIT .....	119
FIGURA 108 TIR VIDA ÚTIL DEL KIT.....	120

## RESUMEN

**TITULO:** ANÁLISIS FINANCIERO DE LA CONVERSIÓN DE VEHÍCULOS DIESEL A GNV EN LA CIUDAD DE BUCARAMANGA UTILIZANDO PROYECCIONES DE MERCADOS Y SIMULACIÓN CON UN MODELO BROWNIANO GEOMÉTRICO CON REVERSIÓN A LA MEDIA\*

**AUTORES:** JUAN CARLOS TORO MUÑOZ\*\*  
CARLOS FERNANDO PINTO

**PALABRAS CLAVES:** Valor Presente Neto, Tasa Interna de Retorno, Precio Spot, Commodities, Kit de Conversión, Diesel, Gas Natural Vehicular (GNV).

Este proyecto busca reducir el grado de incertidumbre a ECOPETROL S.A. y a los empresarios de la industria del transporte, sobre la viabilidad financiera de convertir vehículos impulsados a Diesel, a impulsados a Gas Natural Vehicular.

Para el desarrollo de la investigación, fue necesario la proyección de precios de WTI, Diesel, Fuel Oil y Gasolina UNL 87; con el fin de establecer el valor del precio del Diesel y el GNV para el transportador en los próximos cinco años. Para dicha proyección se utilizó un Modelo Browniano Geométrico Simple con Reversión a la Media. Los resultados de dichas proyecciones fueron comparados con la percepción del mercado Nymex y el sistema indicador de predicciones Cambridge Energy Research Associates (CERA) utilizado por ECOPETROL S.A, arrojando como resultado una similitud entre los precios proyectados mediante el modelo propuesto, los futuros de Nymex y las predicciones de CERA.

Una vez calculados los precios, se realizó un análisis financiero desde el punto de vista del transportador donde se tuvo en cuenta tres escenarios: escenario alto, medio y bajo dados por los percentiles 10, 50 y 90 respectivamente arrojados por el modelo de reversión a la media. En el análisis financiero se calcularon los flujos de caja libre en los tres escenarios para el periodo comprendido entre 2008 y 2013; para ello se tuvo en cuenta variables como inversión del kit de conversión, precio de los combustibles, kilometraje anual promedio recorrido, mantenimiento a los vehículos y tasas de cambio Dólar – Peso y Euro – Dólar.

Finalmente, se observó con los resultados de esta investigación que la conversión en estos momentos es una alternativa viable para los transportadores con el fin de mitigar el comportamiento alcista que presentan los precios de combustibles líquidos tanto por factores geopolíticos como por la eliminación de subsidios a combustibles líquidos por parte del gobierno.

---

\* Proyecto de grado

\*\* Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Ingeniería Industrial. Dirigido por Carlos Enrique Vecino Arenas, PhD

## ABSTRACT

**TITLE:** FINANCIAL ANALYSIS OF THE CONVERSION OF VEHICLES FROM DIESEL TO NGV AT BUCARAMANGA CITY USING MARKETS PROJECTIONS AND A SIMULATION USING A GEOMETRIC BROWNIAN MODEL WITH MEDIA REVERSION\*

**AUTHORS:** JUAN CARLOS TORO MUÑOZ\*\*  
CARLOS FERNANDO PINTO

**KEY WORDS:** Net Present Value, Internal Rate of Return, Spot Price, Commodities, Conversion kit, Diesel, Natural Gas Vehicle (NGV).

This Project pursuits to reduce the degree of uncertainty to ECOPETROL S.A and the transport industry businessmen, about the financial viability to convert diesel-powered vehicles to NGV.

For the research development, it was necessary the prices projection of WTI, diesel, fuel oil and gasoline UNL 87; to establish the diesel and NGV prices for the next five years. For such projection, it was used a simple geometric Brownian model with media reversion. These results were compared with the Nymex market perception and the predictions system indicator from the Cambridge Energy Research Associates (CERA) used by ECOPETROL S.A., giving as a result similarities between the projected prices proposed by the model, future Nymex and CERA predictions.

Once the calculations were completed, it was done a financial analysis from the transporter's point of view considering three scenarios: high, medium and low, given by the 10, 50 y 90 percentiles thrown by the media reversion. With the financial analysis were calculated the cash flow for the three scenarios for the period between 2008 and 2013; and for that there were taken into account variables such as kit of conversion inversion, combustible prices, medium annual distance made, maintenance to the vehicles and the Exchange rate dollar-peso and euro-dollar

Finally, with the results of the investigation, it was concluded that right now the conversion is a viable alternative for the transporters, to mitigate the increasing behavior of liquid combustibles, as result of geopolitical factors as it is of the cut on government's financial assistance for these combustibles.

---

\* Degree Project.

\*\* Escuela de Estudios Industriales y Empresariales. Ingeniería Industrial. Direct by Carlos Enrique Vecino Arenas, PhD.

## INTRODUCCIÓN

La política de precios para combustibles establecida en el Plan Nacional de Desarrollo <sup>1</sup> para el periodo 2006-2010, implanta tomar como base para fijación del precio interno de los combustibles en el país el precio internacional de un galón del mismo (Precio FOB Costa del Golfo de los Estados Unidos) y adicionar el costo de los fletes y seguros de transporte y los demás costos de importación, (metodología conocida con el nombre de paridad de precios de importación); mediante la cual se pretende avanzar en el proceso de desmonte gradual de los subsidios implícitos a los combustibles líquidos (gasolina corriente y diesel), hasta llegar al precio de referencia ajustado para cada combustible.

Una vez eliminado los subsidios los precios fluctuarán de acuerdo con los indicadores internacionales y la variación de la tasa de cambio en el país. Así mismo alcanzados los anteriores procesos se seguiría utilizando los precios spot, a su vez que se evaluaría la liberación de los precios de la gasolina corriente y el diesel buscando implementar mecanismos que permitan mitigar los efectos de la volatilidad de los precios en los mercados internacionales mediante el Fondo de Estabilización de Precios creado bajo ordenanza del Artículo 69 de la Ley 1151 de 2007. Dicho fondo será creado con los recursos provenientes de la transferencia de parte de los recursos ahorrados por Ecopetrol S.A en el Fondo de Ahorro y Estabilización Petrolera, para lo cual se tiene estimado un fondo inicial de US\$ 170 millones de dólares.

Por otra parte políticas ambientales como el tratado de Kyoto<sup>2</sup>, publicaciones de la *UCLA Labor Occupational Safety & Health Program (LOSH<sup>3</sup>)* e *informes del IDEAM<sup>4</sup>*; para mencionar algunos de los organismos encargados de controlar las emisiones de agentes contaminantes a la atmósfera; demuestran que las mayores emisiones de agentes contaminantes atmosféricos son causadas por fuentes móviles y el 86 por ciento de la contaminación del aire la origina el transporte terrestre. Así mismo sus estudios dan a conocer como el 25% de toda la contaminación aérea con partículas dañinas producidas al quemar combustible provienen de motores diesel, los cuales al ser sometidos a prueba con una misma

---

<sup>1</sup> Presentación Ministerio de Minas y Energía República de Colombia Enero 31 de 2008

<sup>2</sup> NACIONES UNIDAS. Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1998

<sup>3</sup> *UCLA-LOST Labor Occupational Safety & Health Program*

<sup>4</sup> IDEAM. [www.ideam.gov.co/infoanual/PDFSeccionados/CalidadAirePreliminares.pdf](http://www.ideam.gov.co/infoanual/PDFSeccionados/CalidadAirePreliminares.pdf)

carga y bajo unas mismas condiciones de motor emitieron 100 veces más partículas de hollín que los motores de gasolina. A este panorama podemos agregar, que estudios de la Asociación Regional de Empresas de Petróleo y Gas Natural en Latinoamérica y el Caribe (ARPEL)<sup>5</sup>, muestran que Colombia se encuentra entre los cuatro (4) países con más alto contenido de azufre en diesel; luego las anteriores cifras de agentes contaminantes producidas por el diesel pueden ser aun peores para Colombia teniendo en cuenta las características del diesel que manejamos. Toda esta problemática ambiental se ve reflejada en estudios como el del Banco Mundial<sup>6</sup>, publicado en agosto de 2004, donde señala que en Colombia hay anualmente 6.040 muertes causadas por contaminación atmosférica (aire exterior) y que se manifiestan en enfermedades cardiopulmonares, cáncer de pulmón y enfermedad respiratoria aguda.

De políticas gubernamentales y tratados internacionales como los mencionados anteriormente, las empresas de hidrocarburos (en nuestro caso ECOPETROL), el gobierno y el consumidor final se ven obligados a investigar la viabilidad financiera de utilizar sustitutos para combustibles como la gasolina y el diesel; que manejen bajos costos de producción lo cual se ve evidenciado en el precio de venta y a su vez contribuyan con la disminución de emisiones de agentes contaminantes a la atmósfera.

<sup>7</sup>Si bien es cierto el desarrollo de nuevos energéticos como el biodiesel, el alcohol carburante y los agentes vegetales podrían servir como gran solución a disminuir gran parte de las emisiones de agentes contaminantes a la atmósfera; pero su elevado costo de producción, comparado con el costo de producción de los hidrocarburos hace que se necesitara una demanda tal que permitiera aplicar economías de escala, logrando así disminuir los costos fijos, redundando en un menor costo final.

Hasta el momento, ECOPETROL, desde 1993 ha impulsado e incentivado la conversión de vehículos propulsados a gasolina, a propulsados con Gas Natural Vehicular (GNV), y tiene como propósito investigar sobre la viabilidad técnica, económica y financiera de la conversión de vehículos propulsados con diesel a propulsados con GNV.

La presente investigación busca estudiar la viabilidad financiera de dicha conversión basando el estudio en el costo de la conversión si se realizara en la ciudad de Bucaramanga.

---

<sup>5</sup> ARPEL. Asociación Regional de Petróleo y Gas Evolución y Transformación, Consejo mundial del Petróleo Reuniones del Consejo 2007

<sup>6</sup> BANCO MUNDIAL. [www.bancomundial.org/investigacion](http://www.bancomundial.org/investigacion)

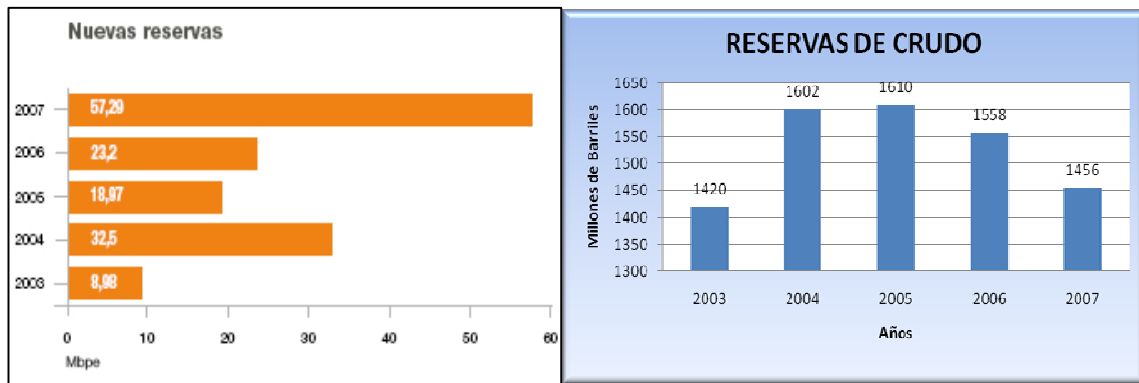
<sup>7</sup> ECOPETROL S.A. Carta Petrolera 110

En el contenido de esta investigación, se presenta los objetivos, la formulación del problema y metodología; en una primera parte. Posteriormente se realizara una breve descripción de la situación actual del mercado del ACPM (Aceite Combustible Para Motor conocido también como Diesel) y del GNV. Finalmente se realiza un análisis de la serie de precios, la corrida del modelo y los resultados que arroje dicho modelo se compararan con los observables en el sistema indicador de predicciones Cambridge Energy Research Associates (CERA) utilizado por ECOPETROL S.A con el fin de tener un referente a la caracterización de los precios futuros.

Una vez corrido el modelo y realizada la comparación, se analizaría la viabilidad financiera para la ciudad de Bucaramanga teniendo en cuenta tres actores principales que estarían involucrados directamente en el proceso de la conversión Diesel a GNV. Estos serian, el gobierno colombiano, ECOPETROL S.A y los transportadores. No obstante la perspectiva de evaluación será la del transportador.

## 1. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Tras el desmonte paulatino del subsidio con los que cuenta el diesel, el cual quedara eliminado definitivamente a más tardar en Junio de 2010 según lo indica la Política de Precios establecido por el gobierno Colombiano en el Plan Nacional de Desarrollo 2006-2010; la exigencia de organismos internacionales para disminuir el contenido de azufre en el diesel comercializado en Colombia actualmente, la posible implementación de una sobretasa para el GNV a partir de Julio del presente año, según lo anuncio el presidente de la República<sup>8</sup> y la disminución de las reservas de crudo de ECOPETROL S.A según lo muestra la figura número 1 acorde a los datos proporcionados por ECOPETROL S.A. en su Informe 2007; hace previsible un aumento en el costo de refinación del diesel, lo que generaría un incremento en el precio de comercialización del mismo. Ante esta situación ECOPETROL S.A se encuentra ante la oportunidad de pensar en desarrollar alternativas de suministro de combustible que remplace al diesel.



**Figura 1 Reserva de Crudo. Informe Anual de ECOPETROL S.A. 2007**  
Fuente Elaboración Propia

Así mismo el elevado costo de producción de sustitutos energéticos como el biodiesel, el alcohol carburante y los agentes vegetales; al igual que la aceptación del GNV por parte de los transportadores evidenciado en el aumento en conversión de vehículos propulsados con gasolina a propulsados con GNV; hace que el gas natural se posicione como la mejor alternativa, para reducir costos y contribuir a la disminución de emisiones de agentes contaminantes a la atmósfera.

El problema se puede plantear a través de la siguiente pregunta: ¿En cuáles escenarios es financieramente viable la conversión de automotores propulsados con diesel a propulsados con GNV en Bucaramanga?

<sup>8</sup> [www.eltiempo.com/economía](http://www.eltiempo.com/economía) Mayo 8 de 2008

## **2. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Realizar el estudio y la evaluación financiera para determinar la viabilidad de la implementación de la conversión de vehículos propulsados por diesel a propulsados por gas natural vehicular (GNV) en la ciudad de Bucaramanga.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

1. Identificar las características principales de la situación actual, de los mercados de ACPM y Gas Natural en Colombia.
2. Desarrollar un modelo de predicción de precios de commodities.
3. Realizar las proyecciones de precios de Petróleo, diesel, fuel oil, gasolina y factor de corrección para la gasolina para poder efectuar la evaluación financiera.
4. Efectuar la evaluación financiera de la conversión de vehículos diesel a gas desde el punto de vista del transportador, e identificar los escenarios en los que dicha conversión sería viable.

### **3. METODOLOGÍA**

La investigación se desarrolla a través de las siguientes etapas:

#### **1. Búsqueda de información bibliográfica**

Se realiza una investigación de tipo descriptivo, en la que se efectúan la identificación y caracterización de las principales variables relacionadas con el fenómeno objeto de estudio. Las fuentes de información a emplear son:

Secundarias, en lo que respecta a fuentes documentales y bibliográficas originadas en estudios de ECOPETROL S.A. y otras entidades académicas o relacionadas con los sectores energético y medioambiental, nacionales y extranjeras.

Primarias, con relación a un conjunto de entrevistas a efectuar con especialistas de ECOPETROL S.A. y otras entidades del sector energético nacional.

#### **2. Análisis de estudios previos**

En esta etapa se revisa los diferentes estudios financieros, económicos, y ambientales para la estructuración de la conversión, haciendo una exhaustiva revisión de lo planteado por diversos autores. Así mismo se analiza los resultados obtenidos en implementaciones previas de conversión diesel-gas realizadas en otros países como Brasil, Argentina y Bolivia los cuales pertenecen a un mismo sector macroeconómico como lo es la clasificación de países tercermundistas.

#### **3. Adelantar acuerdos con ECP y demás entidades**

Se adelanta acuerdos de cooperación con ECOPETROL S.A. entidad interesada en el desarrollo del estudio, así como con las necesarias para suministro de información.

#### **4. Definir alcance financiero y orientación**

Se realizaron una serie de reuniones con el docente Carlos Enrique Vecino Arenas, para revisar el planteamiento del problema y recibir orientación sobre el desarrollo, delimitación y alcance del objeto del estudio.

## **5. Desarrollo del modelo y corrida del mismo**

Se desarrolla el modelo de predicción de precios de commodities que permita efectuar la evaluación financiera de la conversión de vehículos diesel a gas.

## **6. Determinar los aspectos técnicos y evaluación financiera**

Con la asesoría de especialistas se describe el componente técnico de la conversión, como base para la posterior determinación de los costos y beneficios para los propietarios de los vehículos.

## **7. Proponer una estrategia financiera para la conversión de vehículos diesel a gas natural en la ciudad de Bucaramanga**

Con base en los anteriores análisis se plantea un esquema de implementación de la conversión de diesel a gas natural en Bucaramanga.

## **8. Conclusiones**

Se elaboran las debidas conclusiones y recomendaciones producto del presente estudio.

## 4. SITUACIÓN ACTUAL

### 4.1 EL MERCADO DEL ACPM EN COLOMBIA

Según el informe anual 2007 de ECOPETROL S.A.<sup>9</sup>, las ventas de diesel crecieron 6,3% frente a 2006, mientras que las de gasolina presentaron una disminución de 3,1% en relación con el mismo periodo, como consecuencia de la “dieselización” del país, la mezcla de alcohol y la sustitución de gasolina por gas natural, además de la optimización del combustible para los sistemas de transporte masivo; al terminar el año 2007 Ecopetrol S.A. distribuyó diesel con 1.000 partes por millón (ppm) de azufre para la ciudad de Bogotá y menor de 4.000 para el resto del país. El compromiso es llegar a 500 partes por millón al finalizar el primer semestre del año 2008 para la capital del país y de 3.000 en las demás ciudades. Así mismo, la empresa se comprometió a entregar diesel de menos de 50 ppm para Bogotá a finales de 2009, lo que permitiría estar en el mismo nivel de países industrializados y por encima de las mejores prácticas en Latinoamérica.

En la Figura 2, podemos observar el incremento de la venta de diesel y la disminución en los últimos años de la venta de gasolina.



**Figura 2 Venta Nacional de Combustible Líquido en los Últimos Años.**

Fuente ECOPETROL S.A. 2007

En lo referente a la estructura de precios de ACPM, el Gobierno Colombiano mediante resolución 8 2439 de Diciembre 23 de 1998 adoptó una nueva estructura para la fijación de precios del ACPM.

<sup>9</sup> [http://www.ecopetrol.com.co/Informe\\_Anual/suministroymercadeo.htm](http://www.ecopetrol.com.co/Informe_Anual/suministroymercadeo.htm)

La estructura de precios del ACPM que rige a partir de la entrada en vigencia de dicha resolución está integrada por cuatro componentes: El ingreso al productor para ACPM (IP), el precio máximo de venta al distribuidor mayorista (PMI), el margen del distribuidor mayorista (MD) y el precio máximo de venta en planta de abasto mayorista (PMA) y el precio de venta al usuario final.

**Ingreso al productor para ACPM:** El ingreso al productor por las ventas de ACPM, expresado en pesos por galón, será el que resulte de aplicar la siguiente fórmula:

$$IP(t) = \{[PrFOB + FL + SE + IM] * TRM\} + A + TI$$

Donde:

**IP(t):** Será el ingreso al productor vigente para el período t.

**PrFOB:** Será el promedio de las cotizaciones del índice número 2 U.S. Gulf Coast Waterborne de la publicación PLATT's de Standard & Poor's, publicadas durante los últimos treinta (30) días calendario inmediatamente anteriores a la fecha de cálculo, expresadas en dólares por galón (US\$/Gal).

**FL:** Será el costo de los fletes marítimos o terrestres y demás costos incurridos para transportar un galón de ACPM desde la Costa del Golfo de los Estados Unidos de América hasta el puerto de importación local, expresado en dólares por galón (US\$/Galón). Dicho valor será el que resulte de aplicar la siguiente fórmula:

$$FL = [Ws / (\beta * 42)] * (STR / 100)$$

Donde:

**Ws:** Valor del flete de referencia de la ruta Houston Pozos Colorados publicado anualmente por el Worlwide Tanker Nominal Freight Scale "Worldscale" vigente para el mes inmediatamente anterior al período t, expresado en dólares por tonelada métrica.

**STR:** Promedio aritmético de las cotizaciones publicadas durante los últimos treinta (30) días calendario inmediatamente anteriores a la fecha de cálculo, del factor de corrección de mercado para el flete de los tanqueros limpios de 30.000 Toneladas Métricas para la ruta CARIB/USG, de la publicación PLATT's de Standard & Poor's, expresado en unidades de Worldscale (WS Assess).

**$\beta$ :** Factor de conversión de Toneladas métricas a Barriles. Para el caso del ACPM este es de 7.491 a 34° API.

**42:** Factor de conversión de barril a galón.

**SE:** Será el costo de los seguros marítimos o terrestres y demás costos

incurridos para transportar un galón de ACPM desde la Costa del Golfo de los Estados Unidos hasta el puerto de importación local, expresado en dólares por galón (US\$/Galón), el cual será calculado de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$SE=S* PrFOB$$

Donde:

**S:** Será el factor multiplicador utilizado para el cálculo de los seguros (SE). El factor vigente a partir de la entrada en vigencia de la Resolución será 0.000387.

Este factor multiplicador será revisado anualmente, a partir del 1º de enero del año 2000. Para cada año el Ministerio de Minas y Energía fijará el valor de S, con base en el promedio de cotizaciones de mínimo tres (3) compañías de seguros internacionales, cuya calificación de deuda en dólares de largo plazo será igual o superior a BBB- de Standard & Poor's, o tenga un grado de calificación equivalente otorgado por otra agencia internacional de calificación de riesgo.

**IM:** Será el valor de las inspecciones de calidad en puerto de cargue y descargue, expresado en dólares por galón (US\$/galón). Este costo será de US\$ 0.000286 por galón a partir de la fecha de entrada en vigencia de la presente resolución.

Este valor será ajustado anualmente, a partir del 1º de enero del año 2000, con base en los costos de inspección de calidad y manejo en el puerto que se encuentren vigentes para cada fecha de ajuste.

**TRM:** Será la "Tasa representativa del Mercado" tal como se define en el artículo 96 del Estatuto Orgánico del Sistema Financiero, vigente el día inmediatamente anterior a la fecha de cálculo, tal y como sea certificada por la Superintendencia Bancaria.

**A:** Será el valor correspondiente al pago de la tarifa arancelaria de las importaciones de ACPM expresada en pesos por galón, calculado de acuerdo con la tarifa general establecida en el artículo 1o del Decreto-ley 2317 de 1995 o en aquellas normas que la modifican, adicionan o complementan, aplicada sobre la base gravable establecida en las disposiciones que rijan la valoración aduanera según lo previsto en el Decreto 1909 de 1992 y demás normas que lo complementen o modifiquen.

**TI:** Será el valor correspondiente al pago del impuesto de timbre aplicable, expresado en pesos por galón, y calculado de acuerdo con la tarifa general establecida en las normas que regulen la materia, o en aquellas normas que las modifiquen, adicionen o complementen, aplicada sobre la base gravable establecida en las disposiciones que rigen la materia.

**t:** Será el período transcurrido entre el primer día calendario de cada mes calendario y el último día calendario del mismo mes calendario.

Hay que tener en cuenta que el anterior cálculo de Ingreso al Productor (IP); es cuando el ACPM, es producto de la importación, es decir es paridad importación. Si el ACPM, es producido nacionalmente, se denomina paridad exportación y el cálculo del IP estaría dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Ingreso al productor } IP = IP(t) = PrFOB * TRM - TPC$$

Donde:

**TPC:** Es la tarifa de transporte Pozos Colorados-Galán, para el caso de la refinería de Barrancabermeja.

Una vez calculado el Ingreso al Productor dependiendo si es paridad importación o exportación, este se convierte en el primer input para el cálculo del precio de venta al público del ACPM el cual está dado por la siguiente fórmula:

$$\text{Precio de Venta al Público (PVP)} = ((IP * (1 + IVA) + Tt + Tm + Ig) * (1 + Mm)) / (1 + mm) + Tp + St$$

Donde:

**IP:** Ingreso al productor; lo determina mensualmente el Ministerio de Minas y Energía con base en los costos de oportunidad.

**IVA:** Item 1 por el 16% (Ley 633 del 2000)

**Tt (Tarifa de Transporte):** Será el valor correspondiente al pago de la Tarifa Estampilla de transporte de combustibles expresado en pesos por galón. La Tarifa Estampilla aplicable, será de ciento cincuenta y nueve pesos con diez centavos por galón (\$159.1/galón). Dicho valor será ajustado anualmente, a partir del 1° de enero del año 2000, por el Ministerio de Minas y Energía conforme a lo previsto en el Código de Petróleo y demás normas aplicables.

**Tm (Tarifa de Marcación):** Será el valor correspondiente a todos los costos en los que se incurre para transportar un galón de ACPM desde la planta de abasto más cercana o aquella desde la cual se abastece el municipio hasta la estación de servicio. La Tm tendrá un valor mínimo de nueve pesos con sesenta centavos por galón (9.60/galón). Este valor será ajustado anualmente a partir del 1° de enero del año 2000, con base en la variación porcentual del Índice de Precios al Consumidor del año inmediatamente anterior a la fecha del ajuste, tal como dicha variación sea certificada por la autoridad competente.

**Ig:** Valor fijo anual establecido por la Ley 681 del 2001

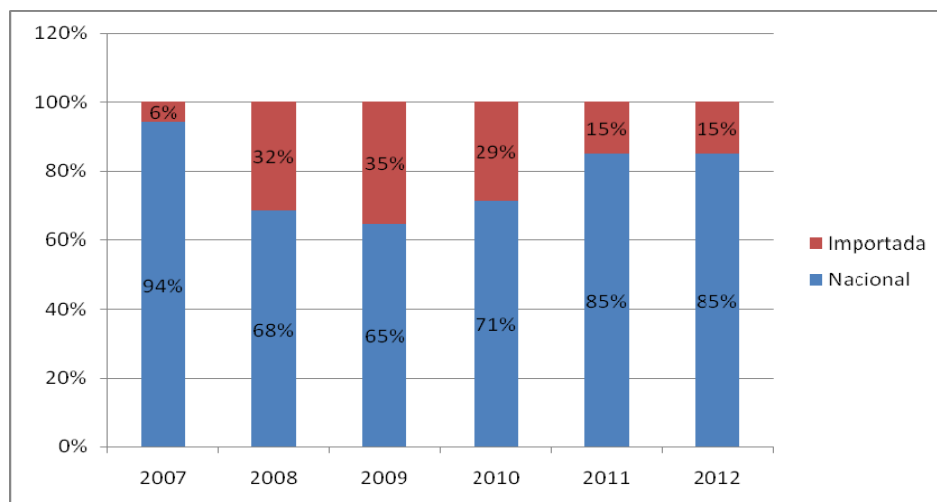
**Mm (Margen Mayorista):** Definido en las resoluciones 181549 de 2004 y 180127 de 2007; este valor corresponde al margen máximo reconocido a favor del distribuidor mayorista, que se fija en máximo ocho y medio (8.5) centavos de dólar por galón por las ventas de gasolina motor corriente y en nueve (9) centavos de dólar por galón para el Acpm, teniendo en cuenta las inversiones en infraestructura, los costos de operación y mantenimiento, los gastos de administración y ventas y las pérdidas por evaporación y los costos de aditivación. Este valor será calculado mensualmente tomando como referencia el promedio de la tasa representativa del mercado, certificada por la autoridad competente, vigente para los veinticinco (25) primeros días del mes inmediatamente anterior.

**mm:** Margen al distribuidor minorista; definido en la resolución 180769 de 2007. Este margen no incluye el transporte desde la planta de abasto hasta la estación de servicio.

**Tp:** Transporte de la planta; de abasto mayorista a la estación; (valor establecido en 0.005 dólares por galón); determinado mensualmente por el ministerio de minas y energía.

**St:** Sobretasa; 25 % del precio de referencia establecido por el Ministerio de minas y Energía para la gasolina motor corriente y 6% para el Acpm.

Hay que tener presente que el PVP (Precio de Venta al Público) depende si es paridad importación o exportación, pues varía su IP; para esto es necesario saber cómo se va a suplir la demanda nacional, es decir con cuánto diesel importado y con cuánto de producción nacional. Para el presente trabajo de investigación se tomó como referencia las proyecciones hechas por ECOPETROL S.A. mostradas en la figura 3.



**Figura 3 Canasta Producción Vs Importación de diesel**

Fuente: ECOPETROL S.A. (2007), elaboración propia

Por otro lado encontramos el proceso de desmonte de los subsidios implícitos a los combustibles líquidos (gasolina corriente y diesel), tal cual como está fijado en el Plan Nacional de Desarrollo para el periodo 2006-2010, con el propósito de incentivar la competencia y la inversión en la industria de refinación e importación de estos combustibles, lo cual permitirá asegurar el abastecimiento de estos energéticos en el mediano plazo. Cabe resaltar que actualmente dicho subsidio se encuentra a cargo del gobierno.

En teoría económica subsidio es la diferencia entre el precio que tendría un bien, o un servicio, sujeto sólo a la ley de la oferta y la demanda y el precio que tiene ese bien o servicio para todo el público, o para un sector de los consumidores, después de una intervención del gobierno.

Así, un subsidio surge cuando el costo de producción es mayor que el precio de mercado. En el caso de los combustibles, el precio de mercado es el ingreso al productor regulado por el Ministerio de Minas y Energía y el costo, según la definición clásica, es costo de oportunidad en el mercado, en este caso, corresponde al precio de paridad de exportación, es decir el precio de realización de sus productos en un mercado líquido, competido y con transparencia de precios.

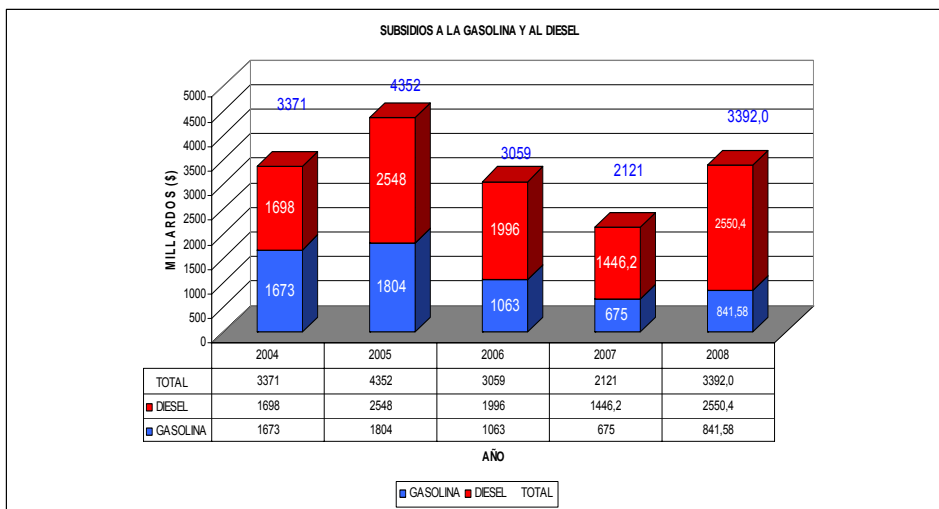
Según el Plan Nacional de Desarrollo dicho subsidio no irá más allá de junio de 2010 para la gasolina y de diciembre de 2011 para el diesel, tomando como referencia la diferencia entre el ingreso al productor nacional y los precios spot de los señalados productos en el mercado internacional.

Una vez alcanzados los anteriores procesos se seguiría utilizando los precios spot, a su vez que se evaluaría la liberación de los precios de la gasolina corriente y el diesel buscando implementar mecanismos que permitan mitigar los efectos de la volatilidad de los precios (Fondo de Estabilización de Precios).

La figura 4 muestra la cantidad en Millardos<sup>10</sup> de pesos que se han subsidiado por año y lo que se lleva subsidiado hasta agosto del presente año para gasolina y diesel.

---

<sup>10</sup> Millardos: Miles de Millones, en Ingles es Billón que significa igualmente miles de millones.



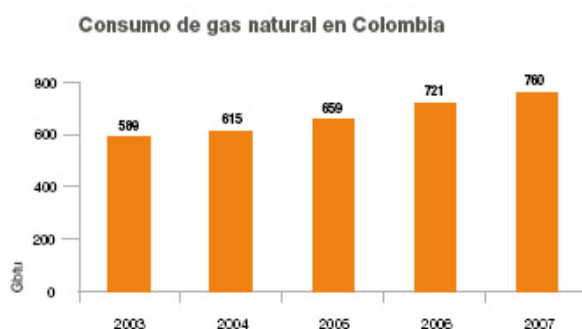
**Figura 4 Subsidio a la Gasolina y al Diesel**

Fuente: Ministerio de Minas y Energía [www.minminas.gov.co](http://www.minminas.gov.co)

## 4.2 EL MERCADO DEL GAS NATURAL VEHICULAR EN COLOMBIA

En lo que respecta al mercado del Gas Natural, según el informe anual del año 2007 presentado por ECOPETROL S.A.; este se vio influenciado por el buen desempeño de la economía nacional en 2007, reflejándose la competitividad del gas natural en un incremento de la demanda promedio diaria de 5,4%, al pasar de 721,2 Gbtud en 2006 a 760,4 Gbtud en 2007; tal cual como se ve reflejado en la figura 5.

Los sectores más dinámicos fueron el vehicular, con un crecimiento del 26,3% debido especialmente a la conversión de 66.489 vehículos, y el industrial, con un crecimiento de 15,2%.



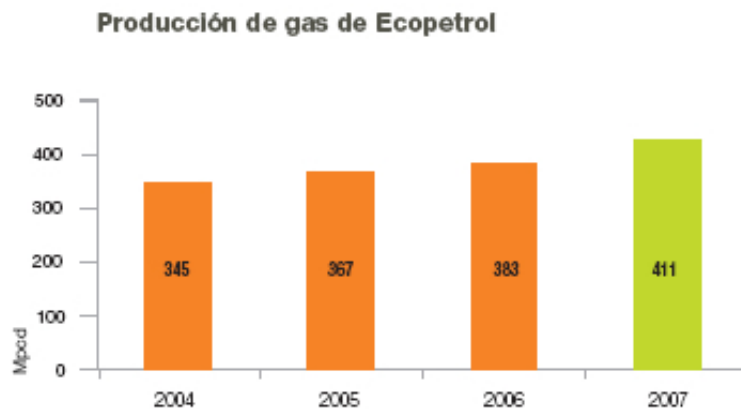
**Figura 5 Consumo de Gas Natural en Colombia**

Fuente: ECOPETROL S.A. Informe Anual 2007

En 2007 también se firmó el contrato de suministro internacional con Venezuela a través de Pdvs Gas, que garantiza la entrega de 50 Gbtud en 2008, 150 Gbtud en 2009 y 2010, y 100 Gbtud en 2011. Este proyecto incluye la importación de gas desde el vecino país a partir del año 2012.

Contrario a la baja en reservas de crudo que se viene presentando año tras año en los últimos años, el gas natural, presentó un incremento en las reservas probadas de 2.407 gigas en 2006 a 2439 gigas en 2007.

Así mismo, el país alcanzó una producción de gas natural de 729 millones de pies cúbicos por día (Mpcd), 4,3% más que en 2006, cuando registró 699 Mpcd, esta cifra se corrobora en la figura 6.



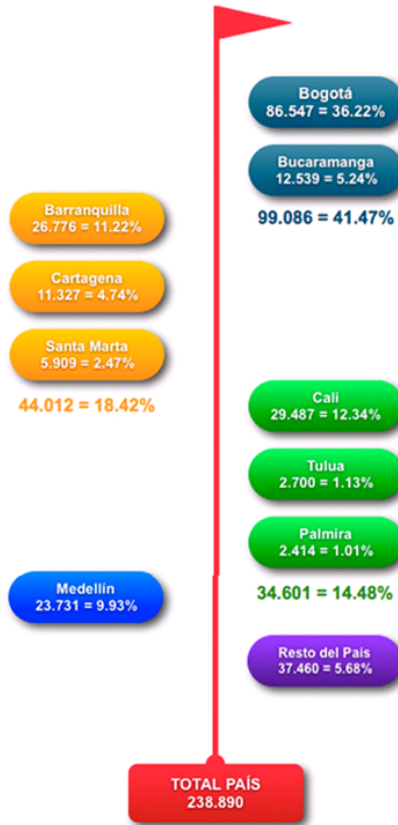
**Figura 6 Producción de Gas**

Fuente: ECOPETROL S.A. Informe Anual 2007

En lo que respecta a la industria del Gas Natural Vehicular en Colombia, a pesar de llevar 17 años, principalmente en la Costa Atlántica, sólo a partir de 1999 empezó a prosperar en otras regiones y ciudades del país como Bogotá, Medellín, Armenia, Cali, Bucaramanga y Neiva.

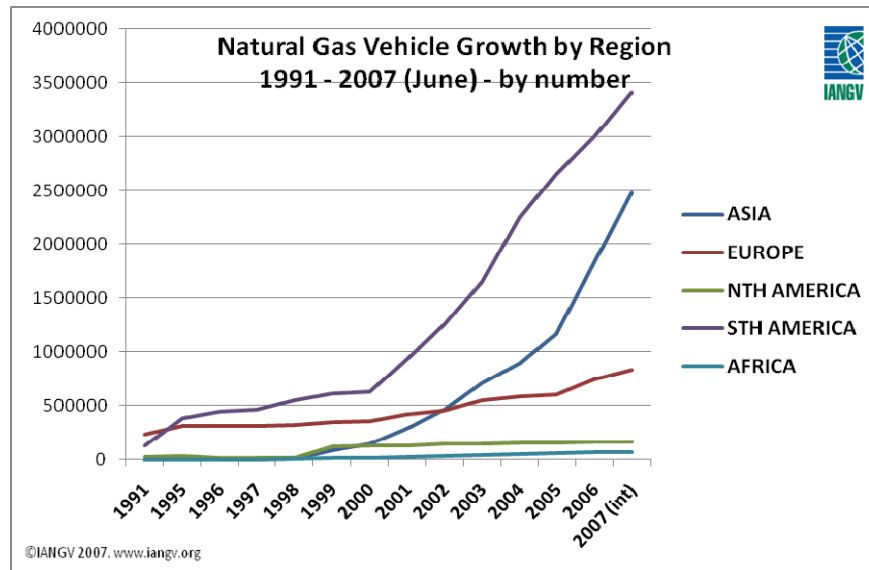
Actualmente, el país cuenta con una infraestructura de 234 Estaciones de Servicio. Así mismo, el número de conversiones a Gas Natural Vehicular ha venido creciendo significativamente a tal punto que hoy Colombia cuenta con 238.890 vehículos que utilizan este combustible como una alternativa a favor de la economía de sus propietarios. La distribución de conversiones en el país se observa en los datos proporcionados por Suragas S.A. en la figura 7.

### Cifras GNV en Colombia Vehículos acumulados por ciudad



**Figura 7 Cifras GNV en Colombia**  
Fuente: SURAGAS S.A.

En el mundo la conversión de vehículos a GNV ha ido en constante crecimiento tal como se observa en los datos estadísticos proporcionados por la International Association For Natural Gas Vehicles (IANGV) mostrados en la figura 8; donde se observa la gran participación de los países suramericanos como líderes en el proceso de conversión de vehículos a GNV.



**Figura 8 Natural Gas Vehicle Growth by Region**  
Fuente: International Association For Natural Gas Vehicles (IANGV)

Así mismo al observar la Figura 9, se evidencia la cifra de vehículos convertidos a GNV por país, observando que Colombia ocupa el 7 lugar a nivel mundial en conversión y el tercero en Suramérica después de Argentina y Brasil.

**NGV Count - Ranked Numerically  
As at June 2007**

	Country	Natural Gas Vehicles	Refuelling Stations
1	Argentina	1,650,000	1,400
2	Pakistán	1,550,000	1,606
3	Brasil	1,425,513	1,442
4	Italia	432,900	558
5	India	334,820	321
6	Irán	263,662	179
7	USA	146,876	1,340
8	Colombia	203,292	310
9	China	127,120	355
10	Ucrania	100,000	147
80	Lituania	7	-
	<b>Total</b>	<b>6,945,595</b>	<b>10,695</b>

**Figura 9 NGV Count – Ranked Numerically**  
Fuente: International Association For Natural Gas Vehicles (IANGV)

En lo referente a la estructura de precios del GNV, la comisión de regulación de energía y gas (CREG), según resolución No 119 de 2005, reguló el precio del gas natural de los campos de Guajira y Opón; en los campos restantes, el precio

del gas natural, se encuentra desregulado, razón por la cual el precio obedece a precios de mercado, regidos por oferta y demanda.

El precio que se calcula según la fórmula dada por la CREG es el precio en "Boca de Pozo", por tanto, para llegar al precio de venta al público, se tendría que agregar el costo del transporte, el margen del distribuidor mayorista y el margen del distribuidor minorista en estación de servicio, como no todos estos costos están regulados, se hace difícil su modelación vía estructura de precios.

Pero un marcador que utilizan los distribuidores finales para fijar el precio al público es que este sea el 60% del precio de la gasolina corriente, razón por la cual en el presente estudio, se modelará la gasolina corriente según la estructura presentada para el diesel, con sus respectivos valores para la gasolina y se tomará el 60% del valor de esta como precio de venta al público.

## 5. DESARROLLO DEL MODELO

Entre las consideraciones que hay que tener en cuenta en la modelación de commodities, se debe tener presente:

**Reversión a la media:** Los precios de petróleo y sus derivados (diesel, gasolina, fuel oil, etc) fluctúan alrededor de una media, valor determinado, por el costo marginal de producción de un barril de producto y el nivel de la demanda.

**Volatilidad de los precios:** La volatilidad del precio del petróleo en las últimas décadas ha sido evidente debido a eventos de la geopolítica mundial.

**Salto en el precio:** Los precios del petróleo y sus derivados, pueden tener saltos debido a que la oferta, puede sufrir grandes cambios, como ocurrió en el pasado con la oferta de la OPEP, debido a cambios climáticos como recientemente ha ocurrido con los huracanes en el golfo de Méjico, inestabilidad en los mercados, riesgos geopolíticos, guerras en el Medio Oriente, etc. Los saltos, son especialmente evidentes, cuando aparecen puntas (spikes) temporales en los precios tremendamente significativas, sobre todo al alza. Las puntas se forman cuando tras un repentino y elevado salto en el precio, al muy poco tiempo, éste recupera de forma también brusca el nivel medio anterior.

Para el presente estudio, se considera un salto según el procedimiento propuesto por Panagiotis A. Dafas (2004) en su trabajo Estimating the parameters of a mean-reverting Markov-switching jump-diffusion model for crude oil spot prices; aquellos retornos que excedan en +/- tres desviaciones estándar.

El comportamiento estocástico de reversión a la media de commodities, puede ser entendido mirando el modelo de Schwartz (1997), dado por la siguiente ecuación:

$$dS = \alpha(\mu - \ln S)Sdt + \sigma SdW$$

S= Precio Spot.

$\mu$  = Parámetro de reversión a la media.

$\alpha$  = Tasa de reversión a la media.

$\sigma$  = Volatilidad de difusión anual.

Según Dafas (2004), en este modelo el precio medio revierte a largo plazo al nivel  $\bar{S} = e^{\mu}$  a una velocidad dada por la razón de la reversión media,  $\alpha$ . El significado de la reversión media puede ser entendido, mirando el primer término de la ecuación  $dS$ , si el precio spot  $S$ , está por encima del nivel a largo plazo  $\bar{S}$ , entonces el *Drift* sobre el precio Spot será negativo y el precio tenderá a

revertirse hacia el nivel de largo plazo. Igualmente si el precios spot  $S$ , está por debajo del nivel de largo plazo  $\bar{S}$ , entonces el *Drift* será positivo y el precio tenderá a moverse al nivel de largo plazo.

Para la estimación de los parámetros  $\alpha$  y  $\mu$ , se debe correr la regresión:

$$\ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right) = \beta_0 + \beta_1 \ln(S_t) + \varepsilon_t$$

Lo anterior es equivalente a tener:

$$Y_t = a + bX_t + \varepsilon_t$$

Donde

$$Y_t = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right) \quad X_t = \ln(S_t)$$

Comparando la regresión anterior con

$$\frac{dS}{S} = \alpha(\mu - \ln S)dt + \sigma dW$$

Se tiene

$$\beta_0 \cong \alpha\mu dt$$

$$\beta_1 \cong -\alpha dt$$

$$\varepsilon_t \cong \sigma dW$$

Despejando

$$\mu = \frac{\beta_0}{\alpha dt} = -\frac{\beta_0}{\beta_1}$$

$$\alpha = -\frac{\beta_1}{dt}$$

Con los anteriores resultados, se estimarían los parámetros del modelo.

Con el fin de simular a  $S_t$  es necesario investigar el modelo de manera más profunda posible, para esto definimos  $x = \ln S$ .

### **Lema de Ito:**

Sea  $S$  un proceso estocástico regido por la ecuación diferencial,

$$dS = A(S,t)dz + B(S,t)dt$$

Donde  $dz$  es el diferencial de un movimiento browniano estándar, si  $f: \mathbf{R}^2 \rightarrow \mathbf{R}$  es una función suave, entonces el proceso estocástico dado por  $f = f(S,t)$  se rige por,

$$df = A(S,t)\frac{\partial f}{\partial S} dz + (B(S,t)\frac{\partial f}{\partial S} + \frac{1}{2}A(S,t)^2\frac{\partial^2 f}{\partial S^2} + \frac{\partial f}{\partial t})dt$$

Aplicando el lema de Ito para el caso especial que S es regido por,

$$dS = \alpha(\mu - \ln S)Sdt + \sigma SdW$$

$$dz = dW$$

$$A(S, t) = \sigma S$$

$$B(S, t) = \alpha(\mu - \ln(S))S$$

$$dx = \frac{\partial f}{\partial S} dW + (B(S, t) \frac{\partial f}{\partial S} + \frac{1}{2} A(S, t)^2 \frac{\partial^2 f}{\partial S^2} + \frac{\partial f}{\partial t}) dt$$

$$x = \ln(S)$$

$$\frac{\delta x}{\delta S} = \frac{1}{S}$$

$$\frac{\delta^2 x}{\delta S^2} = -\frac{1}{S^2}$$

$$dx = \sigma S \frac{1}{S} dW + \left[ \alpha(\mu - \ln(S)) \frac{S}{S} + \frac{1}{2} \sigma^2 S^2 \left( -\frac{1}{S^2} \right) \right] dt$$

$$dx = \sigma dW + \left[ \alpha(\mu - \ln(S)) - \frac{1}{2} \sigma^2 \right] dt$$

$$dx = \sigma dW + \alpha \left[ \mu - \ln(S) - \frac{\sigma^2}{2\alpha} \right] dt$$

y definiendo

$$m = \left( \mu - \frac{\sigma^2}{2\alpha} \right)$$

Podemos caracterizar el logaritmo natural del precio spot por un proceso estocástico Ornstein-Uhlenbeck (OU):

$$dx = \sigma dW + \alpha(m - x)dt$$

Ahora, integrando la expresión anterior, tenemos:

$$x_t = m(1 - e^{-\alpha(\Delta_t)}) + x_{t-1}e^{-\alpha(\Delta_t)} + \sigma e^{-\alpha t} \int_{t-1}^t e^{\alpha u} dW(u)$$

$$x_t = \left( \mu - \frac{\sigma^2}{2\alpha} \right) (1 - e^{-\alpha \Delta_t}) + x_{t-1}e^{-\alpha \Delta_t} + \sigma e^{-\alpha t} \int_{t-1}^t e^{\alpha u} dW(u)$$

Una versión discreta de la ecuación anterior, es:

$$x_t = m(1 - e^{-\alpha\Delta_t}) + x_{t-1}e^{-\alpha} + \sigma \int_{t-1}^t e^{\alpha(u-t)} dW(u)$$

La cual se puede simular así:

$$x_t = m(1 - e^{-\alpha\Delta_t}) + x_{t-1}e^{-\alpha} + \varepsilon_t$$

Donde  $\varepsilon_t$  es un ruido blanco Gaussiano, con varianza  $\sigma_\varepsilon^2 = \sigma^2(1 - e^{-2\alpha})/2\alpha$

$$x_t = \mu(1 - e^{-\alpha\Delta_t}) + x_{t-1}e^{-\alpha} + \sigma\sqrt{\frac{1 - e^{-2\alpha\Delta_t}}{2\alpha}}Z$$

Donde  $Z \sim N(0,1)$

El proceso directo de  $S(t) = e^{X(t)}$  no funciona aquí porque el exponencial de una distribución normal, agrega la mitad de la variación en la media de la distribución log-normal. Para encontrar  $E[P(t)] = E[x(t)]$ , la mitad de la varianza, es compensada usando la siguiente ecuación:

$$\ln S(t) = x(t) - \frac{Var[x(t)]}{2}$$

La ecuación discreta quedaría así:

$$x_t = \ln(\bar{S})(1 - e^{-\alpha\Delta_t}) + x_{t-1}e^{-\alpha} + \sigma\sqrt{\frac{1 - e^{-2\alpha\Delta_t}}{2\alpha}}Z - \frac{\sigma^2}{4\alpha}(1 - e^{-\alpha\Delta_t})$$

Donde  $Z \sim N(0,1)$

$$S_t = e^{(x_t)}$$

En el desarrollo del modelo, Dafas (2004), propone realizar un filtro de los saltos de Poisson que se excedan en +/- tres desviaciones estándar, luego se vuelve a calcular la desviación estándar de los retornos filtrados y de nuevo se aplica el anterior criterio, hasta no tener saltos en la serie. Para la modelación completa, agregamos los saltos de Poisson teniendo el modelo a utilizar en las simulaciones como sigue: Si ocurre el salto de Poisson con probabilidad  $\lambda$ , tenemos:

$$x_t = \ln(\bar{S})(1 - e^{-\alpha\Delta_t}) + x_{t-1}e^{-\alpha} + \mu_k + \sqrt{\sigma_k^2}Z + \sigma\sqrt{\frac{1 - e^{-2\alpha\Delta_t}}{2\alpha}}Z - \frac{\sigma^2}{4\alpha}(1 - e^{-\alpha\Delta_t}) - \frac{\sigma_k^2}{2}$$

Donde  $Z \sim N(0,1)$

Si no ocurre el salto con probabilidad  $1 - \lambda$ , tenemos:

$$x_t = \ln(\bar{S})(1 - e^{-\alpha\Delta_t}) + x_{t-1}e^{-\alpha} + \sigma\sqrt{\frac{1 - e^{-2\alpha\Delta_t}}{2\alpha}}Z - \frac{\sigma^2}{4\alpha}(1 - e^{-\alpha\Delta_t})$$

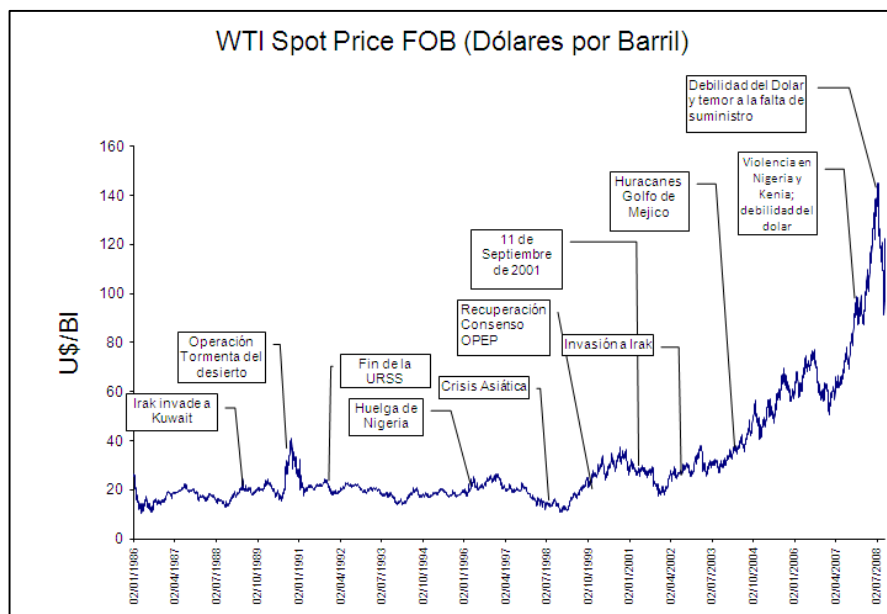
Donde  $Z \sim N(0,1)$

## 6. ANÁLISIS DE LAS SERIES DE PRECIOS Y CORRIDA DEL MODELO

### 6.1 ANÁLISIS WTI

El Gobierno Colombiano desde sus inicios tomó la decisión de fijar los precios nacionales de la gasolina motor corriente a partir del precio esperado de largo plazo del petróleo WTI con referencia a la Costa del Golfo de México. Como primera medida analizaremos la serie de precios para el WTI con el fin de compararla con los precios arrojados una vez corrido el modelo y calculadas las proyecciones.

La figura 10, muestra el histórico del WTI desde enero 2 de 1986, hasta Agosto 29 de 2008.



**Figura 10 Precio promedio diario del WTI (Enero 1986- Agosto 2008)**

Fuente EIA Elaboración propia.

Para la realización de la predicción de precios, como primera medida se parte de una de las reglas según Hull (2002); donde se establece que el intervalo de valores históricos utilizados para realizar la predicción, debe ser igual al número de años que se desea predecir; por lo tanto en el presente estudio el periodo histórico en precios a utilizar tanto para el WTI, Diesel, Fuel Oil y Gasolina será el comprendido entre el 29 de Agosto de 2003 y el 29 de Agosto de 2008.

La fuente de la cual se obtuvo los precios históricos del intervalo escogido, fue la Energy Information Administration. En la figura 11 se observa la serie histórica

en donde se presentan los precios máximo, mínimo y promedio. Por otra parte la Figura 12 muestra la gráfica de los precios diarios para el intervalo de tiempo a analizar.

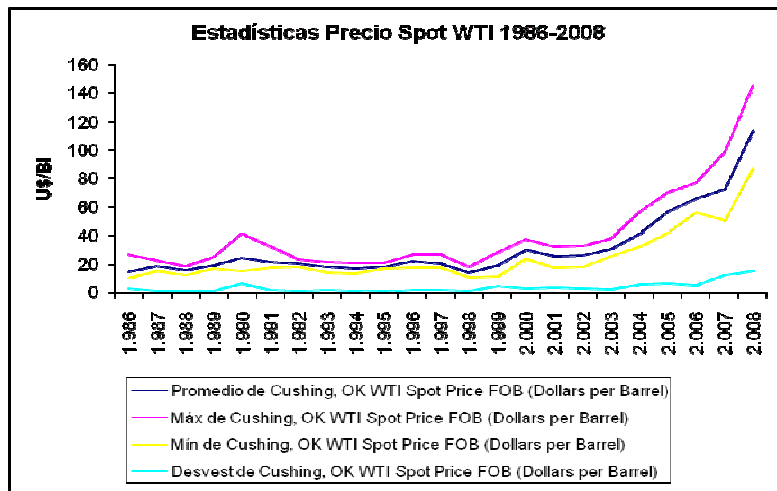


Figura 11 Precio promedio, máximo y mínimo anual del WTI (Enero 1986- Agosto 2008)  
Fuente EIA. Elaboración propia

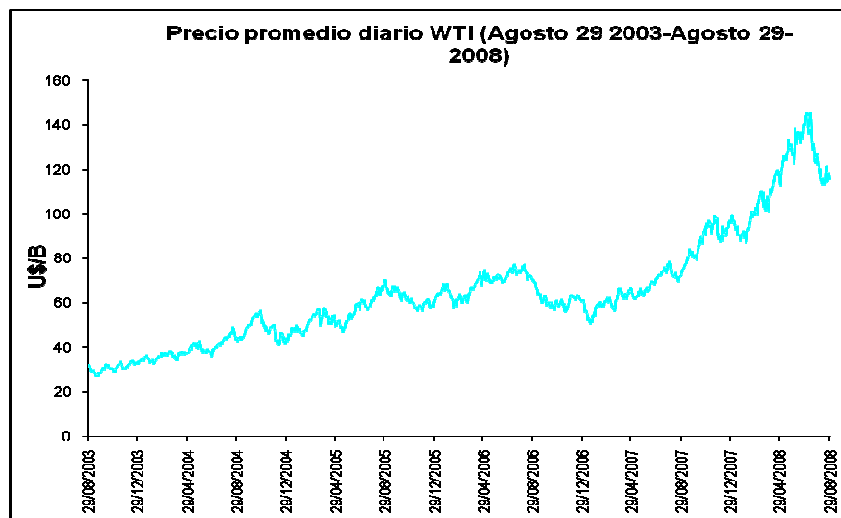


Figura 12 Precio promedio diario WTI Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008.  
Fuente EIA. Elaboración propia

A continuación se realizan pruebas de bondad - ajuste y el análisis de volatilidad, con el fin de definir si los retornos presentan una distribución normal y volatilidad constante, para así poder extraer los parámetros del modelo, los cuales servirán para pronosticar los precios futuros del WTI. Dichos parámetros son, *Drift*, volatilidad anual, precio inicial, promedio saltos/año  $\lambda$ , valor esperado salto  $k$  y Desviación standard salto  $\delta$ .

### 6.1.1. Análisis estadístico y distribución de los retornos del precio spot promedio diario.

Una vez seleccionado el periodo de precios históricos a analizar, se procede a eliminar los días de no cotización y posteriormente se realiza el cálculo de los retornos mediante la siguiente fórmula:

$$r_t = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right)$$

Donde: S es el precio spot diario.

En la figura 13 se puede observar, los retornos diarios calculados para el periodo histórico que se va a utilizar para las predicciones de WTI.

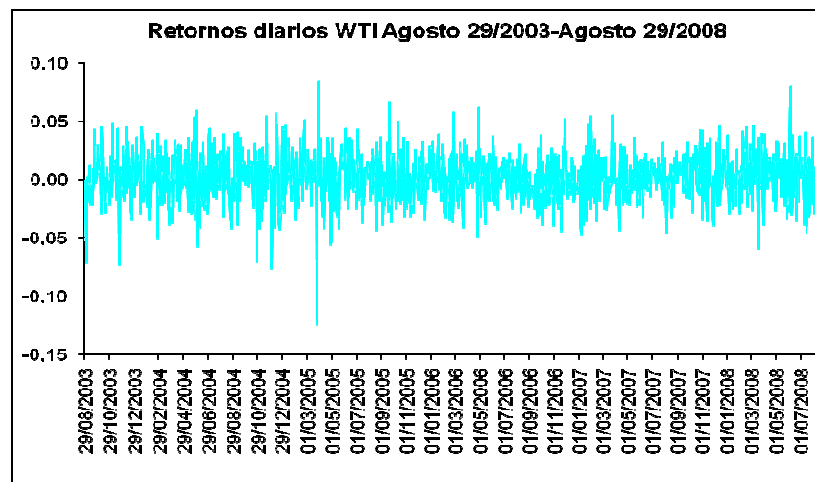


Figura 13 Retornos Diarios WTI Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008

Fuente EIA. Elaboración propia

Una vez calculados los retornos se procede al análisis estadístico donde se examina el problema de verificar si el conjunto de datos se puede ajustar o afirmar que proviene de una distribución Normal. Las pruebas estadísticas que tratan este problema reciben el nombre general de "Pruebas de Bondad de Ajuste".

A lo largo de este estudio cada vez que se hable de análisis estadístico, o pruebas de bondad y ajuste, se analizarán dos pruebas básicas: La prueba Chi-Cuadrado y la prueba de Smirnov-Kolmogorov. Ambas pruebas caen en la categoría de lo que en estadística se denominan pruebas de "Bondad de Ajuste" y miden, como el nombre lo indica, el grado de ajuste que existe entre la distribución obtenida a partir de la muestra y la distribución teórica que se supone debe seguir esa muestra. Ambas pruebas están basadas en la hipótesis

nula de que no hay diferencias significativas entre la distribución muestral y la teórica.

La prueba Chi-Cuadrado se basa en la comparación entre la frecuencia observada en un intervalo de clase y la frecuencia esperada en dicho intervalo, calculada de acuerdo con la hipótesis nula formulada. Es decir, se quiere determinar si las frecuencias observadas en la muestra están lo suficientemente cerca de las frecuencias esperadas bajo la hipótesis nula.

El Planteamiento de las hipótesis en la prueba Chi Cuadrado estaría dado de la siguiente manera:

- Hipótesis alterna ( $H_a$ ). Las frecuencias observadas difieren de las que corresponden a una distribución normal.
- Hipótesis nula ( $H_0$ ). Las frecuencias observadas presentan un comportamiento de distribución Normal.

Para la realización de las pruebas de bondad y ajuste necesarias en este estudio se realizarán mediante el uso del software Arena Rockwell (Input Analyzer). Una vez el software arroje los resultados se analizará en el caso de la prueba Chi Cuadrado según los siguientes parámetros:

- Si el P-Valor presenta un valor de probabilidad igual o menor que 0.05, quiere decir que existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar  $H_a$ .
- Si el P-Valor presenta un valor probabilidad mayor que 0.05, nos dice que no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula y por tanto se rechaza  $H_a$ .

Por otra parte se aplicará simultáneamente la prueba de Smirnov – Kolmogorov, la cual tiene la particularidad de aplicarse para tamaños de muestra pequeños, lo que no sucede con la Chi-Cuadrado. Así mismo en la prueba S-K cuando se rechaza la hipótesis nula, se tiene una mayor confiabilidad en dicho resultado que en la Chi Cuadrado.

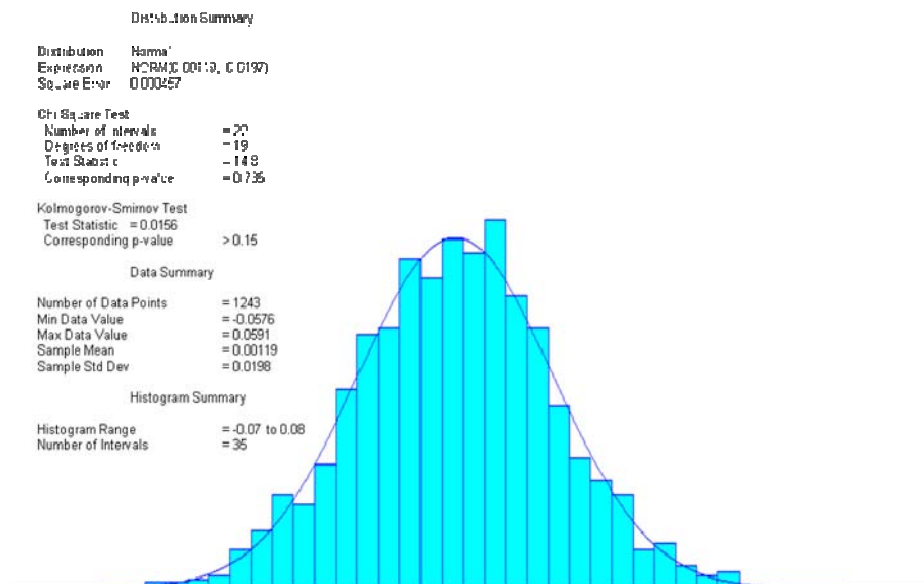
El Planteamiento de las hipótesis en la prueba Smirnov – Kolmogorov estaría dado de la siguiente manera:

- Hipótesis alterna ( $H_a$ ). Los valores observados de las frecuencias para cada clase son diferentes de las frecuencias teóricas de una distribución normal.
- Hipótesis nula ( $H_0$ ). Las frecuencias observadas presentan un comportamiento de distribución Normal..

Al igual que la prueba Chi Cuadrado, la prueba de Smirnov – Kolmogorov se realizará mediante el uso del software Arena Rockwell (Input Analyzer). Una vez el software arroje los resultados se analizará según los siguientes criterios:

- Si el P-Valor presenta un valor de probabilidad igual o menor que 0.05, quiere decir que existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula y aceptar  $H_a$ .
- Si el P-Valor presenta un valor probabilidad mayor que 0.05, nos dice que no existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula y por tanto se rechaza  $H_a$ .

La Figura 14, muestra los resultados del software Arena Rockwell (Input Analyzer) una vez realizadas las pruebas de bondad y ajuste.



**Figura 14 Prueba de bondad y ajuste retornos diarios WTI Agosto 29/03 - Agosto 29/08**  
Fuente EIA. Elaboración propia

Al obtener los resultados arrojados por el software, se observa que tanto para la prueba Chi Cuadrado como para la de Smirnov – Kolmogorov el p-value es mayor que 0.05 luego no hay evidencia para rechazar la Hipótesis Nula y por tanto se rechaza  $H_a$ ; es decir, las frecuencias observadas y las teóricas calculadas no difieren significativamente. Por lo tanto, los retornos presentan una distribución normal. Los datos de la serie analizada son los presentados en la tabla 1.

<b>Precio Spot</b>		<b>Retornos</b>	
Promedio del Precio	U\$/Bl 64,69	Promedio Cambio Diario	0,0010307
Desviación Estándar	U\$/Bl 25,17	Desviación Estándar	0,020896942
		Volatilidad Anual ( $\sigma$ )	33,04%

**Tabla 1 Caracterización de los precios Spot del WTI Agosto 29/03 - Agosto 29/08**

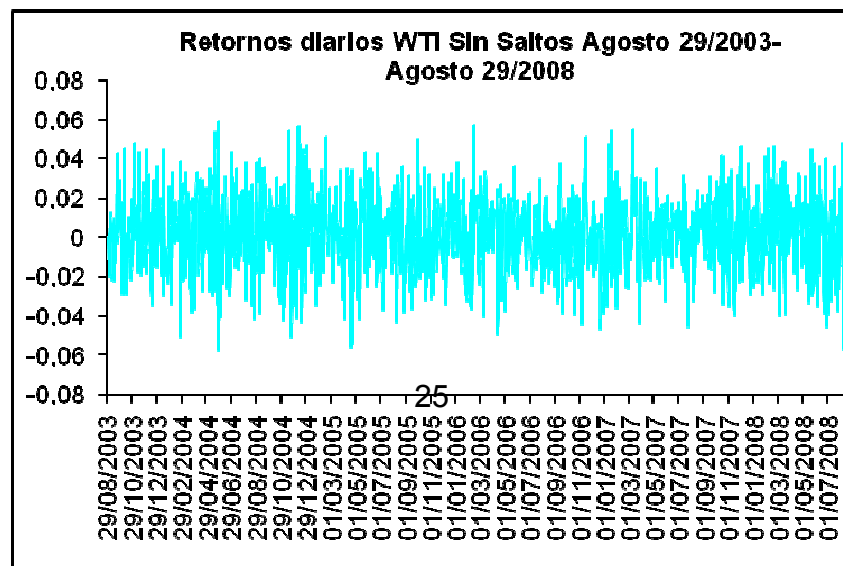
### 6.1.2. Extracción de Saltos Retornos Diarios WTI.

En el comportamiento de los precios tanto del WTI, Diesel, Fuel Oil y Gasolina, éstos están sujetos a saltos, es decir, a variaciones repentinas anormalmente grandes. Los saltos, son especialmente evidentes, cuando aparecen puntas (spikes) temporales en los precios tremendamente significativas, sobre todo al alza. Las puntas se forman cuando tras un repentino y elevado salto en el precio, al muy poco tiempo, éste recupera de forma también brusca el nivel medio anterior. Han sido muy sonados bastantes episodios más o menos breves de precios extraordinariamente altos en diversas partes del mundo; y también algunos otros de precios extraordinariamente bajos; tal cual como se evidencio con el precio del WTI en Julio del presente año.

El paso a seguir fue la eliminación o extracción de saltos mediante el procedimiento propuesto por Panagiotis A. Dafas (2004) en su trabajo Estimating the parameters of a mean-reverting Markov-switching jump-diffusion model for crude oil spot prices.

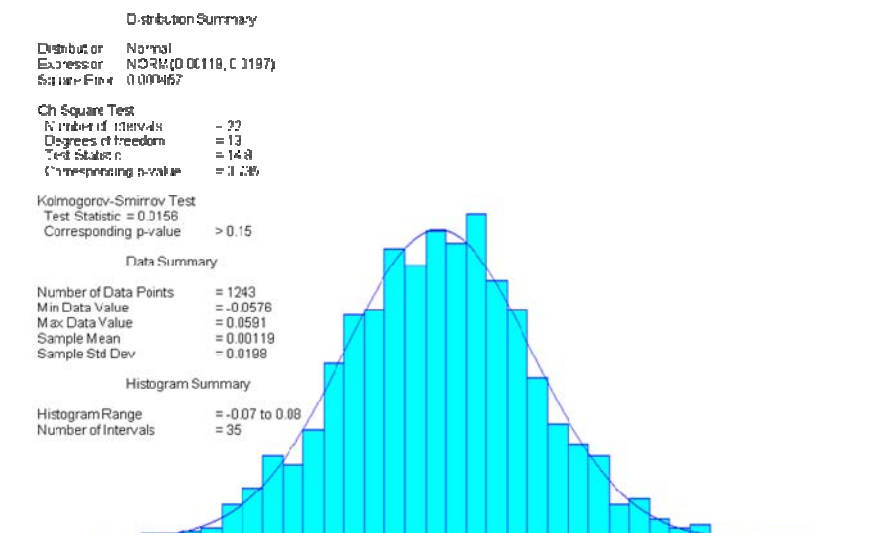
La eliminación de dichos saltos se dio bajo el criterio de extraer aquellos que excedían en +/- tres desviaciones estándar. Una vez eliminado estos saltos se volvía a calcular la desviación estándar de los retornos filtrados y de nuevo se aplicaba el criterio de extracción de saltos, hasta no tener saltos en los datos.

Aplicado el anterior criterio para la serie de retornos del WTI se eliminaron 10 saltos en total; los resultados obtenidos una vez filtrados dichos saltos se observan en la Figura 15.



**Figura 15 Retornos Diarios WTI Sin Saltos Agosto 29/03 - Agosto 29/08**  
Fuente EIA. Elaboración propia

Una vez eliminado los saltos de los retornos se procede a realizar nuevamente el análisis estadístico de bondad y ajuste mediante el software Arena Rockwell (Input Analyzer). Los resultados de dicho análisis se ven en la Figura 16.



**Figura 16 Prueba de bondad y ajuste sin saltos del WTI Agosto 29/03 - Agosto 29/08**  
Fuente EIA. Elaboración propia

Recordando los criterios mencionados que se tendrán en cuenta en el transcurso de este estudio, para los análisis estadísticos, se observa que tanto para la prueba Chi Cuadrado como para la de Smirnov – Kolmogorov el p-value es mayor que 0.05 luego no hay evidencia para rechazar la Hipótesis Nula y por tanto se rechaza  $H_a$ ; es decir, las frecuencias observadas y las teóricas calculadas no difieren significativamente. Por lo tanto, los retornos presentan una distribución normal.

### 6.1.3. Prueba de verificación de Volatilidad.

Realizada la prueba de bondad y ajuste para la serie sin saltos, se procede a realizar una prueba de volatilidad con el fin de observar si la serie de retornos sin saltos presenta volatilidad constante o no. Para la realización de dicha prueba se realizo mediante el software SAS, el cual arrojó los resultados presentes en la Figura 17.

The AUTOREG Procedure

Dependent Variable    WTI  
                                  WTI

Ordinary Least Squares Estimates

SSE	0.48466624	DFE	1242
MSE	0.0003902	Root MSE	0.01975
SBC	-6222.4188	AIC	-6227.5441
Regress R-Square	0.0000	Total R-Square	0.0000
Durbin-Watson	2.1500		

GARCH Estimates

SSE	0.48466624	Observations	1243
MSE	0.0003899	Uncond Var	0.00038994
Log Likelihood	3114.77501	Total R-Square	.
SBC	-6087.0444	AIC	-6189.55
Normality Test	0.1301	Pr > ChiSq	0.9370

Variable	DF	Estimación	Error estándar	Valor t	Aprox Pr >  t
Intercept	1	0.001186	0.000575	2.06	0.0390
ARCH0	1	0.000390	2.5440	0.00	0.9999
ARCH1	1	2.6356E-6	0.0253	0.00	0.9999
ARCH2	1	1.5932E-6	0.0278	0.00	1.0000
ARCH3	1	5.3218E-6	0.0343	0.00	0.9999
ARCH4	1	-9.55E-12	0.0276	-0.00	1.0000
ARCH5	1	7.9099E-6	0.0464	0.00	0.9999
ARCH6	1	6.7372E-6	0.0380	0.00	0.9999
ARCH7	1	1.7546E-6	0.0531	0.00	1.0000
ARCH8	1	3.5349E-6	0.0548	0.00	0.9999
ARCH9	1	4.8956E-6	0.0496	0.00	0.9999
ARCH10	1	2.8739E-6	0.0559	0.00	1.0000
GARCH1	1	9.9992E-7	1951	0.00	1.0000
GARCH2	1	9.9992E-7	4919	0.00	1.0000
GARCH3	1	9.9992E-7	5214	0.00	1.0000
GARCH4	1	9.9992E-7	6159	0.00	1.0000
GARCH5	1	9.9991E-7	5508	0.00	1.0000
GARCH6	1	9.999E-7	4247	0.00	1.0000
GARCH7	1	9.999E-7	3525	0.00	1.0000
GARCH8	1	9.999E-7	3995	0.00	1.0000
GARCH9	1	9.9989E-7	3736	0.00	1.0000
GARCH10	1	9.9989E-7	1308	0.00	1.0000

**Figura 17 Prueba de volatilidad constante para e el WTI.**

Fuente EIA. Elaboración propia

Según los resultados obtenidos, la volatilidad se puede considerar constante dado que ninguno de los términos Garch y Arch son significativos en ningún nivel de confianza. Luego se puede considerar la volatilidad constante y correr el modelo de acuerdo a esta condición.

#### 6.1.4. Estimación de los parámetros.

Hechas las pruebas de bondad - ajuste y el análisis de volatilidad, y encontrado que los retornos presentan una distribución normal y volatilidad constante, se extraen los parámetros del modelo, el cual servirá para pronosticar los precios futuros del WTI. La Tabla 2, presenta el resumen de los parámetros necesarios.

Drift (a)	0.29662220
Volatilidad anual	31.23%
Precio inicial (S_0)	115.55
$\Delta t$	0.00401606
T	5.00

**Tabla 2 Datos del modelo de reversión a la media para el WTI.**

La caracterización de los saltos obtenidos, se muestra en la Tabla 3.

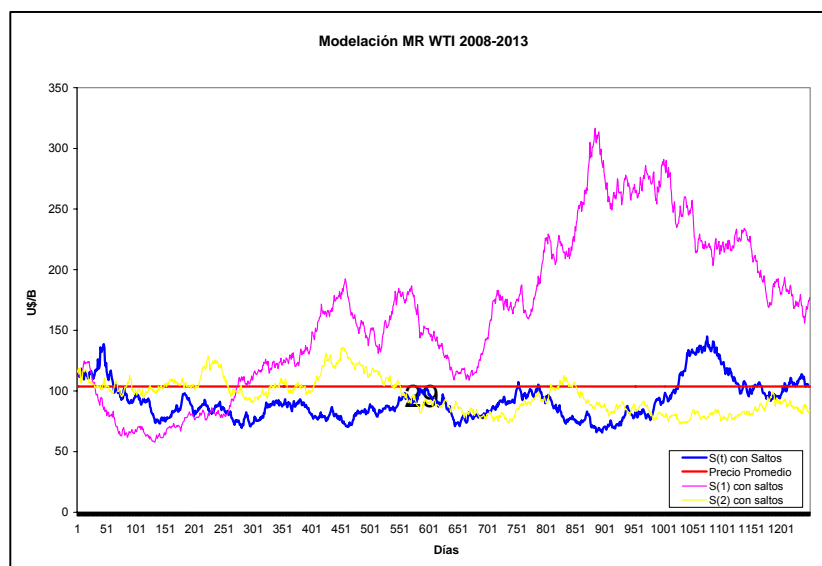
Saltos	
Promedio saltos / año, $\lambda$	1.596
Valor esperado salto, k	-0.014344
Desviación standard salto, $\delta$	0.040024

**Tabla 3 Datos de los saltos para el WTI.**

### 6.1.5. Corrida del modelo

Una vez obtenidos los parámetros necesarios, para el modelo propuesto, para la predicción de precios, se procede a realizar la respectiva corrida mediante el Software Crystal Ball, en el cual se realizarán 10.000 iteraciones.

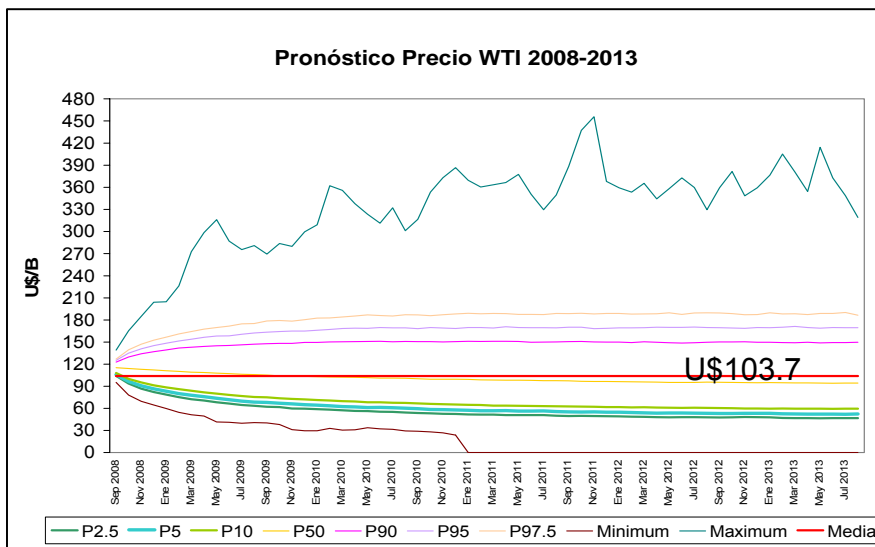
La figura 18 muestra 3 de las 10.000 iteraciones realizadas.



**Figura 18 Simulación del Modelo para WTI**  
Elaboración propia

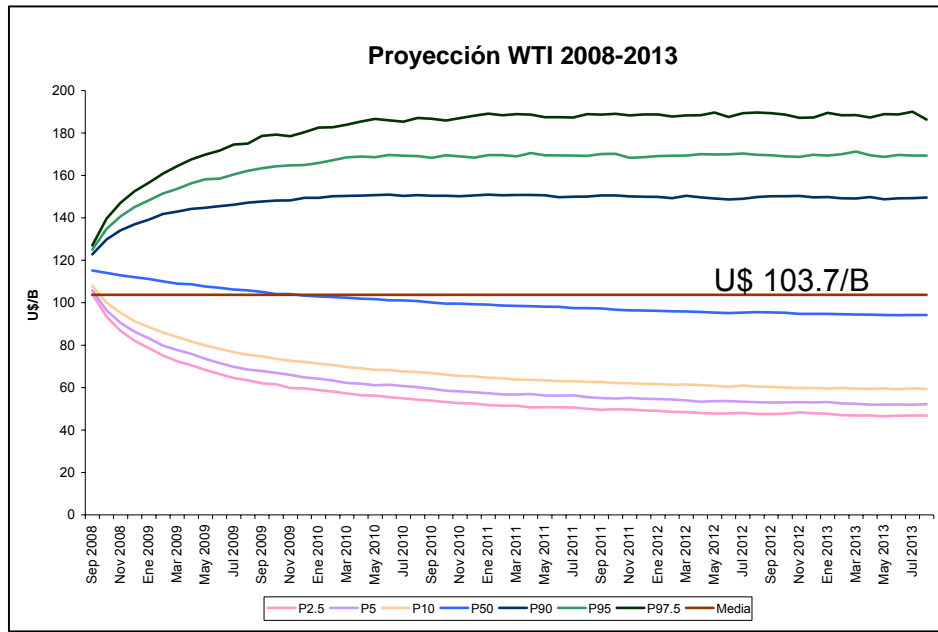
### 6.1.6. Resultados del modelo

Realizadas las 10.000 iteraciones se escogieron los percentiles 2.5, 5, 10, 50, 90 y 97.5 al igual que los valores máximos y mínimos; estos datos se pueden observar en la Figura 19.



**Figura 19 Resultados del Modelo para WTI**  
Elaboración propia

Para el presente estudio se dejó los siguientes percentiles como los que definen los escenarios de precios; rango superior el percentil 90, rango inferior el percentil 10 y el rango medio el percentil 50; dejando un índice de confianza del 80%. La figura 20 muestra los percentiles que definen los escenarios de precios.



**Figura 20 Selección de rangos del Modelo para WTI**  
Elaboración propia

### 6.1.7. Comparación Vs Cambridge Energy Research Associates (CERA) y Nymex

Los resultados de las proyecciones son comparados con lo proyectado por Cambridge Energy Research Associates (CERA). CERA es una empresa líder de consultoría que presta sus servicios a nivel internacional a las compañías de energía, gobiernos, instituciones financieras, y proveedores de tecnología. CERA ofrece conocimiento crítico y análisis independiente sobre los mercados del sector de energía, geopolítica, tendencias de la industria y estrategia. Sus servicios sirven de apoyo para tomar decisiones, anticipar el futuro de la energía y formular planes oportunos y exitosos ante la rápida sucesión de cambios e incertidumbre. CERA es mundialmente reconocida por su investigación independiente y fundamental, por presentar una visión previsora y por tener un pensamiento original. Su exclusiva estructura integral les permite ofrecer una perspectiva que va más allá del juicio convencional, emitiendo un muy completo “sistema de advertencia temprana” que tiene un impacto directo en las inversiones, la toma de decisiones y el rendimiento con el fin de tener un

referente a la caracterización de los precios futuros. CERA maneja tres escenarios para la proyección de precios:

**ASIAN PHOENIX:** Este escenario puede catalogarse como el escenario medio.

**BREAK POINT:** Es el distintivo que le dan al escenario alto.

**GLOBAL FISSURES:** Escenario Bajo

Teniendo en cuenta que ECOPETROL S.A. toma decisiones basados en la compra de información de proyecciones suministradas por CERA, se considera que es un buen referente para la comparación de las proyecciones realizadas. La Figura 21 muestra la grafica de comparación.

### WTI Price Scenarios to 2020

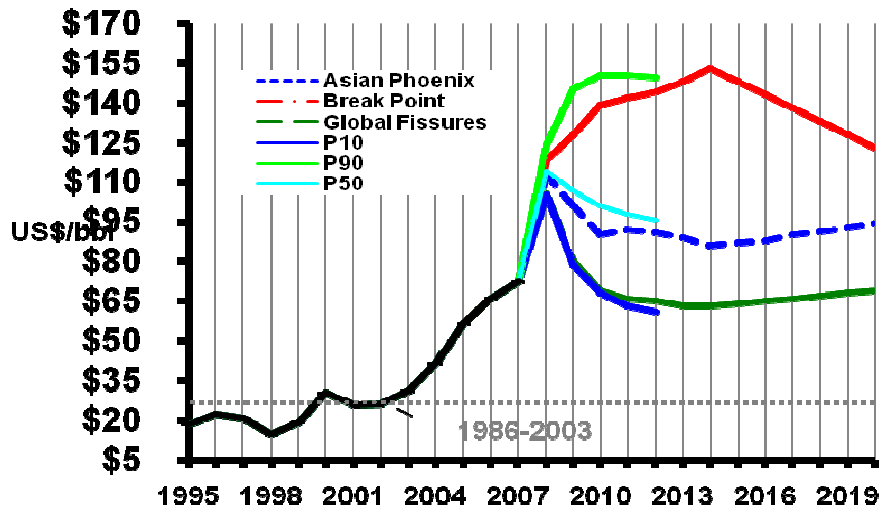
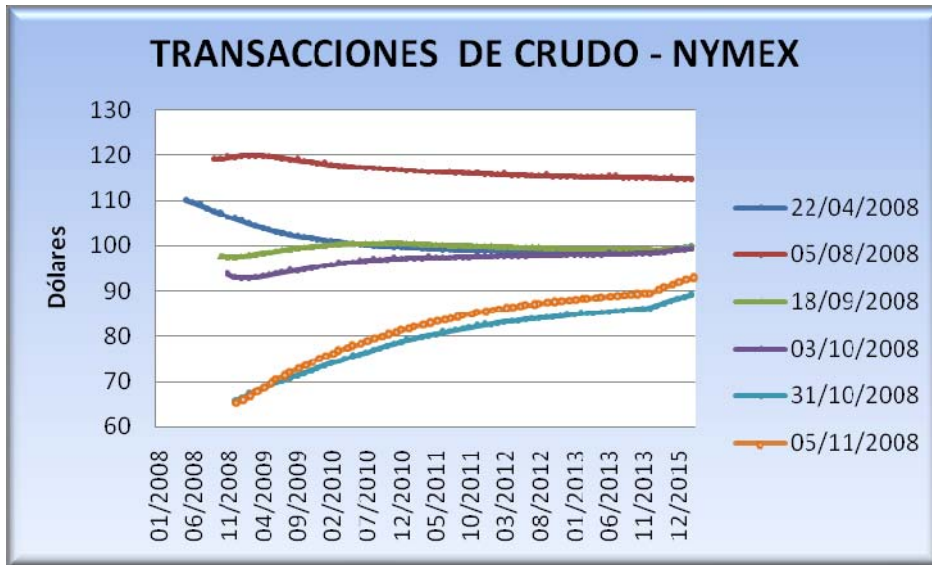


Figura 21 Comparación del modelo para el WTI y los datos de Cambridge Energy Research Associates (CERA)

Fuente: Cambridge Energy Research Associates (CERA) Elaboración propia.

Por otra parte la Figura 22 muestra los futuros de Nymex, es decir los contratos a futuros transados de Crudo, en diferentes fechas del 2008. Para la elaboración de esta grafica se tuvo en cuenta fechas de transacción donde el barril de crudo estuviera a un precio por encima de los 100 dólares, como se ve para el 5 de Agosto y el 22 de Abril de 2008; así mismo valores por debajo de los 100 dólares, como el caso del 5 de Noviembre y 31 de Octubre y por ultimo valores medios alrededor de los 100 dólares como lo fue el 18 de Septiembre y el 3 de Octubre. Podemos observar en la grafica, que el mercado, independientemente del precio en que se encuentre el barril de Crudo piensa en una media a futuro alrededor de los 100 dólares por barril.

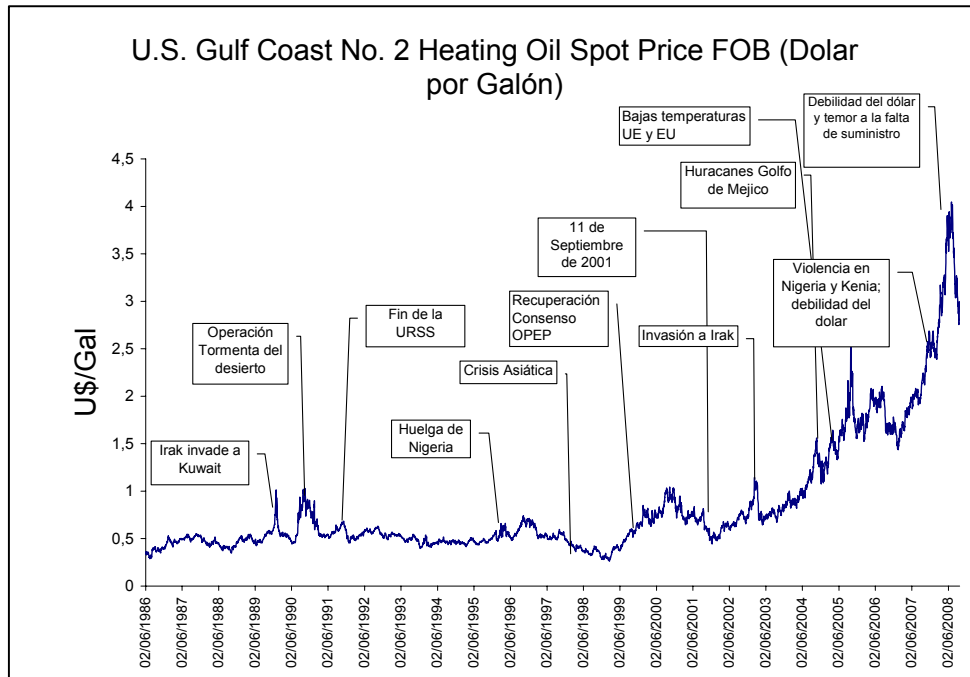


**Figura 22 Gráfica Comodity Price Curves - WTI**  
Fuente: www.Nymex.com

Una vez comparadas las proyecciones con los escenarios manejados por CERA, al igual que la media de los futuros transados en diferentes fechas del año 2008, mostrado por la figura 21 y 22, se observa como la media proyectada por el modelo de reversión a la media (103.7 dólares) se aproxima a la de CERA dada por el escenario Asian Phoenix y a la del mercado de Nymex mostrada en la figura 22 donde se evidencia una tendencia a los 100 dólares por barril a futuro. Estas comparaciones reflejan que las proyecciones realizadas mediante el método de reversión a la media, presentan un buen grado de confiabilidad, suministrándose así, evidencia y respaldo para continuar con el desarrollo del presente estudio.

## 6.2 Análisis de las series de Precios del Diesel.

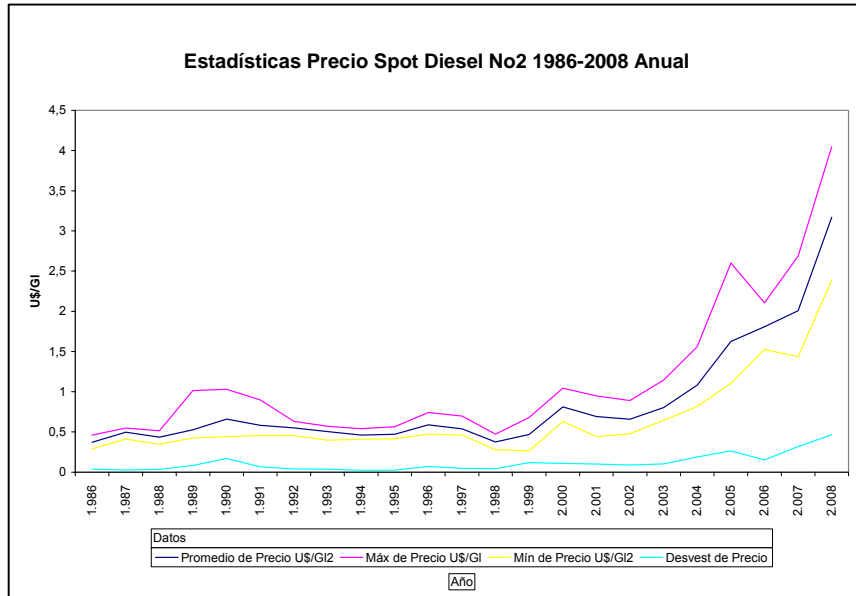
Para el análisis del diesel se tomo como precios de referencia histórico el No. 2 Heating Oil; obtenida de la Energy Information Administration la cual es la Official Energy Statistics from the U.S Government. La Figura 23, muestra el histórico del Diesel desde enero 2 de 1986, hasta Agosto 29 de 2008.



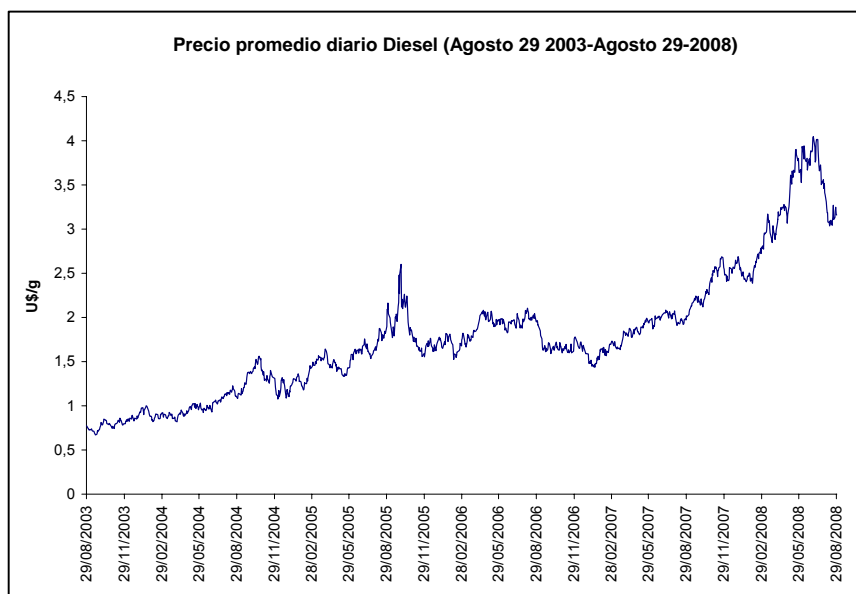
**Figura 23 Precio promedio diario del Diesel (Enero 1986- Agosto 2008)**

Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

Al igual que con el WTI para el análisis del diesel se siguió la regla de Hull (2002), la cual establece que el intervalo de valores históricos utilizados para realizar la predicción, debe ser igual al número de años que se desea predecir; por lo tanto en el presente estudio el periodo histórico en precios a utilizar para análisis del Diesel, será el comprendido entre el 29 de Agosto de 2003 y el 29 de Agosto de 2008. La figura 24 evidencia la serie histórica en donde se presentan los precios máximo, mínimo y promedio del diesel desde 1986 hasta el 2008. Por otra parte la Figura 25 muestra la gráfica de los precios promedio diarios para el intervalo de tiempo a analizar.



**Figura 24 Volatilidad del Precio del diesel (Enero 1986- Agosto 2008)**  
 Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia



**Figura 25 Precio promedio diario Diesel Enero Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008**  
 Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

A continuación se realizan pruebas de bondad - ajuste y el análisis de volatilidad, con el fin de definir si los retornos presentan una distribución normal y volatilidad constante, las cuales son características que exige el modelo de reversión a la media sobre la serie de datos históricos analizados para así poder extraer los parámetros del modelo, los cuales servirán para pronosticar los precios futuros

del Diesel. Dichos parámetros son, *Drift*, volatilidad anual, precio inicial, promedio saltos/año  $\lambda$ , valor esperado salto  $k$  y Desviación standard salto  $\delta$ .

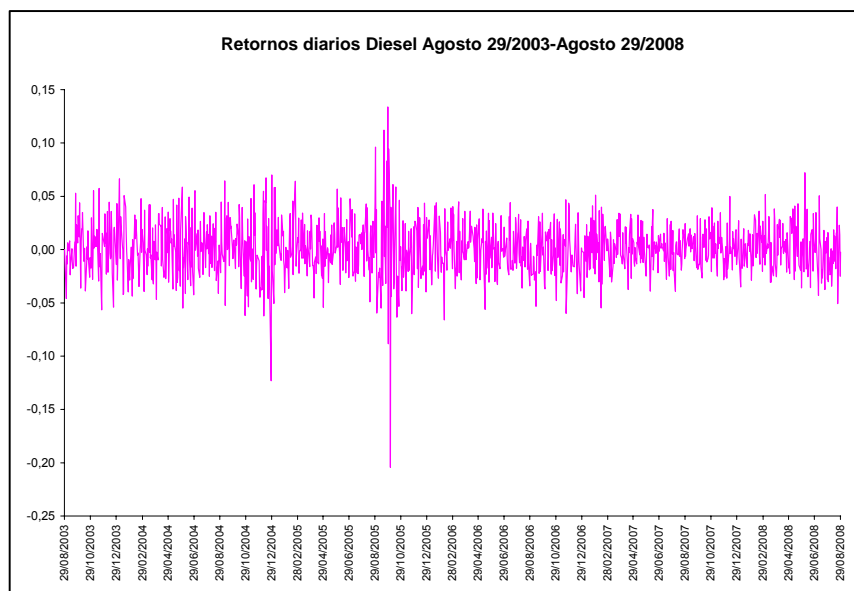
### 6.2.1. Análisis estadístico y distribución de los retornos del precio spot promedio diario

Una vez seleccionado el periodo de precios históricos a analizar, se procede a eliminar los días de no cotización y posteriormente se realiza el cálculo de los retornos mediante la siguiente fórmula:

$$r_t = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right)$$

Donde: S es el precio spot diario.

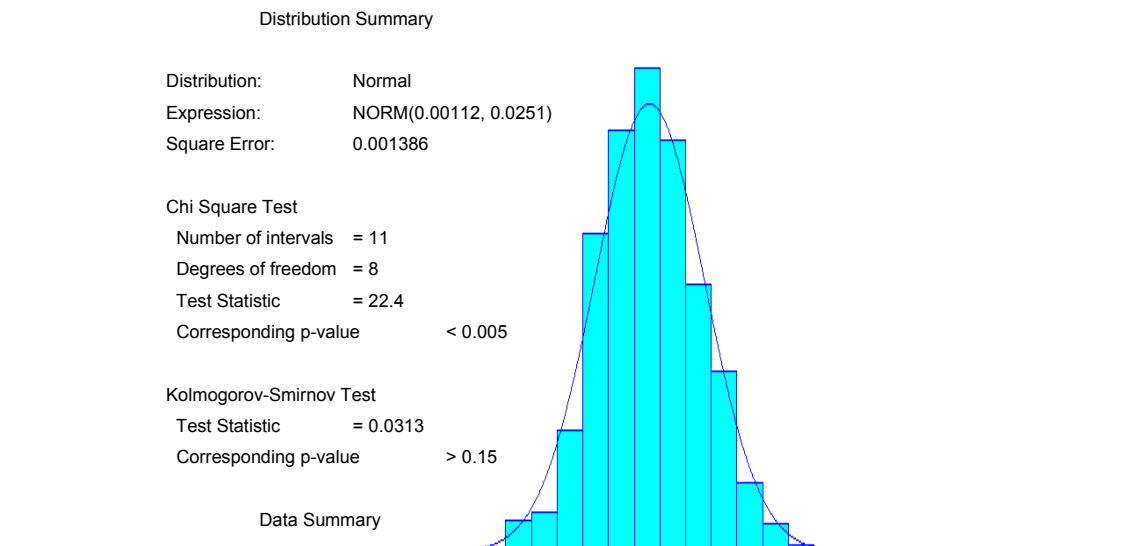
En la figura 26 se puede observar, los retornos diarios calculados para el periodo histórico que se va a utilizar para las predicciones de Diesel.



**Figura 26 Retornos diarios Diesel Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008**

Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

Calculados los retornos se procede al análisis estadístico donde examinaremos el problema de verificar si el conjunto de datos se puede ajustar, o afirmar que proviene de una distribución Normal. Al igual que para el WTI, las pruebas estadísticas que se aplicarán será la prueba Chi-Cuadrado y la prueba de Smirnov-Kolmogorov. Dichas pruebas se realizarán mediante el uso del software Arena Rockwell (Input Analyzer). Los resultados obtenidos se presentan en la figura 27.



**Figura 27 Prueba de bondad y ajuste retornos diarios Diesel Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008**

Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

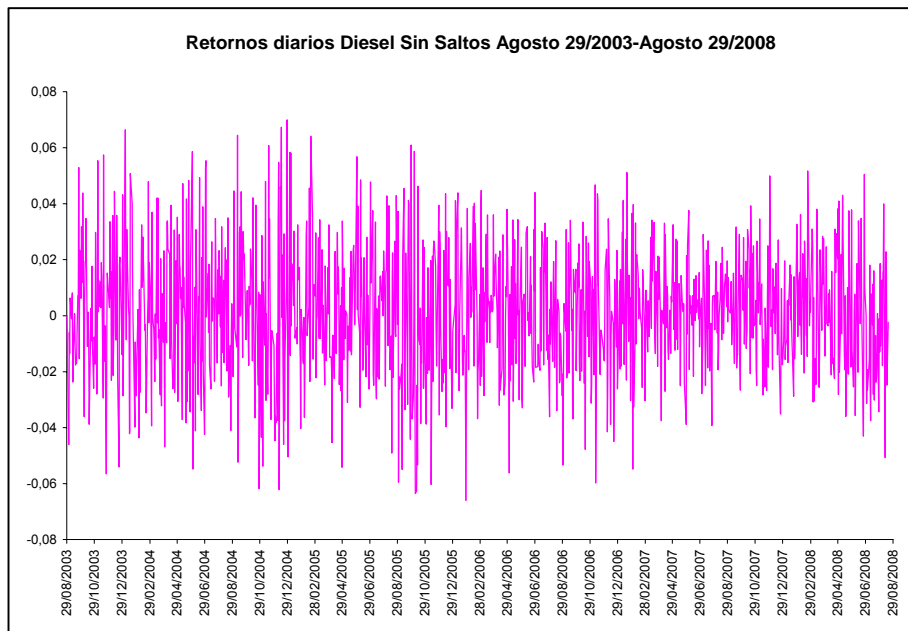
Siguiendo los mismos parámetros indicados en la explicación estadística realizada al WTI, para el análisis del p-value en las pruebas de bondad y ajuste; se observa que para la prueba Chi Cuadrado el p-value es menor a 0.005 lo que indica que existe evidencia para rechazar la hipótesis nula y aceptar la hipótesis alterna, es decir los valores observados de las frecuencias para cada clase son diferentes de las frecuencias teóricas de una distribución normal. Sin embargo para la prueba de Smirnov – Kolmogorov el p-value es mayor que 0.05 luego demuestra que no existe evidencia para rechazar la Hipótesis Nula y por lo tanto se rechaza  $H_a$ ; es decir, las frecuencias observadas y las teóricas calculadas no difieren significativamente. Para mejorar la aproximación a una distribución normal, se seguirá el procedimiento de extracción de los saltos de los retornos diarios de la serie del diesel. Los datos de la serie analizada son los presentados en la tabla 4.

<i>Precio Spot</i>		<i>Retornos</i>	
Promedio del Precio	U\$/BI 1.78	Promedio Cambio Diario	0,0011225
Desviación Estándar	U\$/BI 0.72	Desviación Estándar	0,025066708
		Volatilidad Anual ( $\sigma$ )	39,63%

**Tabla 4 Caracterización de los precios Spot del Diesel Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008**

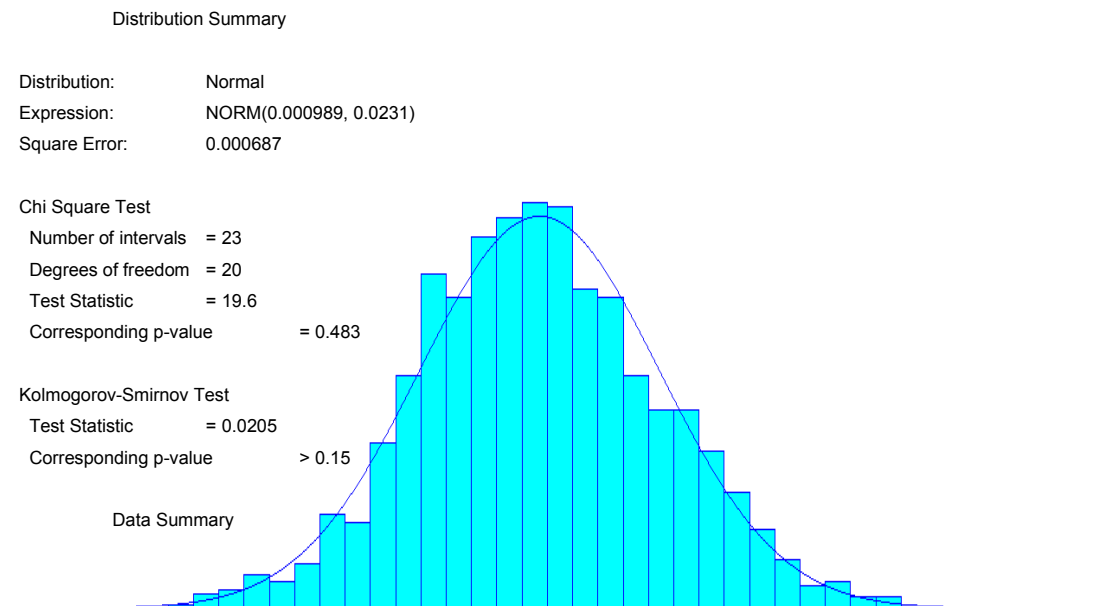
### 6.2.2. Extracción de Saltos Retornos diarios Diesel

El paso a seguir fue la eliminación o extracción de saltos mediante el mismo procedimiento y criterio aplicado en el análisis del WTI. Una vez aplicado el criterio para la serie de retornos del Diesel se eliminaron 9 saltos en total; los resultados obtenidos una vez filtrados dichos saltos se observan en la Figura 28.



**Figura 28 Retornos diarios Diesel Sin Saltos Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008**  
Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

Eliminados los saltos de los retornos se procede a realizar nuevamente el análisis estadístico de bondad y ajuste mediante el software Arena Rockwell (Input Analyzer). Los resultados finales se observan en la Figura 29.



**Figura 29 Prueba de bondad y ajuste sin saltos a los retornos diarios Diesel Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008**

Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

Recordando los criterios mencionados que se tendrán en cuenta en el transcurso de este estudio, para los análisis estadísticos, se observa que tanto para la prueba Chi Cuadrado como para la de Smirnov – Kolmogorov el p-value es mayor que 0.05 luego no hay evidencia para rechazar la Hipótesis Nula y por tanto se rechaza  $H_a$ ; es decir, las frecuencias observadas y las teóricas calculadas no difieren significativamente. Por lo tanto, las observaciones tienen una distribución normal.

### 6.2.3. Prueba de verificación de Volatilidad

Una vez realizada la prueba de bondad y ajuste para la serie sin saltos, se procede a realizar una prueba de volatilidad con el fin de observar si la serie de retornos sin saltos presenta volatilidad constante. Para la realización de dicha prueba se utilizó el software SAS, el cual arrojó los resultados presentes en la Figura 30.

The AUTOREG Procedure

Dependent Variable DIESEL  
DIESEL

Ordinary Least Squares Estimates

SSE	0.66157649	DFE	1243
MSE	0.0005322	Root MSE	0.02307
SBC	-5841.3407	AIC	-5846.4668
Regress R-Square	0.0000	Total R-Square	0.0000
Durbin-Watson	2.0770		

GARCH Estimates

SSE	0.66171144	Observations	1244
MSE	0.0005319	Uncond Var	0.0005398
Log Likelihood	2954.20128	Total R-Square	.
SBC	-5758.7547	AIC	-5866.4026
Normality Test	3.3446	Pr > ChiSq	0.1878

Variable	DF	Estimación	Error estándar	Valor t	Aprox Pr >  t
Intercept	1	0.001319	0.000619	2.13	0.0332
ARCH0	1	0.000209	0.000218	0.96	0.3370
ARCH1	1	0.0235	0.0320	0.74	0.4613
ARCH2	1	0.0278	0.0459	0.61	0.5451
ARCH3	1	0.0584	0.0548	1.07	0.2858
ARCH4	1	-0.000024	0.0646	-0.00	0.9997
ARCH5	1	0.1584	0.0811	1.95	0.0507
ARCH6	1	0.0489	0.1712	0.29	0.7752
ARCH7	1	0.0277	0.1718	0.16	0.8717
ARCH8	1	0.0337	0.1674	0.20	0.8403
ARCH9	1	0.0244	0.1760	0.14	0.8899
ARCH10	1	0.0843	0.1182	0.71	0.4755
GARCH1	1	-0.002433	1.0272	-0.00	0.9981
GARCH2	1	-0.003820	0.9916	-0.00	0.9969
GARCH3	1	0.0115	1.0419	0.01	0.9912
GARCH4	1	0.006226	1.1963	0.01	0.9958
GARCH5	1	0.006076	0.8875	0.01	0.9945
GARCH6	1	0.0259	0.4299	0.06	0.9519
GARCH7	1	0.009434	0.4425	0.02	0.9830
GARCH8	1	0.0387	0.4449	0.09	0.9307
GARCH9	1	0.005239	0.5270	0.01	0.9921
GARCH10	1	0.0281	0.4408	0.06	0.9492

**Figura 30 Prueba de volatilidad constante para el diesel.**

Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

Según los resultados obtenidos, la volatilidad se puede considerar constante dado que ninguno de los términos Garch y Arch son significativos. Luego se puede considerar la volatilidad constante y correr el modelo de acuerdo a esta condición.

### 6.2.4. Estimación de los parámetros

El paso a seguir, una vez realizadas las pruebas de bondad - ajuste y el análisis de volatilidad, y encontrado que los retornos presentan una distribución normal y volatilidad constante, fue extraer los parámetros del modelo, el cual servirá para pronosticar los precios futuros del Diesel. La Tabla 5 y 6, presenta el resumen de los parámetros necesarios.

Drift ( $\alpha$ )	0.24730583
Volatilidad anual	36.48%
precio inicial ( $S_0$ )	3.16
$\Delta t$	0.00401606
T	5.00

Tabla 5 Datos del modelo de reversión a la media para el Diesel.

Saltos	
Promedio saltos / año, $\lambda$	1.596
Valor esperado salto, $k$	-0.045324
Desviación standard salto, $\delta$	0.127649

Tabla 6 Datos de los saltos para el Diesel.

### 6.2.5. Corrida del modelo

Obtenidos los parámetros necesarios, para el modelo propuesto, para la predicción de precios, se procede a realizar la respectiva corrida mediante el Software Crystal Ball, en el cual se realizarán 10.000 iteraciones. La figura 31 muestra 3 de aquellas 10.000 iteraciones realizadas.

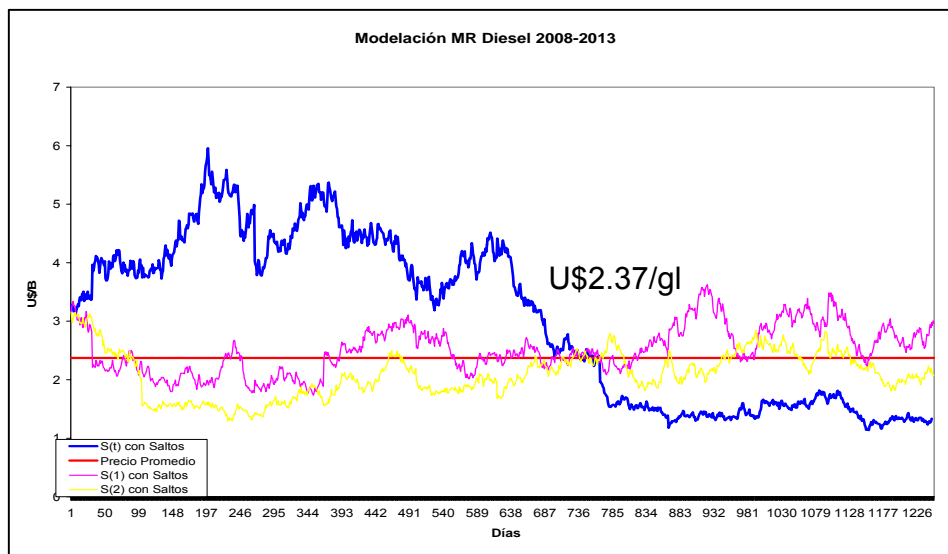
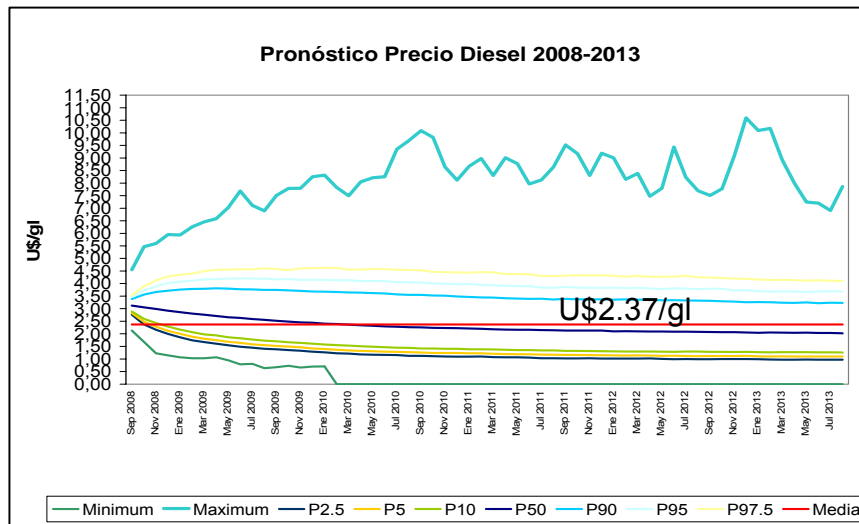


Figura 31 Simulación del Modelo para Diesel  
Elaboración Propia

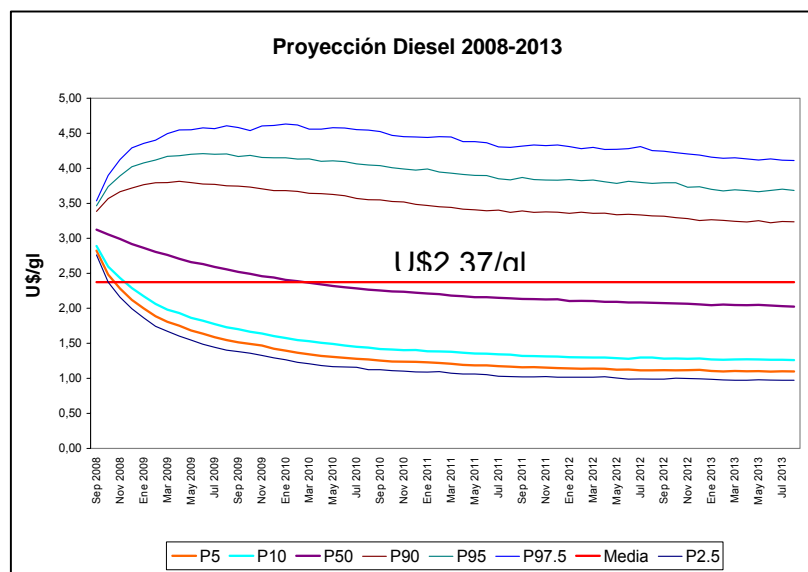
## 6.2.6. Resultados del modelo

Una vez realizadas las 10.000 iteraciones se escogieron los percentiles 2.5, 5, 10, 50, 90 y 97.5 al igual que los valores máximos y mínimos; estos datos se pueden observar en la Figura 32.



**Figura 32 Resultados del Modelo para Diesel**  
Elaboración Propia

Para el presente estudio se dejó los siguientes percentiles como los que definen los escenarios de precios; rango superior el percentil 90, rango inferior el percentil 10 y el rango medio el percentil 50; dejando un índice de confianza del 80%. La figura 33 muestra los percentiles que definen los escenarios de precios.



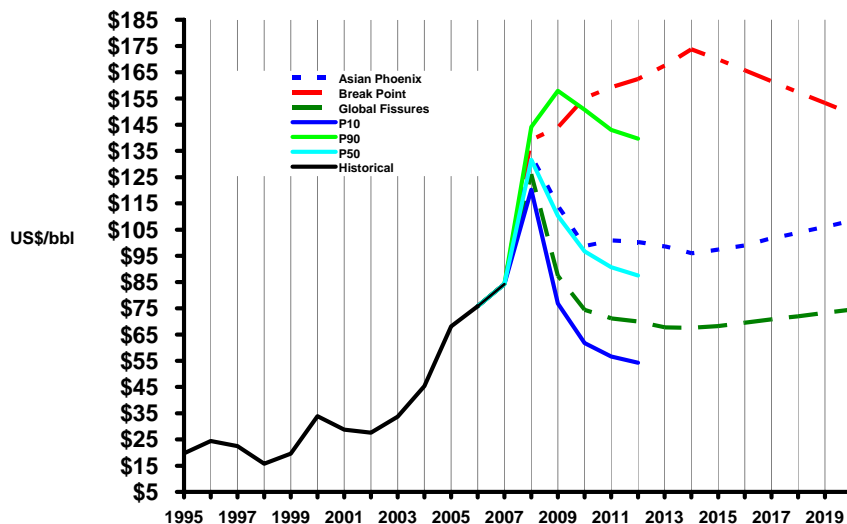
**Figura 33 Selección de rangos del Modelo para Diesel**  
Elaboración Propia

### 6.2.7. Comparación Vs Cambridge Energy Research Associates (CERA)

Según lo observado en la grafica del WTI de la comparación de las proyecciones realizadas para el presente estudio mediante el modelo de reversion a la media versus los datos proporcionados por CERA, se observa una similitud en los pronósticos; la cual es respaldada por muchos autores que han llegado a la conclusión, que el modelo de reversion a la media es uno de los que mejor describe el comportamiento de los precios de los commodities y es uno de los más usados para la predicción de precios de energía y crudo.

Teniendo en cuenta que ECOPETROL S.A. toma decisiones basados en la compra de información de proyecciones suministradas por CERA, se considera un buen referente para la comparación de las proyecciones. La Figura 34 muestra la grafica de comparación.

**Diesel Price Scenarios to 2020**



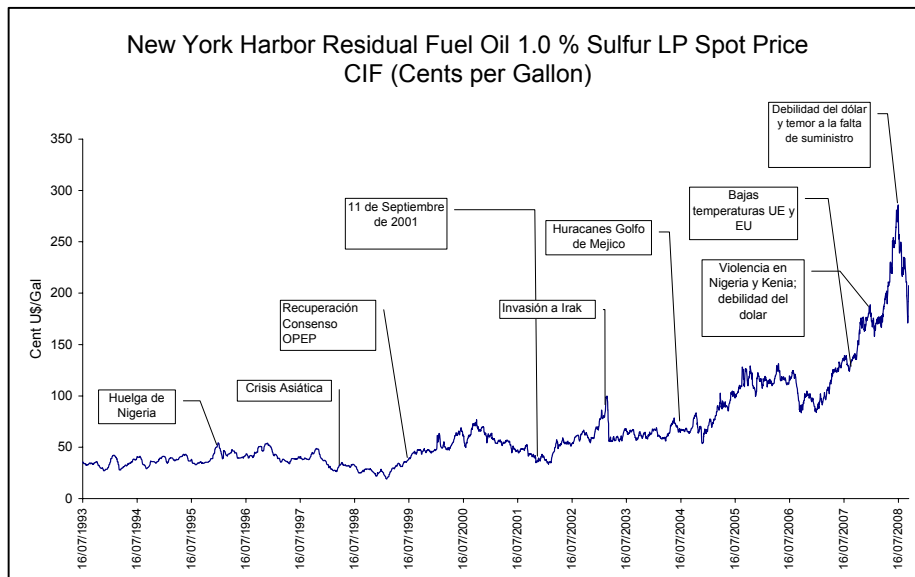
**Figura 34 Comparación del modelo para el Diesel y los datos de Cambridge Energy Research Associates (CERA)**

Fuente: Cambridge Energy Research Associates (CERA) Elaboración propia.

Una vez comparadas las proyecciones realizadas con los escenarios manejados por CERA se escoge el percentil 50, por el hecho que manejaremos precios medios del diesel en el análisis financiero con el fin de investigar si la diferencia entre los precios del diesel y los del gas compensan las inversiones de conversión diesel-gas para el transportador.

### 6.3 Análisis Fuel Oil

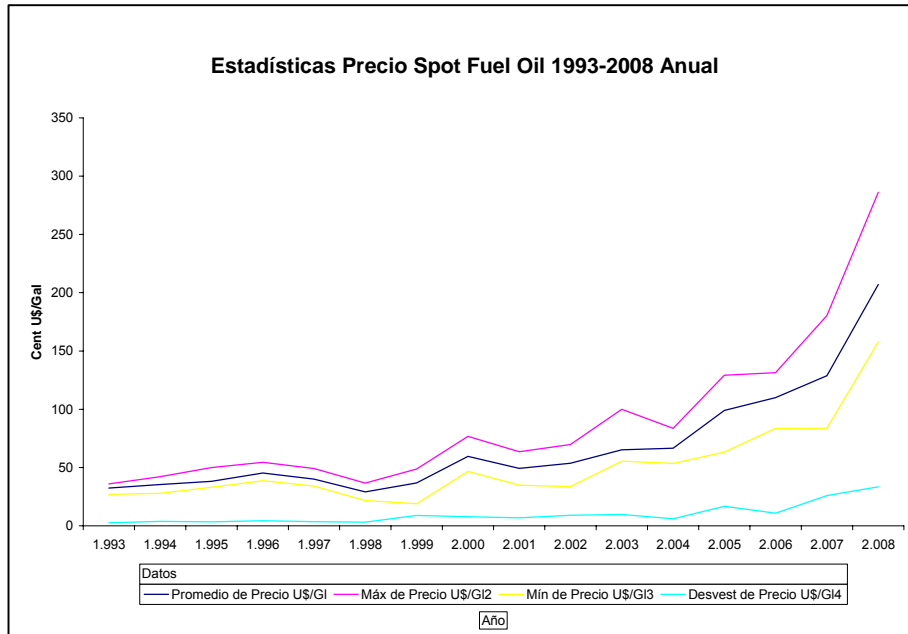
Para el análisis del Gas Natural se tomo como precios de referencia histórico el Fuel Oil New York Harbor; obtenida de la Energy Information Administration la cual es la Official Energy Statistics from the U.S Government. La Figura 35, muestra el histórico del Fuel Oil; a diferencia del Diesel y el WTI el historial del Fuel Oil se da desde 1993, hasta Agosto 29 de 2008



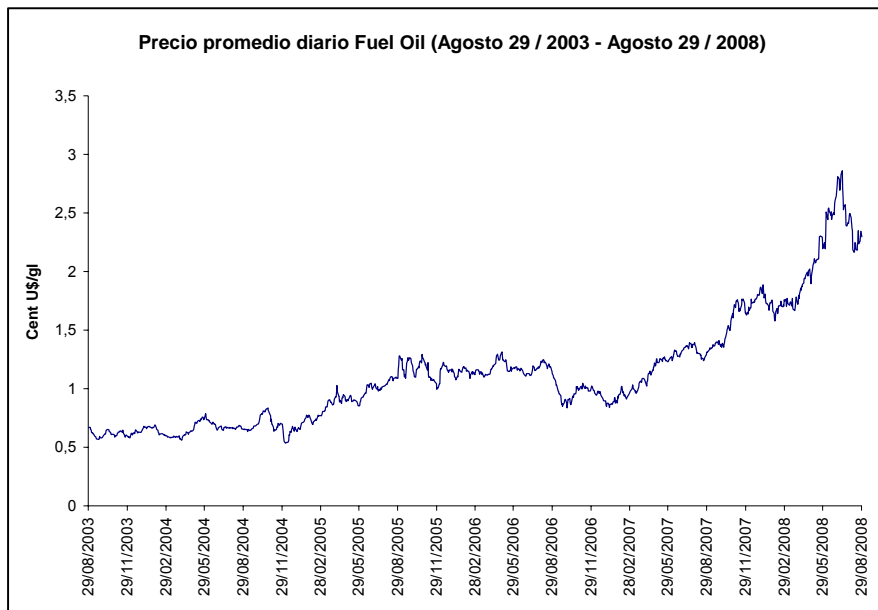
**Figura 35 Precio promedio diario del Fuel Oil (Julio 1993- Agosto 2008)**

Datos: Energy Information Administration  
Elaboración Propia

Para el Fuel Oil al igual que con el WTI y el Diesel, se uso para su análisis el periodo histórico comprendido entre el 29 de Agosto de 2003 y el 29 de Agosto de 2008. En la figura 36 se observa la serie histórica en donde se presentan los precios máximo, mínimo y promedio del Fuel Oil desde 1993 hasta el 2008. Por otra parte la Figura 37 muestra la gráfica de los precios diarios para el intervalo de tiempo a analizar.



**Figura 36 Precio promedio, máximo y mínimo anual del Fuel Oil (Julio 1993 – Agosto 2008)**  
Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia



**Figura 37 Precio promedio diario Fuel Oil Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008**  
Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

A continuación se realizan pruebas de bondad - ajuste y el análisis de volatilidad, con el fin de definir si los retornos presentan una distribución normal y volatilidad constante, las cuales son características que exige el modelo de reversión a la media sobre la serie de datos históricos analizados para así poder extraer los parámetros del modelo, los cuales servirán para pronosticar los precios futuros

del Fuel Oil. Dichos parámetros son, *Drift*, volatilidad anual, precio inicial, promedio saltos/año  $\lambda$ , valor esperado salto  $k$  y Desviación standard salto  $\delta$ .

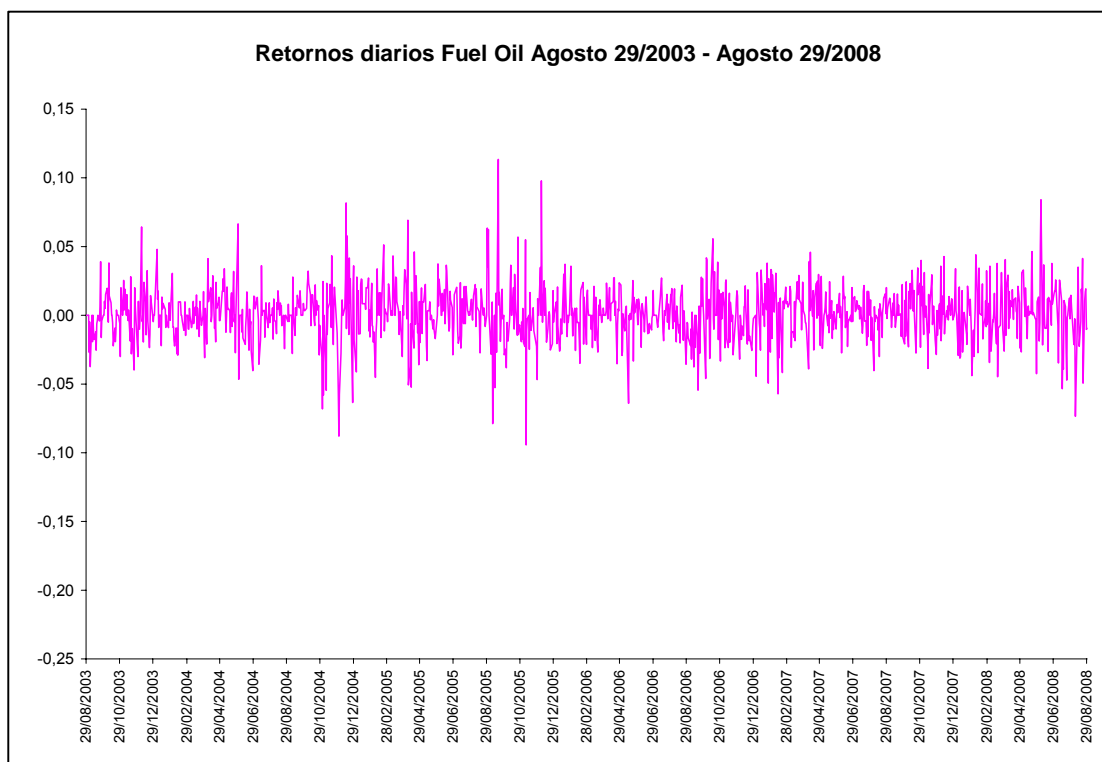
### 6.3.1. Análisis estadístico y distribución de los retornos del precio spot promedio diario

Una vez seleccionado el periodo de precios históricos a analizar, se procede a eliminar los días de no cotización y posteriormente se realiza el cálculo de los retornos mediante la siguiente fórmula:

$$r_t = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right)$$

Donde: S es el precio spot diario.

En la Figura 38 se puede observar, los retornos diarios calculados para el periodo histórico que se va a utilizar para las predicciones de Fuel Oil.

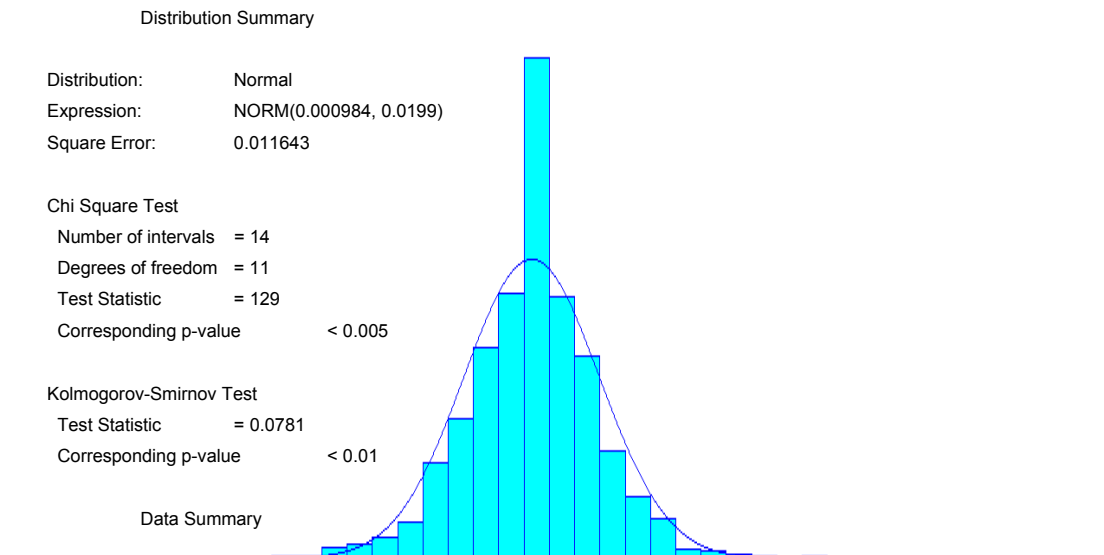


**Figura 38 Retornos diarios Fuel Oil Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008**

Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

Calculados los retornos se procede al análisis estadístico donde se examina el problema de verificar si el conjunto de datos se puede ajustar o afirmar que proviene de una distribución Normal. Al igual que en los anteriores análisis

estadísticos, las pruebas que se aplicarán será la prueba Chi - Cuadrado y la prueba de Smirnov-Kolmogorov. Dichas pruebas se realizarán mediante el uso del software Arena Rockwell (Input Analyzer). Los resultados obtenidos se presentan en la figura 39.



**Figura 39 Prueba de bondad y ajuste retornos diarios Fuel Oil Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008**

Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

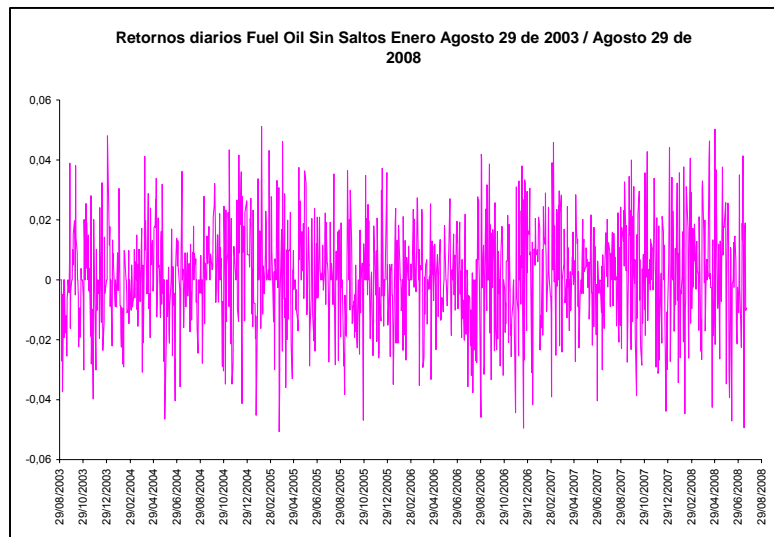
Siguiendo los mismos parámetros tenidos en cuenta para la interpretación de los resultados de las pruebas de bondad y ajuste, se observa que tanto para la prueba Chi Cuadrado como para la de Smirnov – Kolmogorov el p-value es menor a 0.005 lo que indica que hay evidencia para rechazar la hipótesis nula y por tanto se acepta la hipótesis alterna, es decir los valores observados de las frecuencias para cada clase son diferentes de las frecuencias teóricas de una distribución normal. Para mejorar la aproximación a una distribución normal, se seguirá el procedimiento de extracción de los saltos de los retornos diarios de la serie del Fuel Oil. Los datos de la serie analizada son los presentados en la tabla 7.

<i>Precio Spot</i>		<i>Retornos</i>	
Promedio del Precio	U\$/Gal 1.13	Promedio Cambio Diario	0,0009835
Desviación Estándar	U\$/Gal 0.48	Desviación Estándar	0,01995131
		Volatilidad Anual ( $\sigma$ )	31,55%

**Tabla 7 Caracterización de los precios Spot del Fuel Oil Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008**

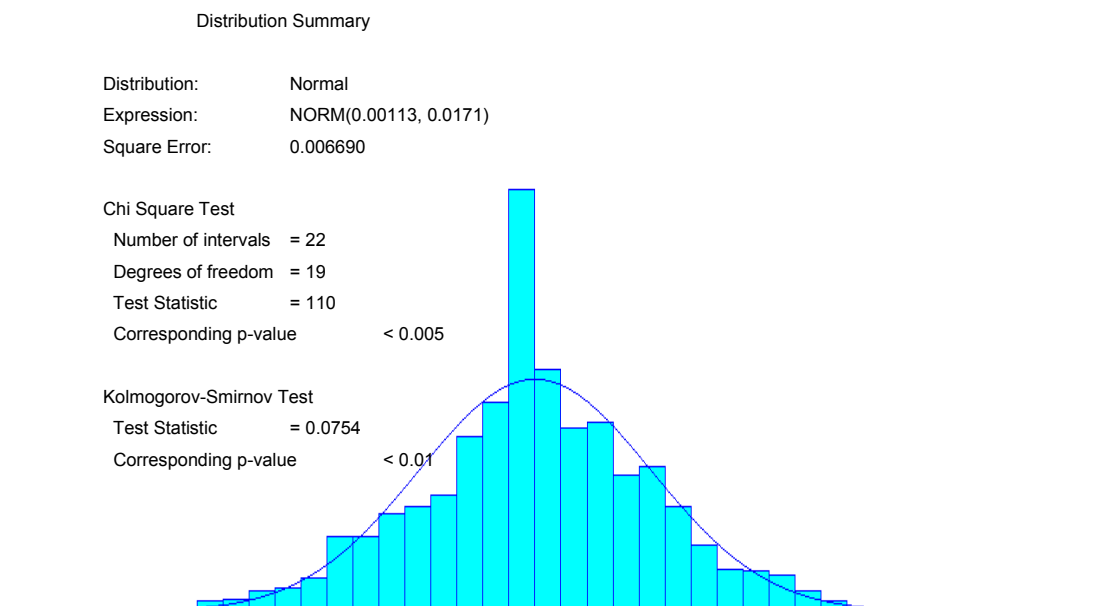
### 6.3.2. Extracción de saltos Retornos Diarios Fuel Oil

El paso a seguir fue la eliminación o extracción de saltos mediante el mismo procedimiento y criterio aplicado en el análisis del WTI. Una vez aplicado el criterio para la serie de retornos del Fuel Oil se eliminaron 20 saltos en total; los resultados obtenidos una vez filtrados dichos saltos se observan en la Figura 40.



**Figura 40 Retornos diarios Fuel Oil Sin Saltos Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008**  
Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

Eliminados los saltos de los retornos se procede a realizar nuevamente el análisis estadístico de bondad y ajuste mediante el software Arena Rockwell (Input Analyzer). Los resultados de dicho análisis se muestran en la Figura 41.



**Figura 41 Prueba de bondad y ajuste sin saltos a los retornos diarios Fuel Oil Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008**

Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

Recordando los criterios mencionados que se tendrán en cuenta en el transcurso de este estudio, para los análisis estadísticos, se observa que tanto para la prueba Chi Cuadrado como para la de Smirnov – Kolmogorov el p-value es menor que 0.05 lo que indica que existe evidencia para rechazar la hipótesis nula y por tanto se acepta la hipótesis alterna, es decir los valores observados de las frecuencias para cada clase son diferentes de las frecuencias teóricas de una distribución normal. Una vez realizada la prueba de bondad y ajuste al no encontrarse comportamiento de distribución normal en la serie de datos de estudio, se procedió a revisar la serie, y se observó, un componente importante de ceros, estos como resultado del precio estacionario que se mantiene de un día para otro, los cuales presentan mayor frecuencia en la serie; por lo tanto, estos son los causantes para que la serie no se aproxime a una distribución normal. La solución fue la eliminación de dichos ceros de la serie, y la modelación de los mismos de tal forma que se vean reflejados en los resultados.

### 6.3.3. Prueba de verificación de Volatilidad

Una vez realizada la prueba de bondad y ajuste para la serie sin saltos, se procede a realizar una prueba de volatilidad con el fin de observar si la serie de retornos sin saltos presenta volatilidad constante. Para la realización de dicha prueba se utilizó el software SAS, el cual arrojó los resultados presentes en la Figura 42.

The AUTOREG Procedure

Dependent Variable    FUEL  
                                 FUEL

Ordinary Least Squares Estimates

SSE	0.35709308	DFE	1222
MSE	0.0002922	Root MSE	0.01709
SBC	-6475.9453	AIC	-6481.0544
Regress R-Square	0.0000	Total R-Square	0.0000
Durbin-Watson	1.8792		

GARCH Estimates

SSE	0.35710278	Observations	1223
MSE	0.0002920	Uncond Var	0.00030142
Log Likelihood	3251.5387	Total R-Square	.
SBC	-6353.7871	AIC	-6461.0774
Normality Test	1.5338	Pr > ChiSq	0.4645

Variable	DF	Estimación	Error estándar	Valor t	Aprox Pr >  t
Intercept	1	0.001039	0.000496	2.10	0.0361
ARCH0	1	0.000148	0.006647	0.02	0.9822
ARCH1	1	0.0602	0.0312	1.93	0.0537
ARCH2	1	0.0352	4.3893	0.01	0.9936
ARCH3	1	0.0680	0.4057	0.17	0.8670
ARCH4	1	-0.000382	4.7403	-0.00	0.9999
ARCH5	1	0.0577	2.8202	0.02	0.9837
ARCH6	1	0.0743	5.5577	0.01	0.9893
ARCH7	1	0.0416	2.5218	0.02	0.9869
ARCH8	1	0.0217	1.1922	0.02	0.9855
ARCH9	1	0.0380	0.9757	0.04	0.9689
ARCH10	1	0.0177	2.0948	0.01	0.9933
GARCH1	1	0.000719	72.8390	0.00	1.0000
GARCH2	1	0.001634	43.9736	0.00	1.0000
GARCH3	1	0.004573	22.5272	0.00	0.9998
GARCH4	1	0.006520	10.9727	0.00	0.9995
GARCH5	1	0.007088	5.2369	0.00	0.9989
GARCH6	1	0.0109	2.0030	0.01	0.9957
GARCH7	1	0.0145	2.9130	0.00	0.9960
GARCH8	1	0.0161	1.2825	0.01	0.9900
GARCH9	1	0.0121	1.5818	0.01	0.9939

**Figura 42 Prueba de volatilidad constante para el Fuel Oil.**

Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

Según los resultados obtenidos, la volatilidad se puede considerar constante dado que ninguno de los términos Garch y Arch son significativos. Luego se puede correr el modelo de acuerdo a esta condición.

### 6.3.4. Estimación de los parámetros

El paso a seguir una vez realizadas las pruebas de bondad - ajuste y el análisis de volatilidad, fue extraer los parámetros del modelo, los cuales servirán para pronosticar los precios futuros del Fuel Oil. La Tabla 8, 9 y 10, presenta el resumen de los parámetros necesarios.

Drift (a)	0.30612214
Volatilidad anual	26.51%
precio inicial (S <sub>0</sub> )	100.31
$\Delta t$	0.00401606
T	5.00

**Tabla 8 Datos del modelo de reversión a la media para el Fuel Oil.**

Saltos	
Promedio saltos / año, $\lambda$	3.837
Valor esperado salto, k	-0.036403
Desviación standard salto, $\delta$	0.085366

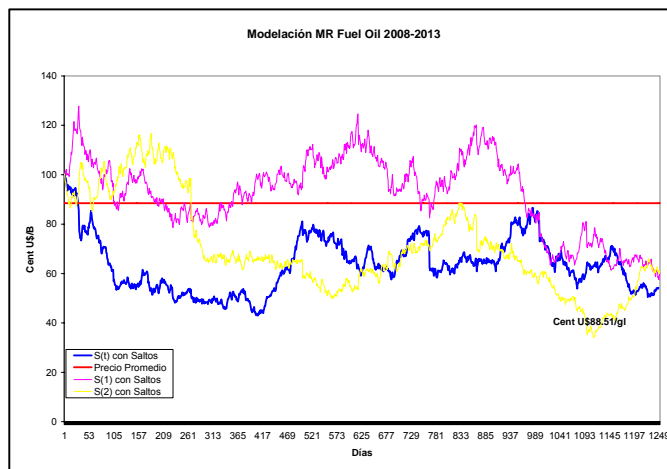
**Tabla 9 Datos de los saltos para el Fuel Oil.**

Ceros	
Número de ceros	215
Datos	1,265
Prob(cero)	17.00%

**Tabla 10 Datos de los ceros para el Fuel Oil.**

### 6.3.5. Corrida del modelo

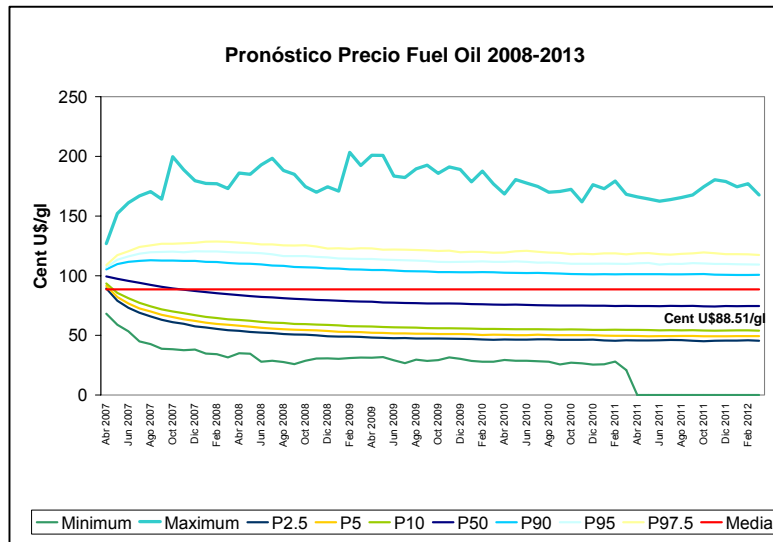
Una vez obtenidos los parámetros necesarios, para el modelo propuesto, se procede a realizar la respectiva corrida mediante el Software Crystal Ball, en el cual se realizarán 10.000 iteraciones. La figura 43 muestra 3 de las 10.000 iteraciones realizadas.



**Figura 43 Simulación del Modelo para Fuel Oil**

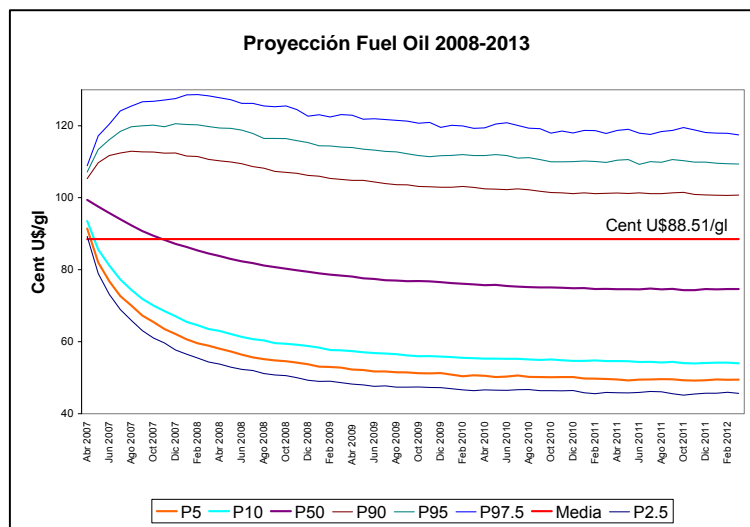
### 6.3.6. Resultados del modelo

Realizadas las 10.000 iteraciones se escogieron los percentiles 2.5, 5, 10, 50, 90 y 97.5 al igual que los valores máximos y mínimos; estos datos se pueden observar en la Figura 44.



**Figura 44 Resultados del Modelo para el Fuel Oil**  
Elaboración propia

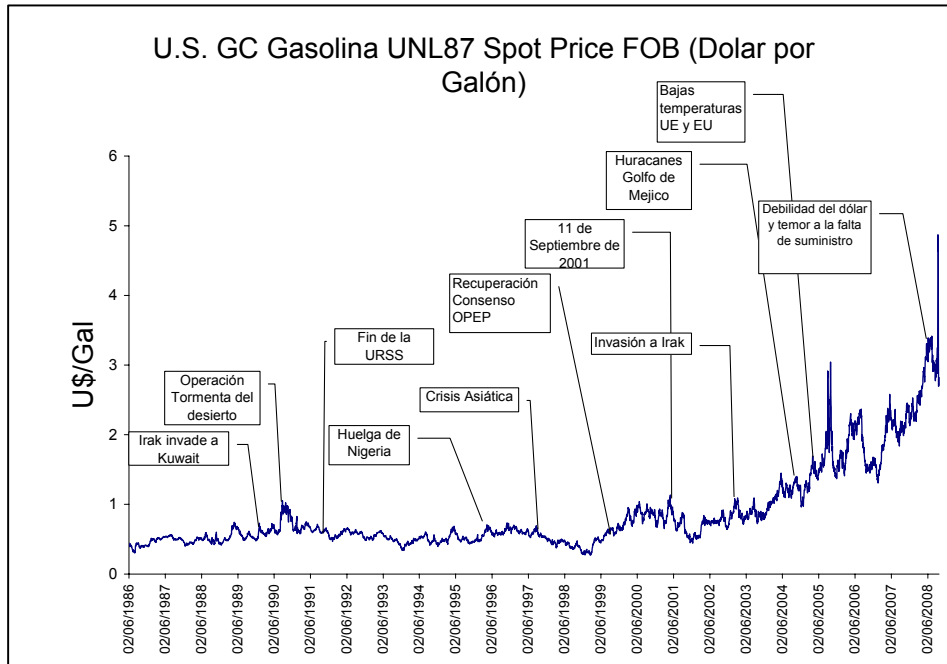
Para el presente estudio se dejó los siguientes percentiles, como los que definen los escenarios de precios; rango superior el percentil 90, rango inferior el percentil 10 y el rango medio el percentil 50; dejando un índice de confianza del 80%. La figura 45 muestra los percentiles que definen los escenarios de precios.



**Figura 45 Selección de rangos del Modelo para el Fuel Oil**  
Elaboración propia

## 6.4 Análisis Gasolina UNL 87

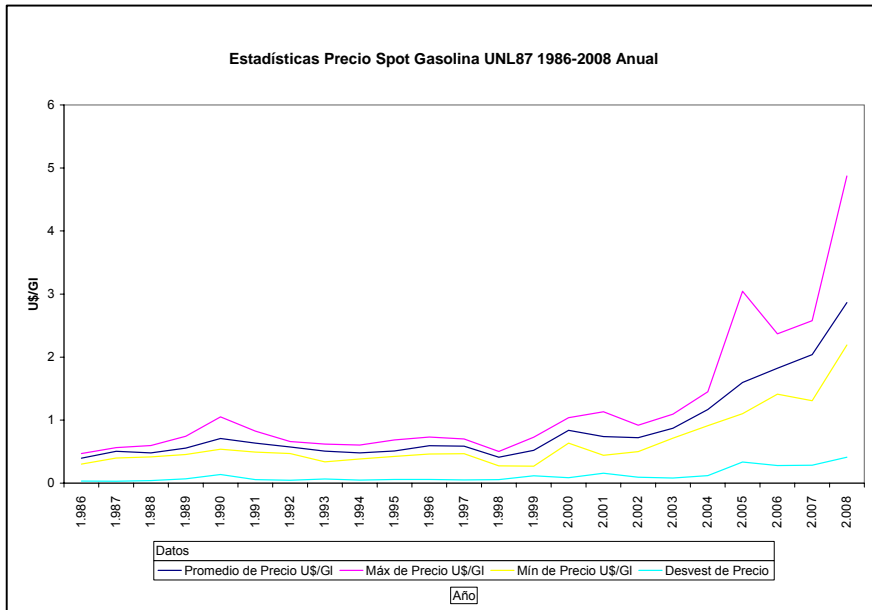
Para el análisis de la gasolina, se tomo como precios de referencia histórico la UNL 87 U.S. obtenida de la Energy Information Administration la cual es la Official Energy Statistics from the U.S Government. La Figura 46, muestra el histórico de la gasolina desde 1986, hasta Agosto 29 de 2008.



**Figura 46 Precio promedio diario de la Gasolina (Julio 1993- Agosto 2008)**

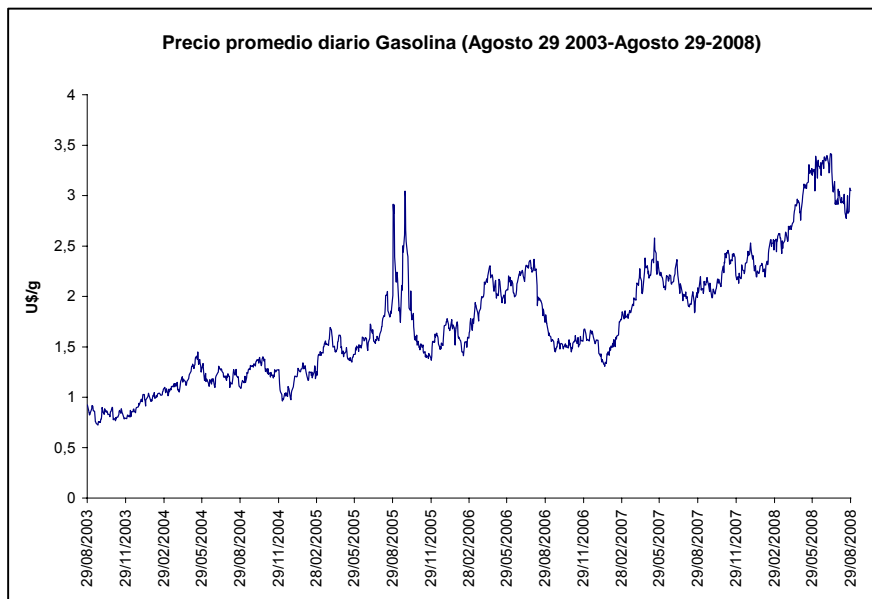
Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

Para la gasolina se uso el periodo histórico comprendido entre el 29 de Agosto de 2003 y el 29 de Agosto de 2008. En la figura 47 se observa la serie histórica en donde se presentan los precios máximo, mínimo y promedio de la gasolina desde 1986 hasta el 2008. Por otra parte la Figura 48 muestra la gráfica de los precios promedio diarios para el intervalo de tiempo a analizar.



**Figura 47 Precio promedio, máximo y mínimo anual del U.S. Gulf Coast Conventional Gasoline Regular (Enero 1986- Agosto 2008)**

Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia



**Figura 48 Precio promedio diario Gasolina UNL 87 Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008**

Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

A continuación se realizan pruebas de bondad - ajuste y el análisis de volatilidad, con el fin de definir si los retornos presentan una distribución normal y volatilidad constante, para así poder extraer los parámetros del modelo, los cuales servirán

para pronosticar los precios futuros de la Gasolina UNL 87. Dichos parámetros son, *Drift*, volatilidad anual, precio inicial, promedio saltos/año  $\lambda$ , valor esperado salto  $k$  y Desviación standard salto  $\delta$ .

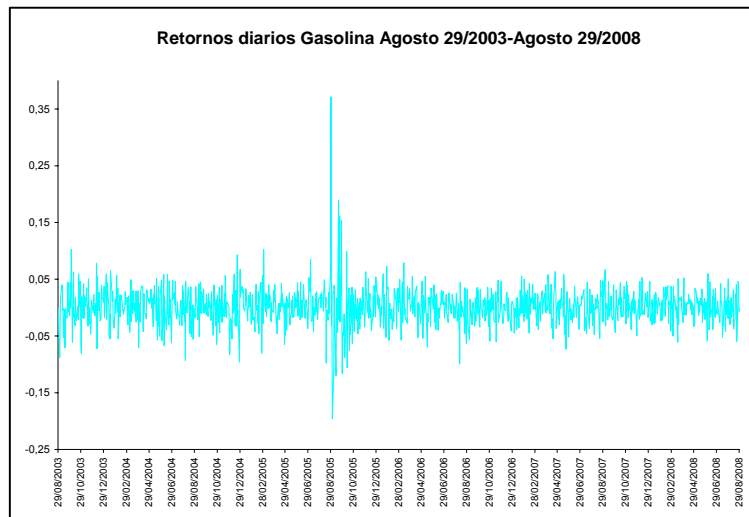
#### 6.4.1. Análisis estadístico y distribución de los retornos del precio spot promedio diario

Una vez seleccionado el periodo de precios históricos a analizar, se procede a eliminar los días de no cotización y posteriormente se realiza el cálculo de los retornos mediante la siguiente fórmula:

$$r_t = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right)$$

Donde: S es el precio spot diario.

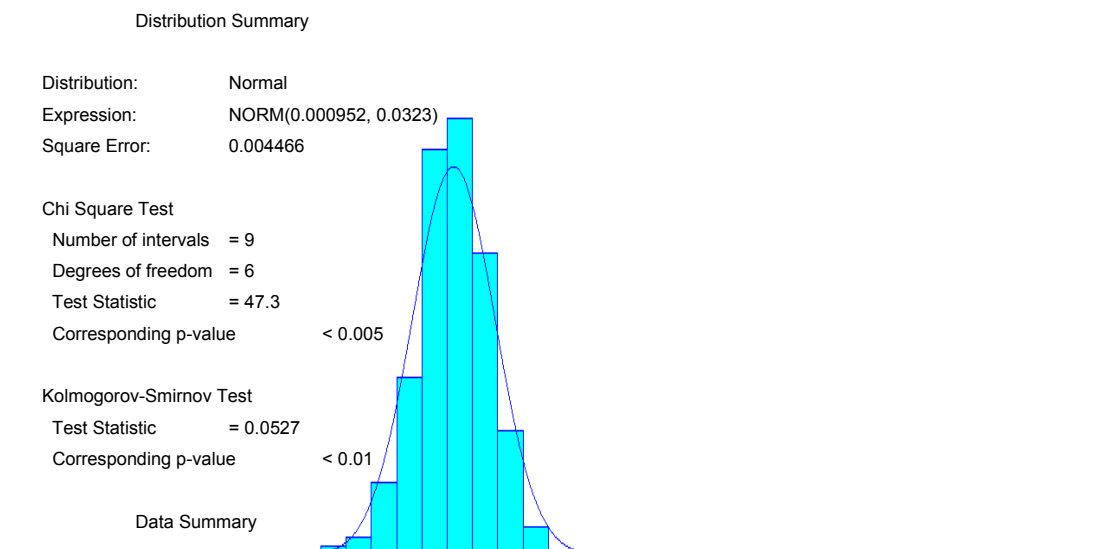
En la Figura 49 se puede observar, los retornos diarios calculados para el periodo histórico que se va a utilizar para las predicciones de Gasolina.



**Figura 49 Retornos diarios Gasolina UNL 87 Agosto 29 de 2003 / Agosto 29 de 2008**

Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

Una vez calculados los retornos se procede al análisis estadístico donde se examina el problema de verificar si el conjunto de datos se puede ajustar o afirmar que proviene de una distribución Normal. Al igual que para el WTI, las pruebas estadísticas que se aplicarán será la Chi - Cuadrado y la prueba de Smirnov-Kolmogorov. Dichas pruebas se realizarán mediante el uso del software Arena Rockwell (Input Analyzer). Los resultados obtenidos se presentan en la figura 50.



**Figura 50 Prueba de bondad y ajuste retornos Gasolina UNL 87 Agto 29-2003 / Agto 29-08**  
 Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

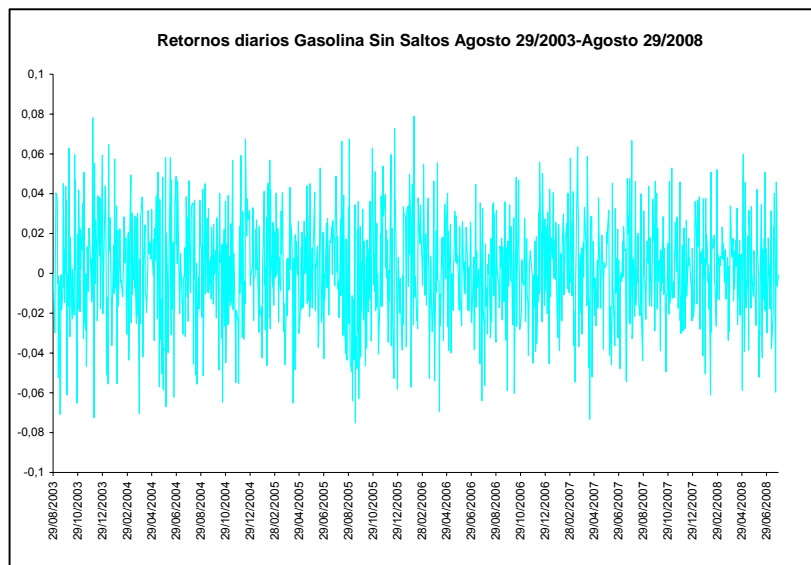
Siguiendo los mismos parámetros tenidos en cuenta para la interpretación de los resultados de las pruebas de bondad y ajuste hasta el momento realizadas, se observa que tanto para la prueba Chi Cuadrado como para la de Smirnov – Kolmogorov el p-value es menor a 0.005 lo que indica que existe evidencia suficiente para rechazar la hipótesis nula y por tanto, se acepta la hipótesis alterna, es decir los valores observados de las frecuencias para cada clase son diferentes de las frecuencias teóricas de una distribución normal. Para mejorar la aproximación a una distribución normal, se seguirá el procedimiento de extracción de los saltos de los retornos diarios de la serie de la Gasolina UNL 87. Los datos de la serie analizada son los presentados en la tabla 11.

<b>Precio Spot</b>		<b>Retornos</b>	
Promedio del Precio	U\$/Bl 1,76	Promedio Cambio Diario	0,0009522
Desviación Estándar	U\$/Bl 0,61	Desviación Estándar	0,03236086
		Volatilidad Anual ( $\sigma$ )	51,17%

**Tabla 11 Caracterización de los precios Spot de la gasolina Enero 87 Agto 29-2003 / Agto 29-2008**

#### 6.4.2. Extracción de saltos Retornos Diarios Gasolina UNL 87

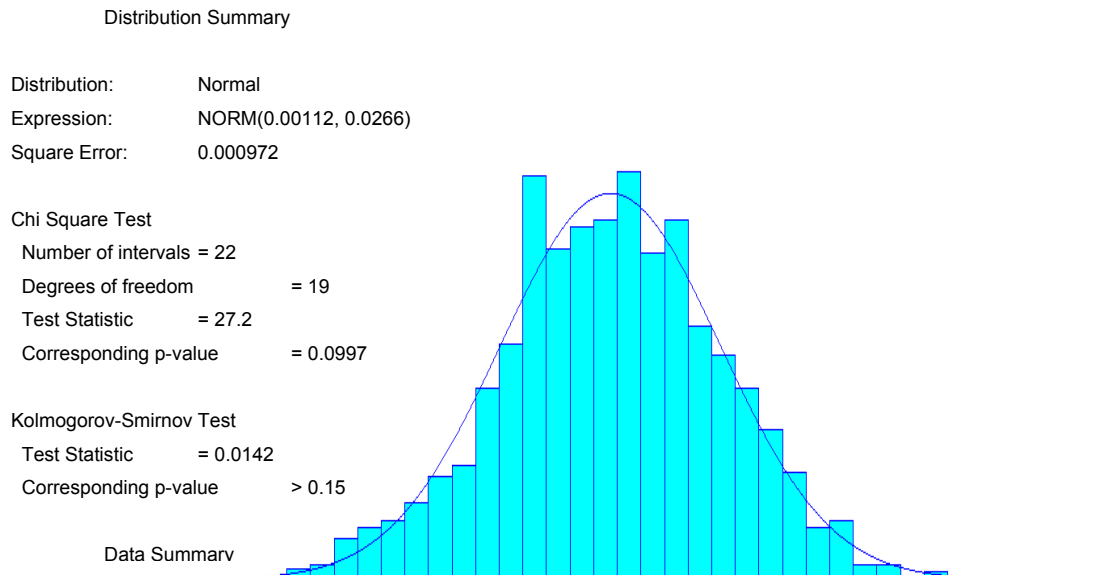
El paso a seguir fue la eliminación o extracción de saltos mediante el mismo procedimiento y criterio de extraer aquellos que excedían en +/- tres desviaciones estándar. Una vez eliminado estos saltos se vuelve a calcular la desviación estándar de los retornos filtrados y de nuevo se aplicaba el criterio de extracción de saltos, hasta no tener saltos en los datos. Una vez aplicado el criterio para la serie de retornos de la Gasolina UNL 87 se eliminaron 24 saltos en total; los resultados obtenidos una vez filtrados dichos saltos se observan en la Figura 51.



**Figura 51 Retornos diarios Gasolina UNL 87 Sin Saltos Agto 29-2003 / Agto 29-2008**

Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

Una vez eliminado los saltos de los retornos se procede a realizar nuevamente el análisis estadístico de bondad y ajuste mediante el software Arena Rockwell (Input Analyzer). Los resultados de dicho análisis se observan en la Figura 52.



**Figura 52 Prueba de bondad y ajuste sin saltos a los retornos diarios Gasolina UNL 87 Agto 29-2003 / Agto 29-2008**

Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

Recordando los criterios mencionados que se tendrán en cuenta en el transcurso de este estudio, para los análisis estadísticos, se observa que tanto para la prueba Chi Cuadrado como para la de Smirnov – Kolmogorov el p-value es mayor que 0.05 luego no hay evidencia para rechazar la Hipótesis Nula y por tanto se rechaza  $H_a$ ; es decir, las frecuencias observadas y las teóricas calculadas no difieren significativamente. Por lo tanto, las observaciones tienen una distribución normal.

#### 6.4.3. Prueba de verificación de Volatilidad

Una vez realizada la prueba de bondad y ajuste para la serie sin saltos, se procede a realizar una prueba de volatilidad con el fin de observar si la serie de retornos sin saltos presenta volatilidad constante. Para la realización de dicha prueba se utilizó el software SAS, el cual arrojó los resultados presentes en la Figura 53.

The AUTOREG Procedure

Dependent Variable GASOLINA  
GASOLINA

Ordinary Least Squares Estimates

SSE	0.87022324	DFE	1228
MSE	0.0007087	Root MSE	0.02662
SBC	-5419.025	AIC	-5424.1389
Regress R-Square	0.0000	Total R-Square	0.0000
Durbin-Watson	2.0756		

GARCH Estimates

SSE	0.87022324	Observations	1229
MSE	0.0007081	Uncond Var	0.00070803
Log Likelihood	2713.07102	Total R-Square	.
SBC	-5283.8629	AIC	-5386.142
Normality Test	1.9460	Pr > ChiSq	0.3779

Variable	DF	Estimación	Error estándar	Valor t	Aprox Pr >  t
Intercept	1	0.001121	0.000774	1.45	0.1477
ARCH0	1	0.000708	1.9721	0.00	0.9997
ARCH1	1	2.1593E-6	0.0246	0.00	0.9999
ARCH2	1	3.0341E-6	0.0303	0.00	0.9999
ARCH3	1	3.0044E-6	0.0334	0.00	0.9999
ARCH4	1	2.4711E-6	0.0280	0.00	0.9999
ARCH5	1	3.0623E-6	0.0319	0.00	0.9999
ARCH6	1	1.7112E-6	0.0300	0.00	1.0000
ARCH7	1	3.0507E-6	0.0306	0.00	0.9999
ARCH8	1	-1.85E-11	0.009198	-0.00	1.0000
ARCH9	1	8.8736E-7	0.0351	0.00	1.0000
ARCH10	1	3.2942E-6	0.0347	0.00	0.9999
GARCH1	1	9.9956E-7	3010	0.00	1.0000
GARCH2	1	9.9956E-7	2956	0.00	1.0000
GARCH3	1	9.9956E-7	4542	0.00	1.0000
GARCH4	1	9.9955E-7	3124	0.00	1.0000
GARCH5	1	9.9955E-7	5002	0.00	1.0000
GARCH6	1	9.9955E-7	4507	0.00	1.0000
GARCH7	1	9.9955E-7	5254	0.00	1.0000
GARCH8	1	9.9955E-7	6450	0.00	1.0000
GARCH9	1	9.9955E-7	6011	0.00	1.0000

**Figura 53 Prueba de volatilidad constante para la gasolina.**

Fuente: Energy Information Administration Elaboración Propia

Según los resultados obtenidos, la volatilidad se puede considerar constante dado que ninguno de los términos Garch y Arch son significativos. Luego se puede correr el modelo de acuerdo a esta condición.

#### 6.4.4. Estimación de los parámetros

El paso a seguir, realizadas las pruebas de bondad - ajuste y el análisis de volatilidad, y encontrado que los retornos presentan una distribución normal y volatilidad constante, es extraer los parámetros del modelo, el cual servirá para pronosticar los precios futuros de la Gasolina. La Tabla 12 y 13, presenta el resumen de los parámetros necesarios.

Drift (a)	0.28017702
Volatilidad anual	42.09%
precio inicial (S_0)	3.05
$\Delta t$	0.00401606
T	5.00

Tabla 12 Datos del modelo de reversión a la media para la Gasolina.

Promedio saltos / año, $\lambda$	2.793
Valor esperado salto, k	0.010453
Desviación standard salto, $\delta$	0.174279

Tabla 13 Datos de los saltos para la Gasolina.

#### 6.4.5. Corrida del modelo

Obtenidos los parámetros necesarios, para el modelo propuesto, para la predicción de precios, se procede a realizar la respectiva corrida mediante el Software Crystal Ball, en el cual se realizarán 10.000 iteraciones. La figura 54 muestra 4 de aquellas 10.000 iteraciones realizadas.

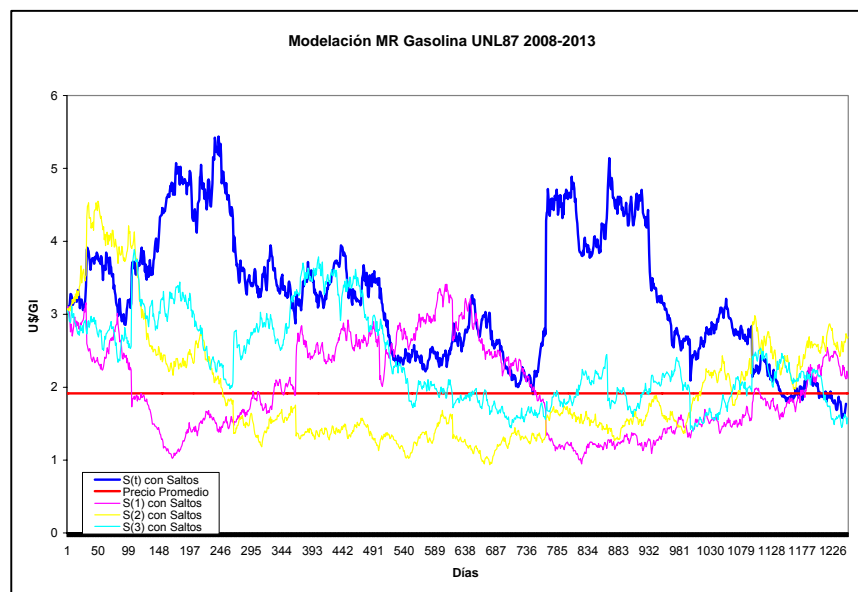
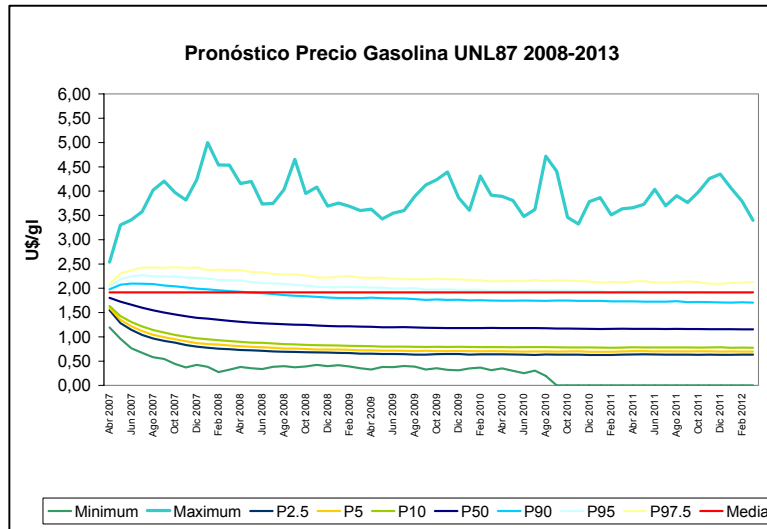


Figura 54 Simulación del Modelo para la gasolina  
Elaboración propia

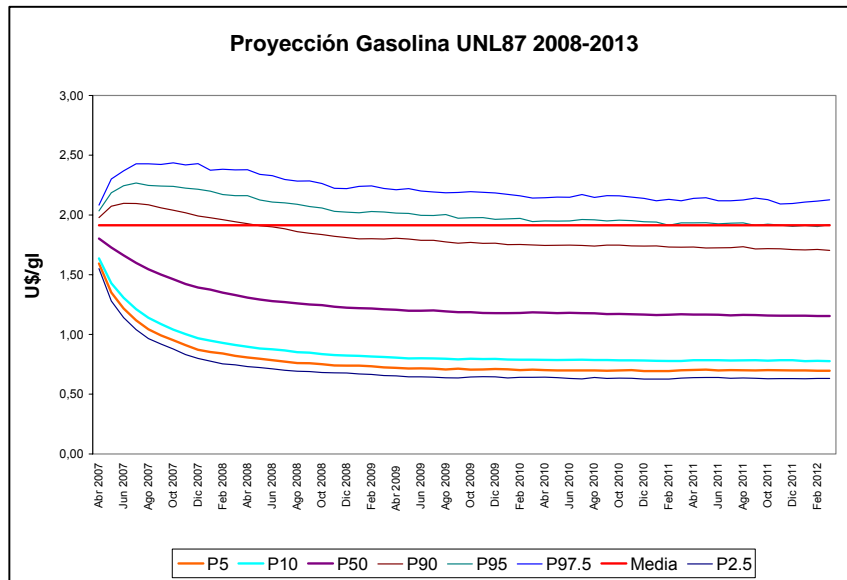
### 6.4.6. Resultados del modelo

Una vez realizadas las 10.000 iteraciones se escogieron los percentiles 2.5, 5, 10, 50, 90 y 97.5 al igual que los valores máximos y mínimos; estos datos se pueden observar en la Figura 55.



**Figura 55 Resultados del Modelo para la gasolina**  
Elaboración propia

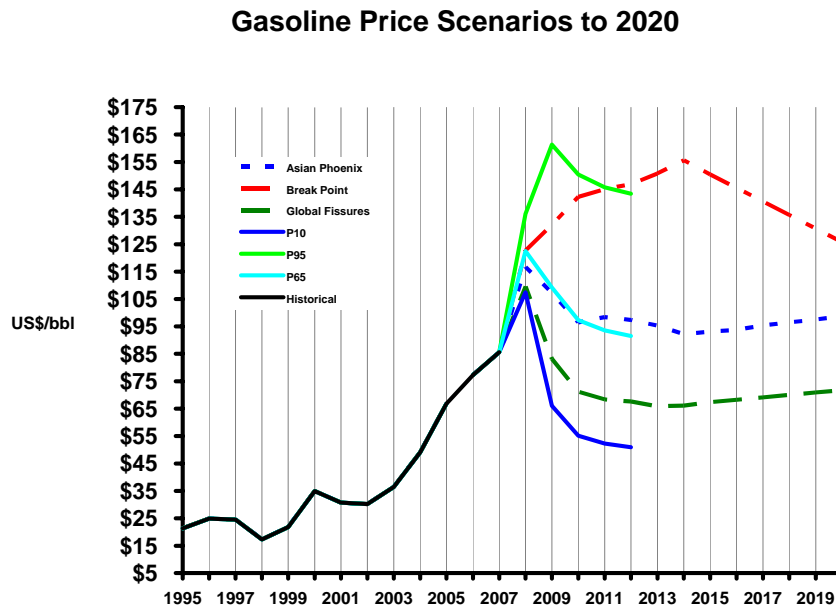
Para el presente estudio se dejó los siguientes percentiles como los que definen los escenarios de precios; rango superior el percentil 90, rango inferior el percentil 10 y el rango medio el percentil 50; dejando un índice de confianza del 80%. La figura 56 muestra los percentiles que definen los escenarios de precios.



**Figura 56 Selección de rangos del Modelo para la gasolina**  
Elaboración propia

#### 6.4.7. Comparación Vs Cambridge Energy Research Associates (CERA)

Para la Gasolina, al igual que el WTI y el Diesel se realiza una comparación con la información de proyecciones suministradas por CERA. La Figura 57 muestra la grafica de comparación.



**Figura 57 Comparación del modelo para la Gasolina UNL87 y los datos de Cambridge Energy Research Associates (CERA)**

Fuente: Cambridge Energy Research Associates (CERA) Elaboración propia.

Una vez comparadas las proyecciones con los escenarios manejados por CERA se escoge el percentil 50, el cual se ajusta mejor al escenario medio de CERA; para escenario alto y bajo se utilizó el percentil 90 y 10 respectivamente. Estos percentiles serán los que definan el cálculo del precio del Gas en los tres escenarios teniendo en cuenta que el método para el cálculo del precio del Gas es del 60% del precio de venta al público de la gasolina; este último calculado mediante el modelo de precio que definió el gobierno en la resolución 8 2439 de Diciembre 23 de 1998.

#### 6.5 Análisis Corrección por Octanaje Gasolina UNL 87

En la fórmula del cálculo de los precios de la gasolina, está contemplada la corrección por octanaje. Ésta, por normatividad, se estipuló en la Resolución del Ministerio de Minas y Energía 180414 del 23 de marzo de 2007, como el resultado de la siguiente ecuación:

$$(92-RGCM)*(PPk-UNL93k)/6$$

Donde según dicha resolución cada uno de sus factores corresponde a:

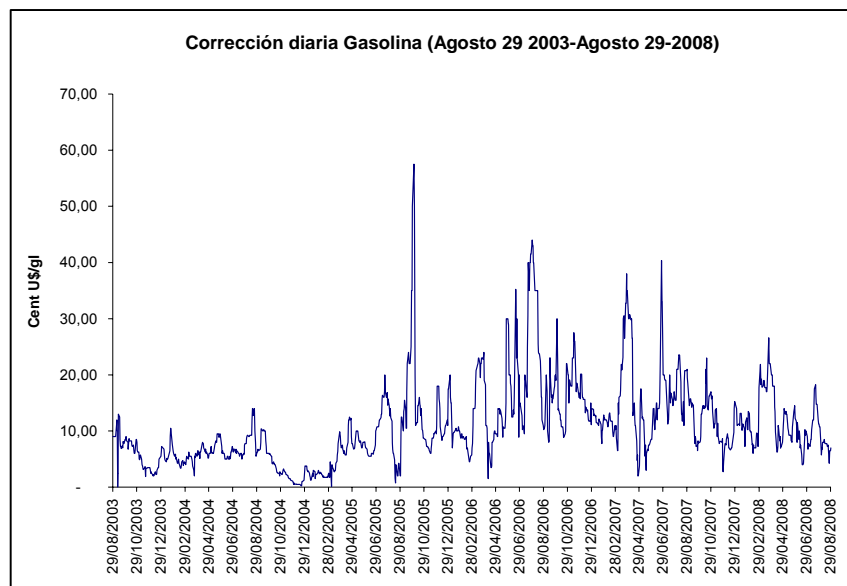
**92:** Corresponde al número de RON de la gasolina UNL 87.

**RONGR:** Corresponde al RON de la Gasolina Corriente Motor colombiana, vigente en las normas legales que lo establecen o en aquellas que lo complementen o modifiquen. En la actualidad el RONGR es de 86 octanos.

**UNL93:** Corresponde a la cotización del Índice UNL 93 (Ron 98) en la U.S. Gulf Coast Waterborne de la publicación PLATTs de Standard & Poor's expresado en dólares por galón (US\$/Gal).

**6:** Corresponde a la diferencia actual entre el número de RON de la Gasolina UNL 93 (Ron 98) y la gasolina UNL 87(Ron 92).

Construida la ecuación y la serie de datos, de acuerdo a la misma, se obtiene el comportamiento de la corrección de la gasolina desde Agosto 29 de 2003 hasta Agosto 29 de 2008, graficados en la figura 58.



**Figura 58 Corrección promedio diaria Gasolina UNL 87 Agto 29-2003 / Agto 29-2008**

Fuente: Platts Elaboración Propia

A continuación se realizan pruebas de bondad - ajuste y el análisis de volatilidad, con el fin de definir si los retornos presentan una distribución normal y volatilidad constante, para así poder extraer los parámetros del modelo, los cuales servirán para pronosticar los precios futuros de la corrección por octanaje de la Gasolina

UNL 87. Dichos parámetros son, *Drift*, volatilidad anual, precio inicial, promedio saltos/año  $\lambda$ , valor esperado salto  $k$  y Desviación standard salto  $\delta$ .

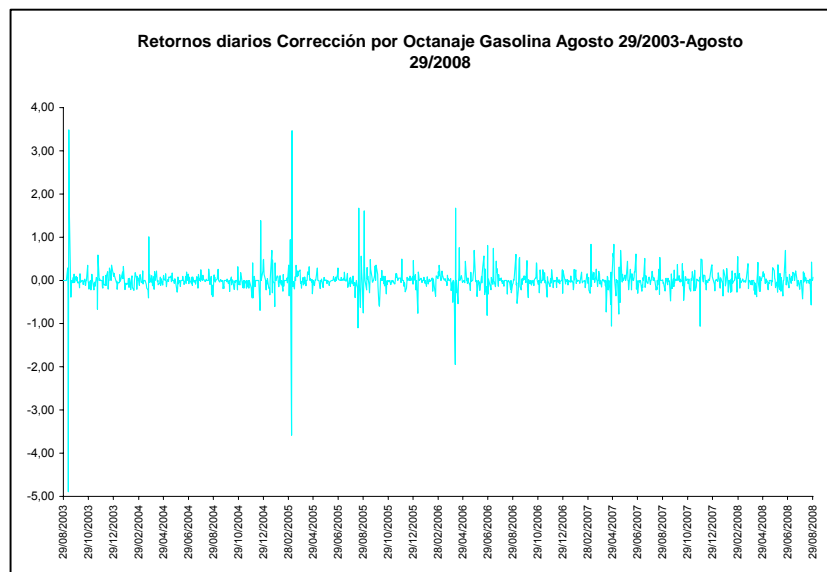
### 6.5.1. Análisis estadístico y distribución de los retornos de la corrección promedio diaria Gasolina UNL 87

Una vez seleccionado el periodo de precios históricos a analizar, se procede a eliminar los días de no cotización y posteriormente se realiza el cálculo de los retornos mediante la siguiente fórmula:

$$r_t = \ln\left(\frac{S_t}{S_{t-1}}\right)$$

Donde: S es el precio diario.

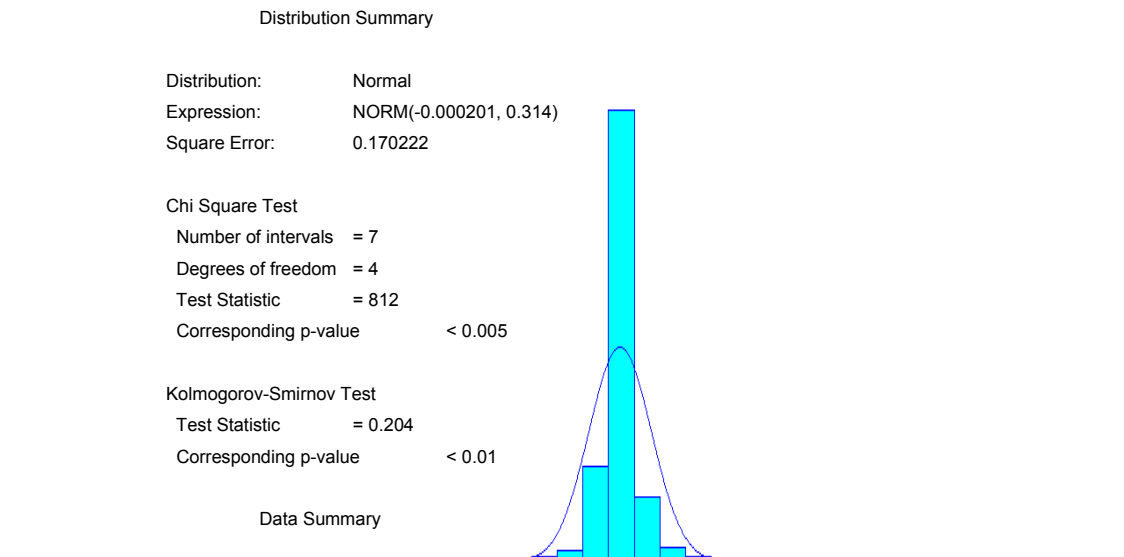
En la Figura 59 se puede observar, los retornos diarios calculados para el periodo histórico que se va a utilizar de la corrección promedio diaria de la gasolina.



**Figura 59 Retornos diarios corrección promedio diaria Gasolina UNL 87 Agto 29-2003 / Agto 29-2008**

Fuente: Platts Elaboración Propia

Una vez calculados los retornos se procede al análisis estadístico donde se examina el problema de verificar si el conjunto de datos se puede ajustar o afirmar que proviene de una distribución Normal. Al igual que en los anteriores análisis estadísticos, las pruebas que se aplicarán será la prueba Chi - Cuadrado y la prueba de Smirnov-Kolmogorov. Dichas pruebas se realizarán mediante el uso del software Arena Rockwell (Input Analyzer). Los resultados obtenidos se presentan en la figura 60.



**Figura 60 Prueba de bondad y ajuste corrección promedia diaria Gasolina UNL 87 Agto 29-2003 / Agto 29-2008**

Fuente: Platts Elaboración Propia

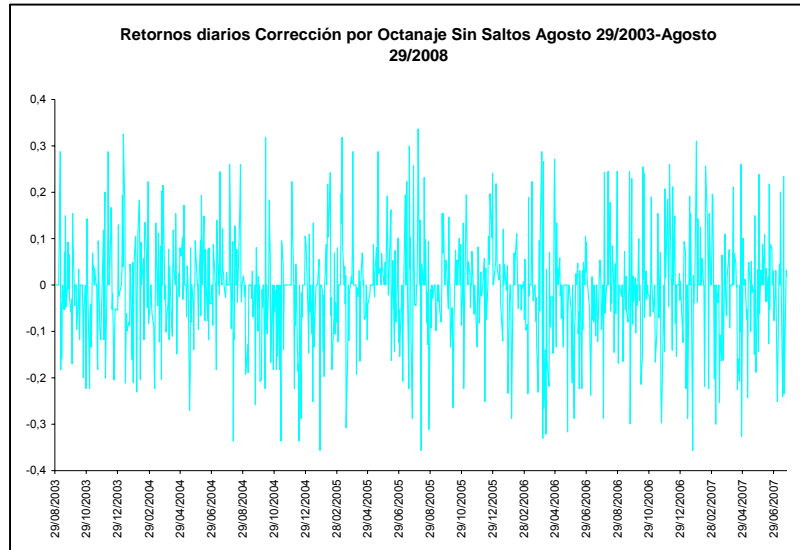
Siguiendo los mismos parámetros tenidos en cuenta para la interpretación de los resultados de las pruebas de bondad y ajuste, se observa que tanto para la prueba Chi Cuadrado como para la de Smirnov – Kolmogorov el p-value es menor a 0.005, luego existe evidencia para rechazar la hipótesis nula y por consiguiente se acepta la hipótesis alterna, es decir los valores observados de las frecuencias para cada clase son diferentes de las frecuencias teóricas de una distribución normal. Para mejorar la aproximación a una distribución normal, se seguirá el procedimiento de extracción de los saltos de los retornos diarios de la serie de la corrección de la gasolina. Los datos de la serie analizada son los presentados en la tabla 14.

<i>Precio Spot</i>		<i>Retornos</i>	
Promedio del Precio	Cent U\$/Gl 11	Promedio Cambio Diario	-0,0002012
Desviación Estándar	Cent U\$/Bl 7,51	Desviación Estándar	0,0313658771
		Volatilidad Anual ( $\sigma$ )	496%

**Tabla 14 Caracterización de la corrección diaria por octanaje Agto 29-2003 / Agto 29-2008**

### 6.5.2. Extracción de saltos corrección por octanaje Gasolina UNL 87

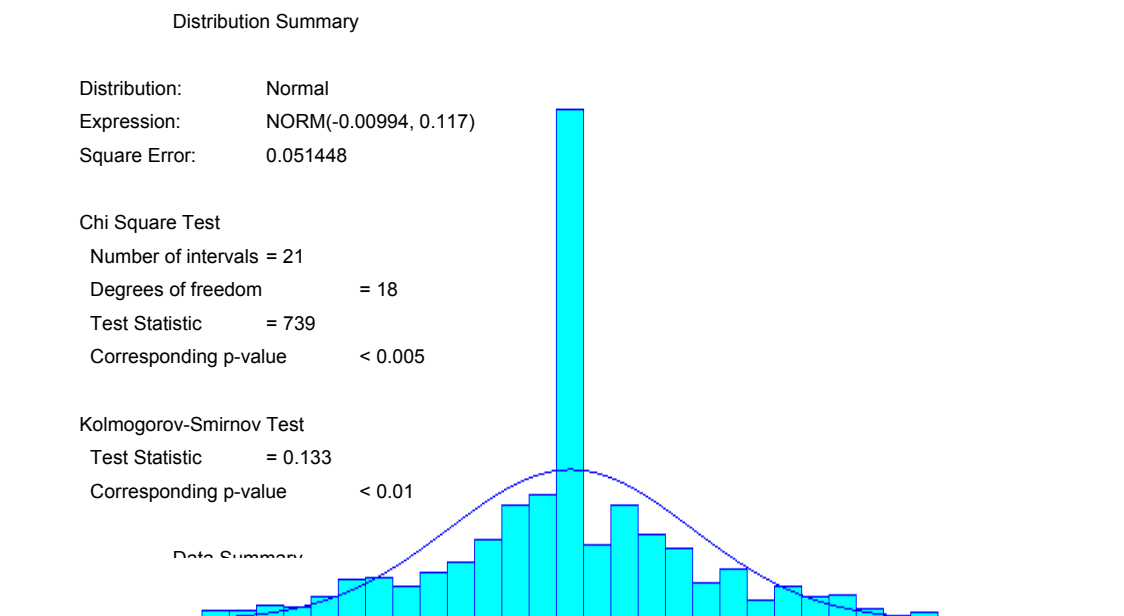
El paso a seguir fue la eliminación o extracción de saltos mediante el mismo procedimiento y criterio aplicado en el análisis del WTI. Los resultados obtenidos una vez filtrados dichos saltos se observan en la Figura 61.



**Figura 61 Retornos diarios sin saltos de la corrección por octanaje gasolina UNL87 Agto 29-2003 / Agto 29-2008**

Fuente: Platts Elaboración Propia

Una vez eliminado los saltos de los retornos se procede a realizar nuevamente el análisis estadístico de bondad y ajuste mediante el software Arena Rockwell (Input Analyzer). Los resultados de dicho análisis se observan en la Figura 62.

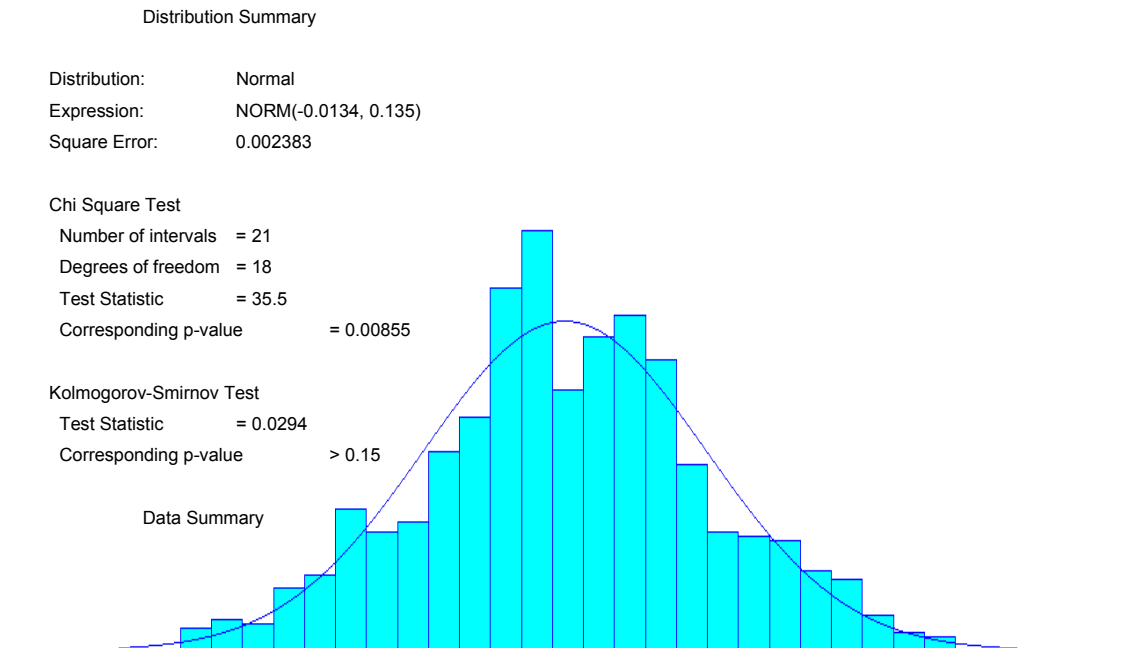


**Figura 62 Prueba de bondad y ajuste sin saltos a los retornos diarios corrección por octanaje Agto 29-2003 / Agto 29-2008**

Fuente: Platts Elaboración Propia

Recordando los criterios mencionados que se tendrán en cuenta en el transcurso de este estudio, para los análisis estadísticos, se observa que tanto para la prueba Chi Cuadrado como para la de Smirnov – Kolmogorov el p-value es menor que 0.05, lo que indica que existe evidencia para rechazar la hipótesis nula y se acepta la hipótesis alterna, es decir los valores observados de las frecuencias para cada clase son diferentes de las frecuencias teóricas de una distribución normal. Una vez realizada la prueba de bondad y ajuste al no encontrarse comportamiento de distribución normal en la serie de datos de estudio, se procedió a revisar la serie, y se observó, un componente importante de ceros, estos como resultado del precio estacionario que se mantiene de un día para otro; por lo tanto, estos son los causantes para que la serie no se aproxime a una distribución normal. La solución fue la eliminación de dichos ceros de la serie, y la modelación de los mismos de tal forma que se vean reflejados en los resultados.

Al eliminar los ceros se volvió a realizar prueba de bondad y ajuste, donde se observo en los resultados que el p-value para la prueba de Chi Cuadrado y la prueba de Kolmogorov-Smirnov, es mayor a 0.05; luego no existe evidencia para rechazar la hipótesis nula y se dice que la serie sigue una distribución normal. Los resultados se ven en la figura 63.



**Figura 63 Prueba de bondad y ajuste sin saltos ni ceros a los retornos diarios corrección por octanaje Agto 29-2003 / Agto 29-2008**  
 Fuente: Platts Elaboración Propia

### 6.5.3. Prueba de verificación de Volatilidad

Una vez realizada la prueba de bondad y ajuste para la serie sin saltos y sin ceros, se procede a realizar una prueba de volatilidad con el fin de observar si la serie de retornos sin saltos y sin ceros presenta volatilidad constante. Para la realización de dicha prueba se utilizó el software SAS, el cual arrojó los resultados presentes en la Figura 64.



#### 6.5.4. Estimación de los parámetros

Una vez realizadas las pruebas de bondad - ajuste y el análisis de volatilidad, y encontrado que los retornos presentan una distribución normal y volatilidad constante, se extraen los parámetros del modelo, el cual servirá para pronosticar los precios futuros de la Gasolina. La Tabla 15,16 y 17, presenta el resumen de los parámetros necesarios.

Drift ( $a$ )	-2.48476052
Volatilidad anual	184.38%
precio inicial ( $S_0$ )	7
$\Delta t$	0.00401606
$T$	5.00

Tabla 15 Datos del modelo de reversión a la media para la corrección por octanaje gasolina UNL87.

Promedio saltos / año, $\lambda$	2.802
Valor esperado salto, $k$	0.101268
Desviación standard salto, $\delta$	2.00035

Tabla 16 Datos de los saltos para la corrección por octanaje gasolina UNL87.

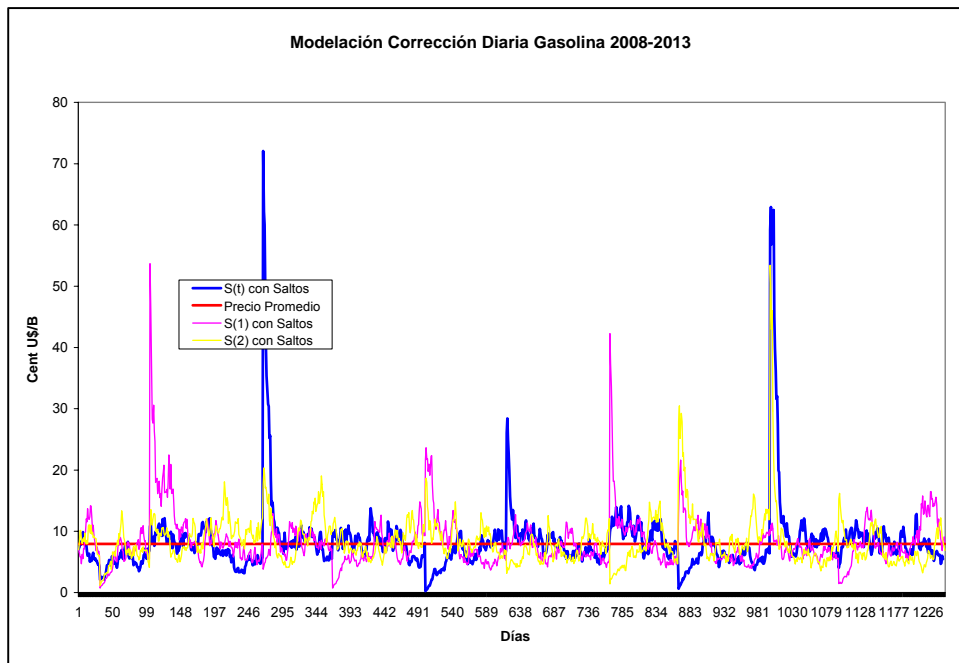
Número de Ceros	258
Datos	1076
Prob (Cero)	23.98%

Tabla 17 Datos de los ceros para la corrección por octanaje gasolina UNL87.

#### 6.5.5. Corrida del modelo

Una vez obtenidos los parámetros necesarios, para el modelo propuesto, para la predicción de precios, se procede a realizar la respectiva corrida mediante el Software Crystal Ball, en el cual se realizarán 10.000 iteraciones.

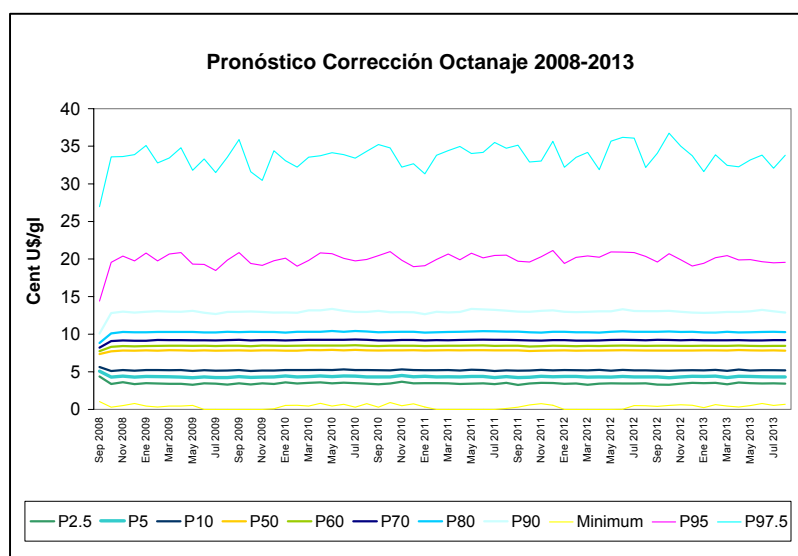
La figura 65 muestra 3 de aquellas 10.000 iteraciones realizadas.



**Figura 65 Simulación del Modelo para la corrección por octanaje gasolina UNL87.**  
Fuente: Platts Elaboración Propia

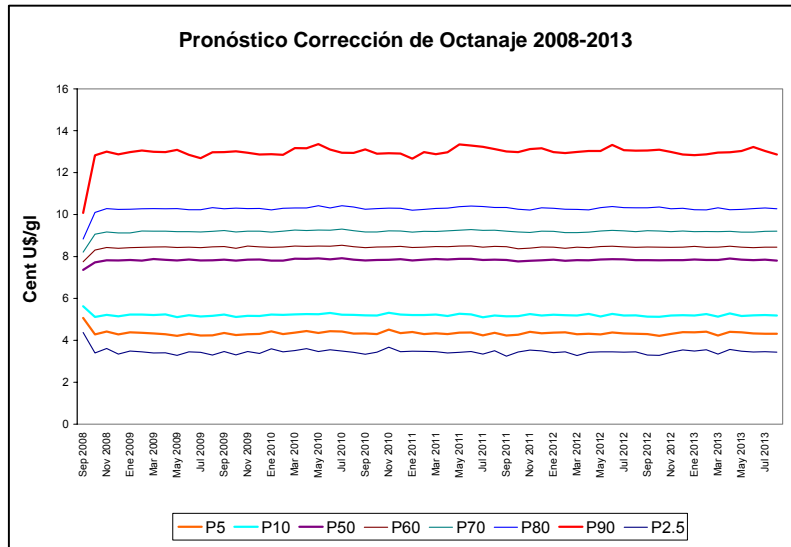
### 6.5.6. Resultados del modelo

Una vez realizadas las 10.000 iteraciones se escogieron los percentiles 2.5, 5, 10, 50, 60, 70, 80 y 90 al igual que los valores máximos y mínimos; estos datos se pueden observar en la Figura 66.



**Figura 66 Resultados del Modelo para la corrección por octanaje gasolina UNL87**  
Fuente: Platts Elaboración Propia

Para el presente estudio se dejó los siguientes percentiles como los que definen los escenarios de precios; rango superior el percentil 90, rango inferior el percentil 10 y el rango medio el percentil 50; dejando un índice de confianza del 80%. La figura 67 muestra los percentiles que definen los escenarios de precios.



**Figura 67 Selección de rangos del Modelo para la corrección por octanaje gasolina UNL87**  
Fuente: Platts Elaboración Propia

## 7. VIABILIDAD FINANCIERA

El desarrollo del análisis financiero se analiza desde el punto de vista del transportador; sin embargo cabe aclarar que existen otros actores a los que les interesaría o afectaría la decisión de la conversión Diesel-Gas; como lo son la industria de hidrocarburos como ECOPETROL S.A. y el Gobierno; este último interesado en la reducción de la emisión de partículas contaminantes a la atmosfera y a la reducción de subsidios para combustibles líquidos. Sin embargo para el presente estudio solo se tiene en cuenta el transportador que en últimas es el que realiza la inversión en el kit, para la conversión.

### 7.1 WACC<sup>11</sup> de los Transportadores

#### Cálculo del WACC para los transportadores

Para el cálculo del WACC partimos de la siguiente fórmula:

$$WACC = kd * (1 - T) * \frac{D}{D + E} + Ke * \frac{E}{D + E}$$

Donde:

#### Costo del Equity (Ke)

El Ke es la tasa de costo de oportunidad de los accionistas. Para el cálculo del Ke se utiliza el método **CAPM** (Capital Asset Pricing Model) mediante la siguiente fórmula:

$$Ke = R_f + \beta * \text{Prima de Riesgo}$$

Donde:

$R_f$  = Tasa libre de Riesgo en Colombia, la cual corresponde a la rentabilidad de Títulos de Tesorería –TES. El valor de la rentabilidad de dichos TES fue obtenida de portafolio en Octubre del presente año y mostro un valor de 10.12%; estos TES son clase B a Tasa Fija y un periodo de 5 años, que es el tiempo para el cual se realizo la proyección para el análisis financiero.

---

<sup>11</sup> WACC: Weighted Average Cost of Capital; se denomina en ocasiones en español Promedio Ponderado del Costo de Capital o Coste Medio Ponderado de Capital

$\beta_u$  = Es el beta de la industria; para el presente estudio sería el beta de la industria del transporte, sin embargo hay que tener en cuenta que Colombia no tiene el cálculo de este tipo de indicadores; por tanto se tomó el Beta para el negocio de Trucking arrojado por Damodaran para países emergentes (1.41). Hay que tener en cuenta que este beta es desapalancado, luego es necesario el cálculo de un Beta apalancado; para dicho cálculo se utiliza la siguiente fórmula:

$$\beta = \beta_u (1 + ((1-T) * D/E))$$

Donde:

**T** = Impuestos, 38.5%

**(D/(D+E))**= Estructura de apalancamiento óptima. Así como los betas de las empresas seleccionadas se consideran un parámetro para la aproximación del beta de cada línea de negocio, se puede considerar que la estructura de capital promedio de ellas es un estimador de mercado de la estructura de apalancamiento óptima de cada línea de negocio. Como Colombia no maneja dicho indicador se obtuvo de Damodaran para la industria del Trucking de países emergentes.

**D/(D+E) = 28.87%**

**E/(D+E) = 71.13%**

**D/E= 40.59%**

Reemplazando:

$$\beta = 1.41 (1 + (1 - 0.385) * 0.4059) = 1.76$$

**Prima de Riesgo**= Prima de Riesgo del mercado Colombiano (7.5%) calculado por Damodaran

Reemplazando en la formula:

$$\mathbf{K_e = 10.12\% + 1.76 (7.5\%) = 23.32\%}$$

**Costo de la deuda Financiera (Kd)**= El costo de la deuda financiera en Colombia según sondeo realizados en bancos, es igual al DTF más 13 puntos; luego el Kd para el presente estudio será:

$$\mathbf{K_d = 22.34\%}$$

### Calculo (WACC):

Una vez obtenidos todos los valores se procede al cálculo del WACC:

$$WACC = kd * (1 - T) * \frac{D}{D + E} + Ke * \frac{E}{D + E}$$

$$WACC = (22.34\%)*(1-0.385)*(28.87\%) + (23.32\%) * (1- 28.87\%) = 20.55\%$$

Se obtiene así un WACC de 20.55% para el transportador; valor con el cual se realiza el análisis financiero.

### 7.2 Viabilidad financiera para el transportador

Para el análisis financiero se tendrán en cuenta tres escenarios los cuales estarán dados por los percentiles alto, medio y bajo que definen el precio de los combustibles (Diesel y GAS). Para el caso de la proyección del precio del Diesel los percentiles que definieron los escenarios alto, medio y bajo fueron el percentil 10, 50 y 90 respectivamente; y para el cálculo del precio del Gas, como se había mencionado, se proyectó el precio de la gasolina (UNL87) con los percentiles 10, 50 y 90 para los tres escenarios respectivamente; con estos percentiles se calculó el precio de venta al consumidor según las pautas del gobierno y a este resultado se le calculó el 60% con el fin de obtener el precio de venta al consumidor para el Gas. Para el análisis financiero se tomó como base de estudio un vehículo tipo camión NPR de Chevrolet. Teniendo en cuenta este parámetro y la definición de los tres escenarios, se calculó el flujo de caja libre (FCL) para cada uno de ellos. Las variables usadas para el cálculo de dichos flujos fueron:

- Inversión (Kit de Conversión): La inversión está representada por el Kit de conversión, el cual es suministrado por NGV Motori (Empresa Italiana) e instalado en la ciudad de Bucaramanga; así mismo hay que tener en cuenta que el valor del kit se ve afectado por la tasa de cambio tanto de Euro a Dólar, como de Dólar a Peso Colombiano, por tal razón se considera para este estudio que los valores de las tasas de cambio están representados por distribuciones de probabilidad y no por valores discretos. Los valores máximo, más probable y mínimo de las tasas de cambio se presentan en las tablas 18 y 19.

Tasa de Cambio Euro - Dólar	Min	Más Probable	Max
	0,8	1,2	1,6

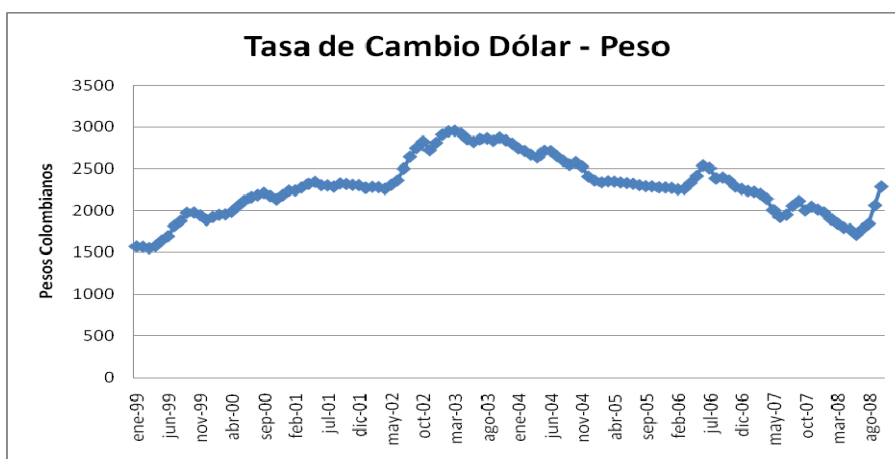
Tabla 18 Valores Mínimo, Mas Probable y Máximo de la Tasa de cambio Euro - Dólar  
Fuente: Banco Central Europeo

Tasa de Cambio Dólar - Peso	Min	Más Probable	Max
	1500	2200	3000

**Tabla 19 Valores Mínimo, Mas Probable y Máximo de la Tasa de cambio Dólar - Peso**

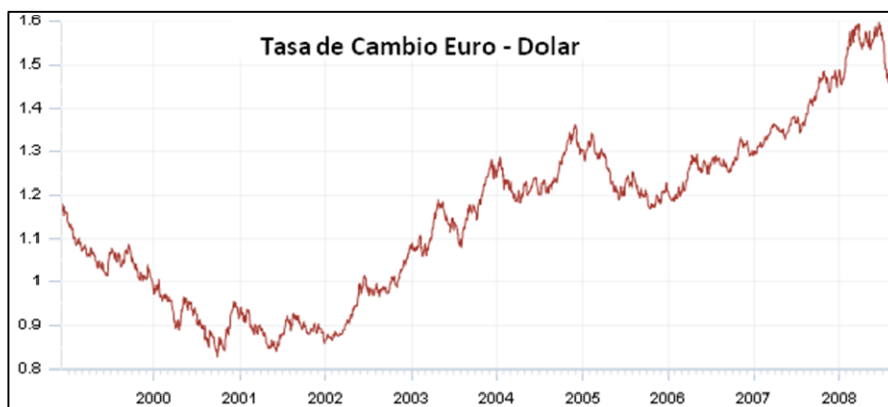
Fuente: Banco de la República

Las anteriores cifras de las tasas de cambio fueron obtenidas de los datos históricos proporcionados por el Banco de la República y el Banco Central Europeo; cuyos valores los podemos observar graficados a continuación. Hay que tener en cuenta que la figura 69 muestra la cantidad de dólares por Euro que se pagan en un determinado día.



**Figura 68 Datos Histórico de la Tasa de Cambio Dólar - Peso**

Fuente: Elaboración Propia



**Figura 69 Datos Histórico de la Tasa de Cambio Euro - Dólar**

Fuente: Banco Central Europeo

La tabla 20 muestra los rubros que conforman el costo de la inversión.

KIT	DEDICADO
CILINDROS	TURBO
ALIMENTACIÓN	4
EUROS	1.975,00 €
DÓLAR * EURO	1,2
DOLARES	\$2.370,00
FACTOR COSTO DE IMPORTACIÓN	23,00%
COSTO DE IMPORTACIÓN	\$667,50
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$3.037,50</b>
HORA MANO DE OBRA	80
PRECIO MANO DE OBRA	\$16,66
<b>COSTO MANO DE OBRA</b>	<b>\$1.332,80</b>
LITROS POR CILINDRO	100
CANTIDAD DE CILINDROS	2
COSTO CILINDROS	525
<b>TOTAL CILINDROS</b>	<b>\$1.050,00</b>
UTILIDAD SOBRE EQUIPO	0,5
UTILIDAD SOBRE EQUIPO	\$3.037,50
<b>PRECIO EQUIPO</b>	<b>\$6.075,00</b>
PRECIO EQUIPO MAS CILINDRO MAS MANO DE OBRA EN DOLARES	\$8.457,80
<b>TOTAL EN PESOS</b>	<b>\$19.452.940,00</b>

**Tabla 20 Precio Conversión Diesel-Gas**

Fuente: Sondeo de mercado talleres de transformación

- Costo de Combustible: El costo de combustible se calculaba mediante el uso de las siguientes formulas.

$$\text{Para Diesel} = (\text{Consumo de Combustible en galones}) * \text{Precio}$$

Donde:

$$\text{Consumo de Combustible} = \text{Kilometraje Recorrido} * \text{Factor}$$

**Kilometraje Recorrido=** Para el cálculo de los kilómetros recorridos en un año se consulto al gerente de Auto Francia Medellín el cual comento que por estudios de la revista motor y por experiencia en el sector, el promedio de kilómetros recorridos para un vehículo NPR es de 80000 km anuales, y su variación puede ser de 50% por encima o por debajo. Hay que tener en cuenta que esta clase de vehículos, son de carga por tanto su kilometraje recorrido es alto. Teniendo en cuenta lo anterior, se estableció como mínimo,

más probable y máximo los valores de 40000 km, 80000 km y 120000 km respectivamente.

**Factor:** Consumo de combustible (Diesel) por kilometro recorrido (0.07 galones).

**Precio:** El precio está dado en cada uno de los escenarios por el percentil correspondiente, así mismo hay que tener en cuenta que este precio igualmente se ve afectado por la tasa de cambio Dólar – Peso, la cual está representada por una distribución de probabilidad, mencionada anteriormente en el cálculo del kit de conversión. A su vez en cada escenario se calculó los valores medio, más probable y máximo para cada uno de los años; arrojando los siguientes resultados.

AÑO	DIESEL ESCENARIO ALTO		
	MAYOR	Más Probable	MENOR
2008	6660,85	6367,45	6160,29
2009	9321,02	8466,58	7556,16
2010	11750,88	11137,42	10404,75
2011	12405,33	11711,03	11098,62
2012	12138,68	11522,24	10807,35
2013	11950,60	11850,22	11623,02

**Tabla 21 Precio Diesel Escenario Alto – Min Probable Max**  
Elaboración Propia

AÑO	DIESEL ESCENARIO MEDIO		
	MAYOR	Más Probable	MENOR
2008	6239,88	6194,83	6154,34
2009	7169,57	7064,68	5765,18
2010	7988,49	7944,06	7886,03
2011	8457,13	7945,39	7511,05
2012	8169,51	7751,85	7328,67
2013	8094,87	8018,80	7878,82

**Tabla 22 Precio Diesel Escenario Medio – Min Probable Max**  
Elaboración Propia

AÑO	Diesel ESCENARIO Bajo		
	MAYOR	Más Probable	MENOR
2008	6169,29	6085,72	5968,17
2009	6536,81	6151,21	5765,18
2010	6273,46	5858,02	5490,68
2011	5856,42	5491,19	5150,56
2012	5626,72	5341,67	5083,72
2013	5590,35	5544,47	5445,94

**Tabla 23 Precio Diesel Escenario Bajo – Min Probable Max**  
Elaboración Propia

Para el cálculo del precio del Gas la fórmula aplicada fue:

$$\text{Para GAS} = (\text{Consumo de Combustible en galones}) * \text{Factor Gas} * \text{Precio}$$

Donde:

**Factor Gas:** Es el factor que permite la conversión o el comparativo de Diesel (galones) a Gas (metros cúbicos). Dicho factor es igual a 3.26.

**Precio:** El precio está dado en cada uno de los escenarios por el percentil correspondiente a las proyecciones realizadas, así mismo al igual que para el diesel, el gas también se ve afectado por la tasa de cambio Dólar – Peso. Por último en cada escenario se calculó los valores medio, más probable y máximo para cada uno de los años; arrojando los resultados que se observan en las tablas 24, 25 y 26.

AÑO	GAS ESCENARIO ALTO		
	MAYOR	Más Probable	MENOR
2008	1735,67	1664,46	1601,75
2009	2422,40	2199,93	1964,57
2010	2717,61	2570,26	2435,69
2011	2672,85	2529,30	2405,74
2012	2632,25	2482,71	2345,97
2013	2597,88	2569,66	2524,90

Tabla 24 Precio Gas Escenario Alto – Min Probable Max  
Elaboración Propia

AÑO	GAS ESCENARIO MEDIO		
	MAYOR	Más Probable	MENOR
2008	1631,04	1618,86	1601,75
2009	1804,74	1796,09	1784,24
2010	1956,68	1823,00	1706,54
2011	1870,22	1761,41	1662,12
2012	1815,46	1729,05	1642,16
2013	1813,94	1803,21	1773,83

Tabla 25 Precio Gas Escenario Medio – Min Probable Max  
Elaboración Propia

AÑO	GAS ESCENARIO BAJO		
	MAYOR	Más Probable	MENOR
2008	1631,04	1588,95	1546,68
2009	1685,13	1531,17	1365,60
2010	1466,74	1346,48	1249,71
2011	1366,24	1282,80	1196,29
2012	1319,34	1260,50	1201,11
2013	1335,23	1320,43	1293,76

Tabla 26 Precio Gas Escenario Bajo – Min Probable Max  
Elaboración Propia

- **Mantenimiento:** Para el cálculo del precio por mantenimiento como primera medida se establecieron los costos de mantenimiento por cada 10000 km de recorrido tanto para un vehículo NPR a gas como a diesel las tablas 27 y 28 muestran los cálculos.

<b>MANTENIMIENTO POR KILOMETRAJE - GAS</b>								
	<b>10.000</b>	<b>20.000</b>	<b>30.000</b>	<b>40.000</b>	<b>50.000</b>	<b>60.000</b>	<b>70.000</b>	<b>80.000</b>
ACEITE	\$ 61.667	\$ 61.667	\$ 61.667	\$ 61.667	\$ 61.667	\$ 61.667	\$ 61.667	\$ 61.667
FILTRO DE ACEITE	\$ 17.217	\$ 17.217	\$ 17.217	\$ 17.217	\$ 17.217	\$ 17.217	\$ 17.217	\$ 17.217
FILTRO DE VENTEO			\$ 98.416		\$ 98.416			\$ 98.416
BUJIAS					\$ 158.310			\$ 158.310
FILTRO DE COMBUSTIBLE					\$ 136.410			\$ 136.410
FILTRO DE AIRE					\$ 113.693			\$ 113.693
AJUSTE Y CALIBRACIÓN DE VALVULAS					\$ 123.482			\$ 123.482
REFRIGERANTE								\$ 129.880
CABLE DE ALTA TENSIÓN								\$ 187.992
<b>COSTO DE MANTENIMIENTO</b>	<b>\$ 78.884</b>	<b>\$ 78.884</b>	<b>\$ 177.300</b>	<b>\$ 78.884</b>	<b>\$ 709.194</b>	<b>\$ 78.884</b>	<b>\$ 78.884</b>	<b>\$ 1.027.066</b>
							<b>Total año</b>	<b>\$ 2.307.978</b>

**Tabla 27 Costo mantenimiento anual vehículo convertido a Gas natural**

<b>MANTENIMIENTO POR KILOMETRAJE - DIESEL</b>								
	<b>10.000</b>	<b>20.000</b>	<b>30.000</b>	<b>40.000</b>	<b>50.000</b>	<b>60.000</b>	<b>70.000</b>	<b>80.000</b>
ACEITE	\$ 112.453	\$ 112.453	\$ 112.453	\$ 112.453	\$ 112.453	\$ 112.453	\$ 112.453	\$ 112.453
FILTRO DE ACEITE	\$ 17.688	\$ 17.688	\$ 17.688	\$ 17.688	\$ 17.688	\$ 17.688	\$ 17.688	\$ 17.688
FILTRO DE COMBUSTIBLE		\$ 29.173		\$ 29.173		\$ 29.173		\$ 29.173
FILTRO DE AIRE				\$ 113.693				\$ 113.693
AJUSTE Y CALIBRACIÓN DE VALVULAS				\$ 123.482				\$ 123.482
REFRIGERANTE								\$ 129.880
<b>COSTO DE MANTENIMIENTO</b>	<b>\$ 130.141</b>	<b>\$ 159.314</b>	<b>\$ 130.141</b>	<b>\$ 396.489</b>	<b>\$ 130.141</b>	<b>\$ 159.314</b>	<b>\$ 130.141</b>	<b>\$ 526.369</b>
							<b>Total año</b>	<b>\$ 1.762.051</b>

**Tabla 28 Costo mantenimiento anual vehículo Diesel**

Una vez establecidos los mantenimiento por kilometraje, el cálculo del mantenimiento para un vehículo está determinado por la cantidad de veces que éste asiste al taller; pauta que a su vez está definida por los kilómetros recorridos. En la tabla 29 se observa el ejemplo para el año 2008.

Cantidades De Mantenimientos	Kilometraje	Mantenimiento 2008	
		Gas	Diesel
1	10000	78.884	130.141
2	20000	157.767	289.455
3	30000	335.067	419.596
4	40000	413.950	816.085
5	50000	1.123.144	946.226
6	60000	1.202.028	1.105.541
7	70000	1.280.912	1.235.682
8	80000	2.307.978	1.762.051
9	90000	2.386.861	1.892.192
10	100000	2.465.745	2.051.506
11	110000	3.174.939	2.181.647
12	120000	3.253.822	2.578.136

**Tabla 29 Tabla de Costo de Mantenimiento para 2008**

Los precios para 2009 a 2013 son los anteriores afectados por las respectivas inflaciones proyectadas por el Ministerio de Hacienda y Crédito Público hasta el 2013, mostradas en la tabla 30.

Inflación Proyectada	2008	2009	2010	2011	2012	2013
	4,0	3,75	3,3	3	3	3

**Tabla 30 Inflación Proyectada 2009-20013**

Fuente: Ministerio de Hacienda y Crédito Público

- Depreciación: La depreciación se calculó con el método de línea recta.
- Impuestos: 35%

Las proyecciones para el Flujo de Caja Libre entre el 2008 – 2013 para los tres escenarios se presentan a continuación en las tablas 31, 32 y 33.

		ESCENARIO ALTO					
INVERSIÓN INICIAL	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
KIT DEDICADO EN DOLARES	\$2.785,41						
FACTOR COSTO DE IMPORTACIÓN	23%						
COSTO DE IMPORTACIÓN	\$640,64						
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$3.426,05</b>						
CANTIDAD DE HORAS HOMBRE	80						
PRECIO MANO DE OBRA	\$16,66						
<b>COSTO MANO DE OBRA</b>	<b>\$1.332,80</b>						
CANTIDAD DE CILINDROS	4						
COSTO CILINDRO	\$260,00						
<b>TOTAL CILINDROS</b>	<b>\$1.040,00</b>						
UTILIDAD SOBRE KIT	0,5						
UTILIDAD	\$1.713,03						
<b>PRECIO EQUIPO</b>	<b>\$5.139,08</b>						
<b>PRECIO TOTAL EN DOLARES</b>	<b>\$7.511,88</b>						
<b>Total Pesos Colombianos</b>	<b>\$ 19.452.940</b>						

#### GAS

Costos Mantenimiento	2.307.978	2.394.527	2.473.546	2.547.753	2.624.185	2.702.911
Costos de combustible	30.283.434	39.879.855	46.761.656	46.061.326	45.171.664	46.573.262

#### DIESEL

Costos Mantenimiento	1.762.051	1.828.128	1.888.456	1.945.110	2.003.463	2.063.567
Costos de combustible	35.633.207	47.063.344	61.825.187	65.394.215	64.007.580	65.782.083

#### CAMBIO FCL TRANSPORTADORES

Costos de Mantenimiento	545.927	-566.399	-585.090	-602.643	-620.722	-639.344
Costos de Combustible	5.349.773	7.183.490	15.063.531	19.332.890	18.835.916	19.208.822
Utilidad Bruta	4.803.846	6.617.091	14.478.441	18.730.247	18.215.194	18.569.478
Depreciación	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588
U operativa	913.258	2.726.503	10.587.853	14.839.659	14.324.606	14.678.890
Impuestos	319.640	954.276	3.705.749	5.193.881	5.013.612	5.137.611
UODI	593.618	1.772.227	6.882.104	9.645.778	9.310.994	9.541.278
+DEPRECIACIÓN	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588
<b>FCL</b>	<b>\$ -19.452.940</b>	<b>\$ 4.484.206</b>	<b>\$ 5.662.815</b>	<b>\$ 10.772.692</b>	<b>\$ 13.536.366</b>	<b>\$ 13.201.582</b>
						<b>\$ 13.431.866</b>

Tabla 31 Cambio en FCL del Transportador por Conversión a Gas – Escenario Alto

ESCENARIO MEDIO							
INVERSIÓN INICIAL	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
KIT DEDICADO EN DOLARES	\$2.785,41						
FACTOR COSTO DE IMPORTACIÓN	23%						
COSTO DE IMPORTACIÓN	\$640,64						
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$3.426,05</b>						
CANTIDAD DE HORAS HOMBRE	80						
PRECIO MANO DE OBRA	\$16,66						
<b>COSTO MANO DE OBRA</b>	<b>\$1.332,80</b>						
CANTIDAD DE CILINDROS	4						
COSTO CILINDRO	\$260,00						
<b>TOTAL CILINDROS</b>	<b>\$1.040,00</b>						
UTILIDAD SOBRE KIT	0,5						
UTILIDAD	\$1.713,03						
<b>PRECIO EQUIPO</b>	<b>\$5.139,08</b>						
<b>PRECIO TOTAL EN DOLARES</b>	<b>\$7.511,88</b>						
<b>Total Pesos Colombianos</b>	<b>\$ 19.452.940</b>						
<b>GAS</b>							
Costos Mantenimiento		2.307.978	2.394.527	2.473.546	2.547.753	2.624.185	2.702.911
Costos de combustible		29.373.937	32.603.491	33.215.870	32.050.537	31.402.315	32.639.216
<b>DIESEL</b>							
Costos Mantenimiento		1.762.051	1.828.128	1.888.456	1.945.110	2.003.463	2.063.567
Costos de combustible		34.519.868,68	37.138.937,28	44.231.091,43	44.407.512,25	43.175.290,17	40.036.182,63
<b>CAMBIO FCL TRANSPORTADORES</b>							
Costos de Mantenimiento		545.927	566.399	585.090	-602.643	-620.722	639.344
Costos de Combustible		5.145.932	4.535.447	11.015.221	12.356.975	11.772.975	7.396.967
Utilidad Bruta		4.600.005	3.969.048	10.430.131	11.754.332	11.152.253	6.757.623
Depreciación		\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588
U operativa		709.417	78.460	6.539.543	7.863.744	7.261.665	2.867.035
Impuestos		248.296	27.461	2.288.840	2.752.310	2.541.583	1.003.462
UODI		461.121	50.999	4.250.703	5.111.434	4.720.082	1.863.573
+DEPRECIACIÓN		\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588
FCL		<b>\$ -19.452.940</b>	<b>\$ 4.351.709</b>	<b>\$ 3.941.587</b>	<b>\$ 8.141.291</b>	<b>\$ 9.002.022</b>	<b>\$ 8.610.670</b>

Tabla 32 Cambio en FCL del Transportador por Conversión a Gas – Escenario Medio

ESCENARIO BAJO							
INVERSIÓN INICIAL	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
KIT DEDICADO EN DOLARES	\$2.785,41						
FACTOR COSTO DE IMPORTACIÓN	23%						
COSTO DE IMPORTACIÓN	\$640,64						
<b>SUBTOTAL</b>	<b>\$3.426,05</b>						
CANTIDAD DE HORAS HOMBRE	80						
PRECIO MANO DE OBRA	\$16,66						
<b>COSTO MANO DE OBRA</b>	<b>\$1.332,80</b>						
CANTIDAD DE CILINDROS	4						
COSTO CILINDRO	\$260,00						
<b>TOTAL CILINDROS</b>	<b>\$1.040,00</b>						
UTILIDAD SOBRE KIT	0,5						
UTILIDAD	\$1.713,03						
<b>PRECIO EQUIPO</b>	<b>\$5.139,08</b>						
<b>PRECIO TOTAL EN DOLARES</b>	<b>\$7.511,88</b>						
<b>Total Pesos Colombianos</b>	<b>\$ 19.452.940</b>						

#### GAS

Costos Mantenimiento	2.307.978	2.394.527	2.473.546	2.547.753	2.624.185	2.702.911
Costos de combustible	28.859.449	27.740.713	24.598.633	23.281.247	22.891.422	23.911.437

#### DIESEL

Costos Mantenimiento	1.762.051	1.828.128	1.888.456	1.945.110	2.003.463	2.063.567
Costos de combustible	33.840.441,08	34.267.589,64	32.724.361,83	30.637.114,12	29.808.759,29	30.790.473,04

#### CAMBIO FCL TRANSPORTADORES

Costos de Mantenimiento	-	-	-	-	-	-
Costos de Combustible	545.927	566.399	585.090	602.643	620.722	639.344
Utilidad Bruta	4.980.992	6.526.877	8.125.728	7.355.867	6.917.337	6.879.036
Depreciación	4.435.065	5.960.477	7.540.638	6.753.224	6.296.615	6.239.692
Depreciación	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588
U operativa	544.477	2.069.889	3.650.050	2.862.636	2.406.027	2.349.104
Impuestos	190.567	724.461	1.277.518	1.001.923	842.109	822.186
UODI	353.910	1.345.428	2.372.533	1.860.713	1.563.918	1.526.918
+DEPRECIACIÓN	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588	\$ 3.890.588
FCL	<b>\$ -19.452.940</b>	<b>\$ 4.244.498</b>	<b>\$ 5.236.016</b>	<b>\$ 6.263.121</b>	<b>\$ 5.751.301</b>	<b>\$ 5.417.506</b>

**Tabla 33 Cambio en FCL del Transportador por Conversión a Gas – Escenario Medio**

Debido a que algunas de las variables que influyen en el análisis financiero, no poseen valores discretos, sino distribuciones de probabilidad, se hizo necesario la realización de un análisis de sensibilidad que permita evaluar los escenarios posibles dentro de cada uno de los tres definidos inicialmente. Para esto se utilizó el software @Risk, el cual realiza una simulación con todas las combinaciones posibles de las variables que poseen este comportamiento. Dichas variables son:

- Precio de los Combustibles Diesel y Gas
- Kilometraje Anual Promedio
- Tasa de Cambio (Dólar – Peso)
- Tasa de Cambio (Euro - Dólar)

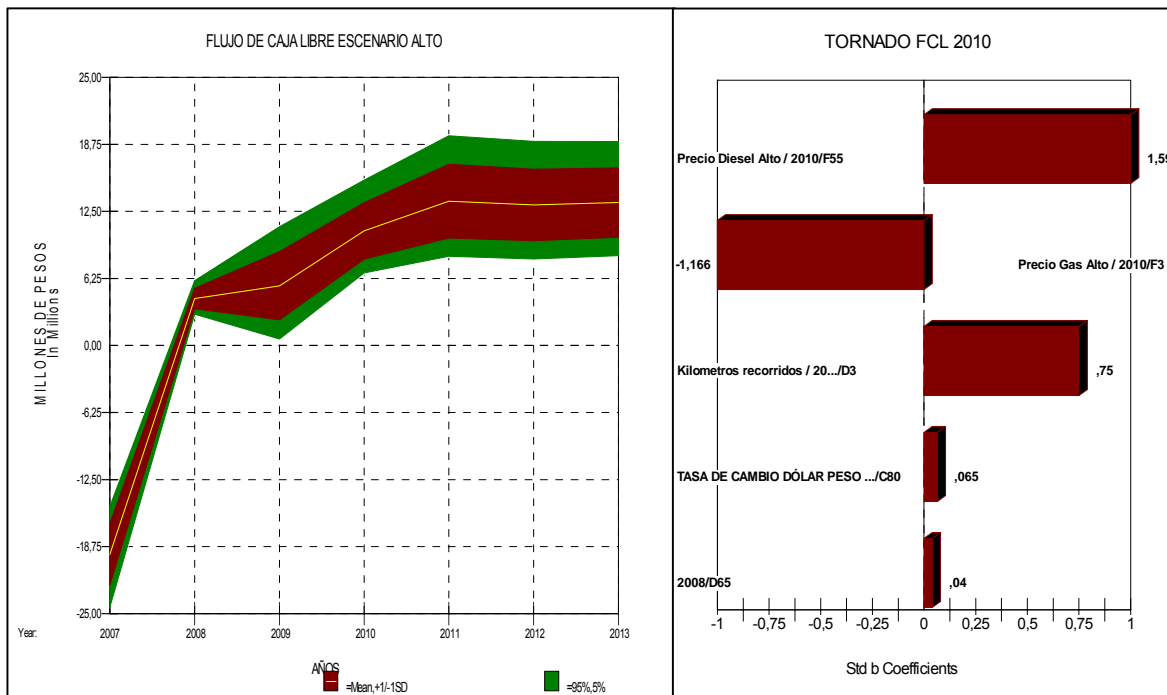
Los valores máximo, mínimo y más probable de estas variables fueron mencionados anteriormente cuando se explico cada una de ellas. Hay que tener en cuenta que la variable precio, además del tratamiento de simulación con @Risk; igualmente, recibió un tratamiento especial en Crystal Ball para la proyección de los mismos teniendo en cuenta ciertas variables y condiciones mencionadas durante el desarrollo del modelo de reversion a la media en el capítulo seis.

### 7.2.1. Resultados de la Simulación

Una vez realizada la simulación en el software @Risk, para 10000 iteraciones los resultados arrojados fueron:

#### ✓ FLUJO DE CAJA LIBRE

#### ESCENARIO ALTO



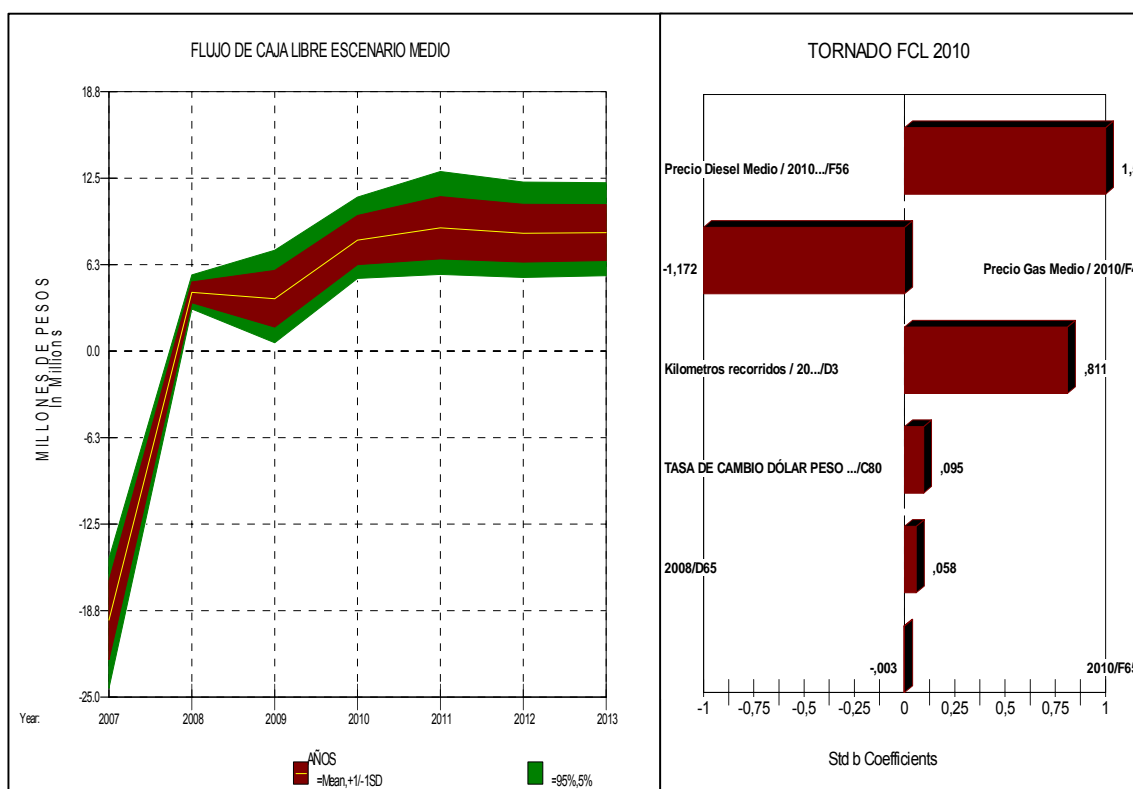
**Figura 70 Flujo de Caja Libre Escenario Alto**  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	MODA
2008	\$ 1.680.509	\$ 4.374.960	\$ 8.645.504	\$ 3.252.498
2009	-\$ 7.028.511	\$ 5.565.332	\$ 19.212.910	\$ 5.192.229
2010	\$ 4.375.124	\$ 10.677.980	\$ 22.496.630	\$ 8.114.951
2011	\$ 4.683.768	\$ 13.447.540	\$ 29.175.480	\$ 11.146.680
2012	\$ 4.375.131	\$ 13.097.510	\$ 26.842.320	\$ 12.883.150
2013	\$ 5.580.897	\$ 13.320.390	\$ 25.201.380	\$ 12.617.020

**Tabla 34 Resultados FCL Escenario Alto**

Como se observa en la tabla 34 el Flujo de Caja Libre en el Escenario Alto puede presentar valores negativos en el año 2009, sin embargo la probabilidad es del 3.26%. Por otra parte puede presentar valores positivos en todos los años entre 2008-2013, presentando los mayores flujos entre el 2011 y 2013 con probabilidad del 100%.

### ESCENARIO MEDIO



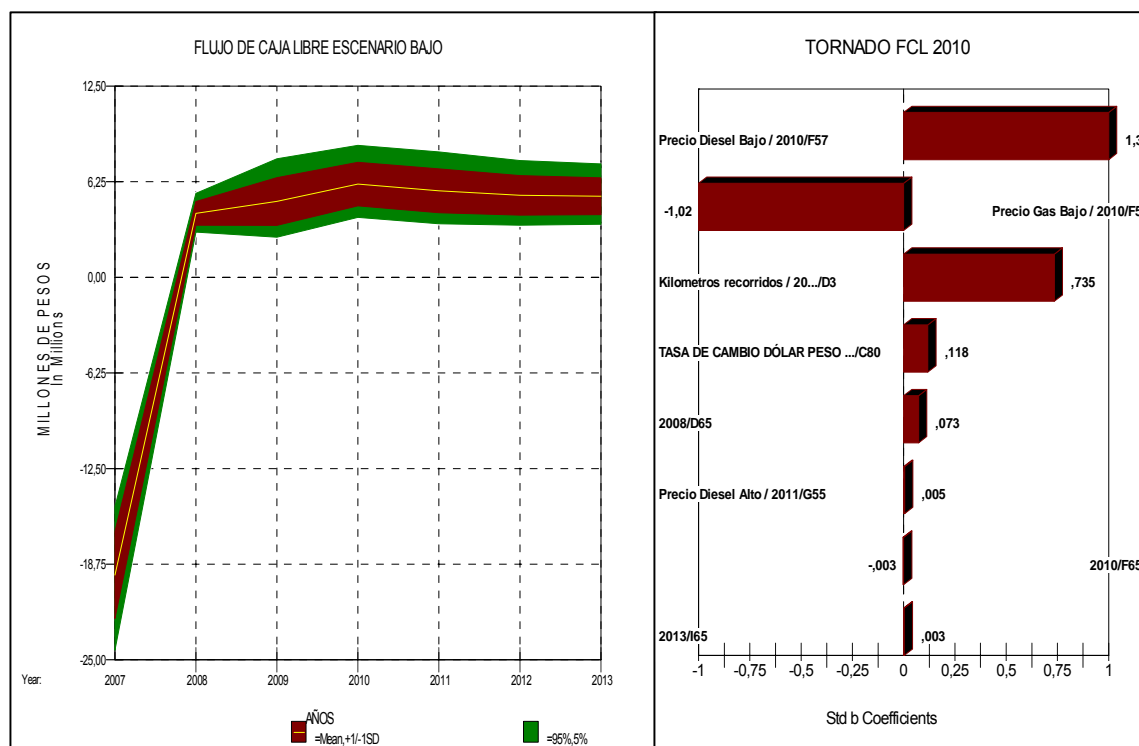
**Figura 71 Flujo de Caja Libre Escenario Medio**  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	MODA
2008	\$ 2.016.424	\$ 4.249.408	\$ 7.023.058	\$ 3.481.015
2009	-\$ 3.406.470	\$ 3.786.840	\$ 11.619.710	\$ 4.479.062
2010	\$ 2.955.028	\$ 8.018.747	\$ 14.311.440	\$ 6.215.172
2011	\$ 2.604.918	\$ 8.908.771	\$ 19.490.880	\$ 7.181.779
2012	\$ 3.106.305	\$ 8.512.920	\$ 16.833.280	\$ 5.011.503
2013	\$ 3.634.753	\$ 8.566.221	\$ 15.983.530	\$ 7.500.054

**Tabla 35 Resultados FCL Escenario Medio**

El Flujo de Caja Libre en el Escenario Medio puede presentar valores negativos en el año 2009, sin embargo la probabilidad de que esto suceda es de un 2.53%. Por otra parte puede presentar valores positivos en todos los años entre 2008-2013, presentando los mayores flujos entre el 2010 y 2013 con probabilidad del 100%.

### ESCENARIO BAJO



**Figura 72 Flujo de Caja Libre Escenario Bajo**  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	MODA
2008	\$ 1.871.717	\$ 4.183.261	\$ 6.812.130	\$ 4.204.969
2009	\$ 426.632	\$ 4.962.500	\$ 13.219.610	\$ 3.613.705
2010	\$ 2.225.890	\$ 6.098.747	\$ 11.487.540	\$ 5.503.451
2011	\$ 1.934.552	\$ 5.655.883	\$ 11.217.400	\$ 4.666.216
2012	\$ 2.046.159	\$ 5.359.382	\$ 10.457.710	\$ 4.254.094
2013	\$ 2.260.170	\$ 5.305.163	\$ 9.954.813	\$ 4.253.402

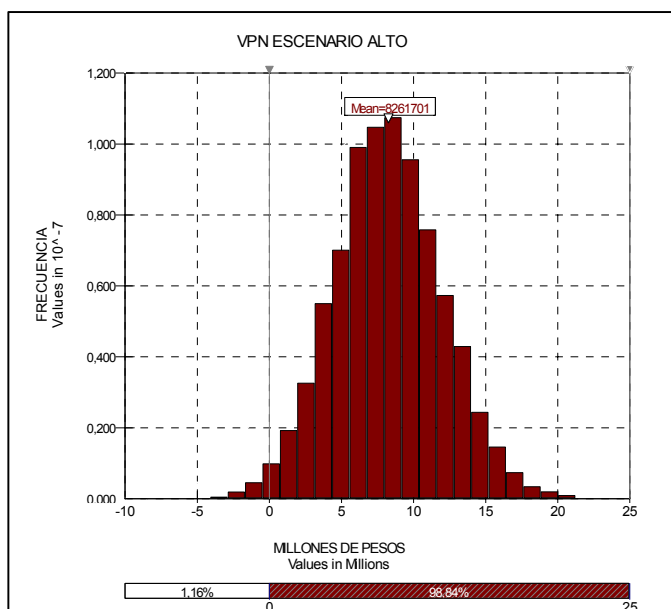
**Tabla 36 Resultados FCL Escenario Bajo**

Para el Escenario Bajo el Flujo de Caja Libre según los resultados de la simulación, no presenta valores negativos, sin embargo se puede observar que en el 2009 el mínimo es de tan solo \$ 426.632, lo que podría convertirse en cualquier momento en valor negativo por su aproximación a cero. Por otra parte puede presentar valores positivos en todos los años entre 2008-2013, presentando los mayores flujos entre 2010 y 2013.

✓ **VALOR PRESENTE NETO**

**ESCENARIO ALTO**

Para el escenario alto existe una probabilidad del 98.84% que el valor presente neto sea mayor que cero. El valor mínimo, media, máximo y moda se ven reflejados en la tabla 37. Así mismo existe la probabilidad del 50.57% que el VPN se encuentre entre 5.500.000 y 10.500.000.



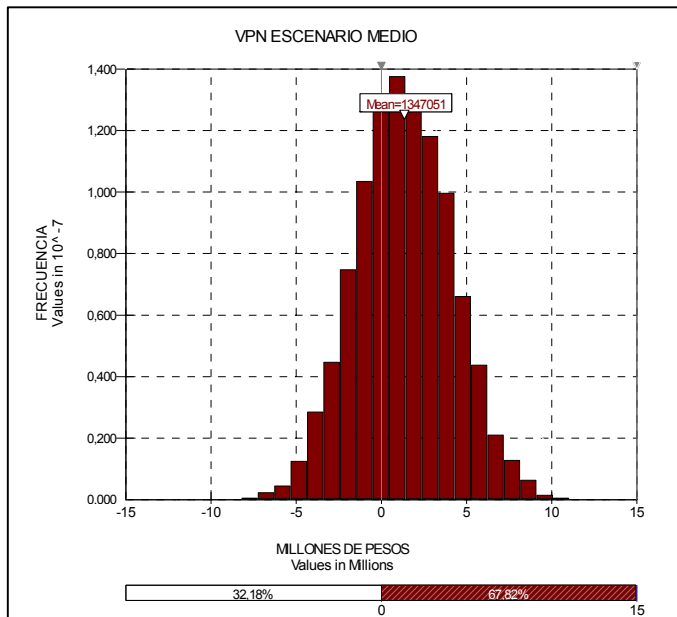
VPN	
Mínimo	-\$ 5.266.109
Media	\$ 8.261.701
Máximo	\$ 21.262.420
Moda	\$ 6.010.378

**Tabla 37 Resultados VPN Escenario Alto**

**Figura 73 VPN Escenario Alto**  
Fuente: Elaboración Propia

## ESCENARIO MEDIO

Para el escenario medio existe una probabilidad del 67.82% que el valor presente neto sea mayor que cero. El valor mínimo, media, máximo y moda se ven reflejados en la tabla 38. Así mismo existe la probabilidad del 45.22% que el VPN se encuentre entre 0 y 3.500.000.



VPN	
Mínimo	-\$ 10.114.980
Media	\$ 1.347.051
Máximo	\$ 11.060.630
Moda	\$ 3.692.527

**Tabla 38 Resultados VPN Escenario Medio**

**Figura 74 VPN Escenario Medio**

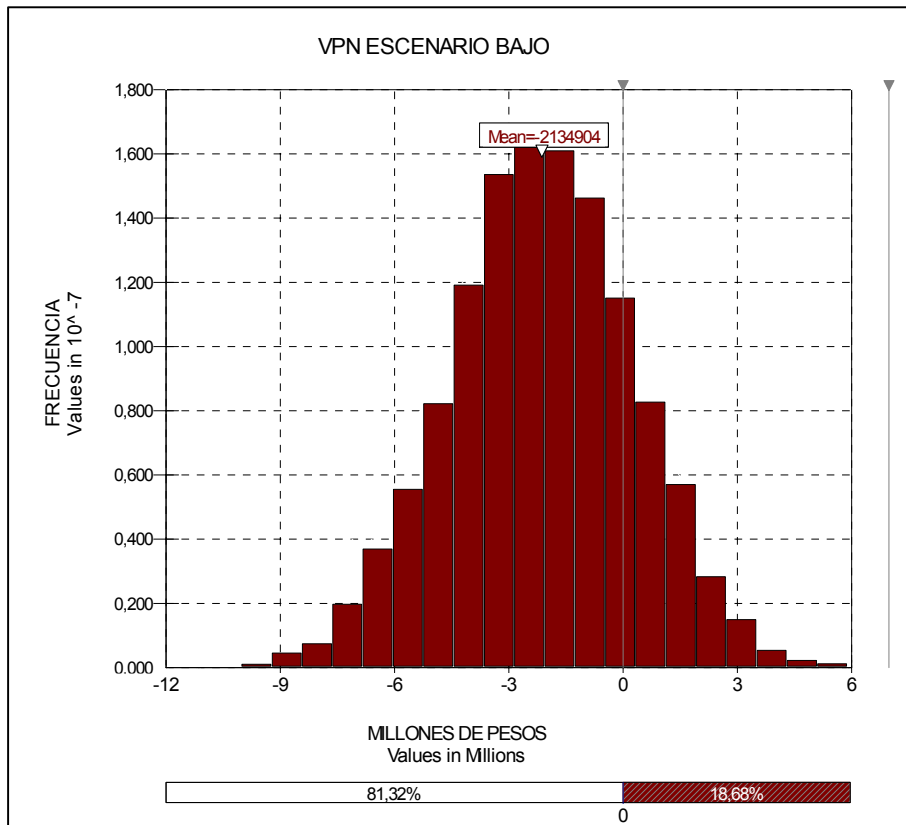
Fuente: Elaboración Propia

## ESCENARIO BAJO

Para el escenario bajo existe una probabilidad del 18.68% que el valor presente neto sea mayor que cero. El valor mínimo, media, máximo y moda se ven reflejados en la tabla 39. Así mismo existe la probabilidad del 54.56% que el VPN se encuentre entre -3.600.000 y 0.

VPN	
Mínimo	-\$ 11.604.270
Media	-\$ 2.134.904
Máximo	\$ 5.904.505
Moda	-\$ 1.418.729

**Tabla 39 Resultados VPN Escenario Bajo**



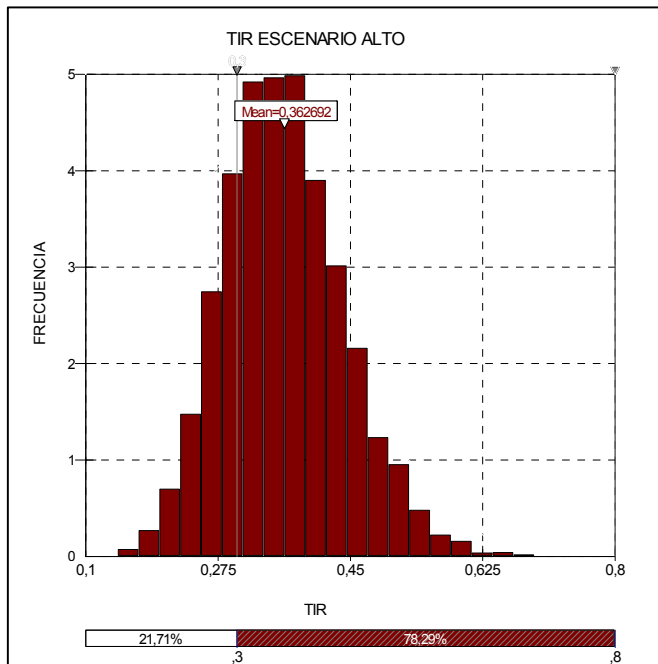
**Figura 75 VPN Escenario Bajo**  
Fuente: Elaboración Propia

✓ TIR

## ESCENARIO ALTO

Para la TIR en el escenario alto se encontraron los siguientes resultados:

- ❖ Probabilidad del 98.97% de obtener una TIR mayor al 20%.
- ❖ Probabilidad del 93.59% de obtener una TIR mayor al 25%
- ❖ Probabilidad del 78.29% de obtener una TIR mayor al 30%.
- ❖ Probabilidad del 29.55% de obtener una TIR mayor al 40%.
- ❖ Los valores, mínimo, media, máximo y moda se observan en la tabla 40.
- ❖ Existe una probabilidad del 63.47% que la TIR se encuentre entre el 28% y el 42%.



TIR	
Mínimo	14%
Media	36%
Máximo	75%
Moda	26%

**Tabla 40 Resultados TIR Escenario Alto**

**Figura 76 TIR Escenario Alto**

Fuente: Elaboración Propia

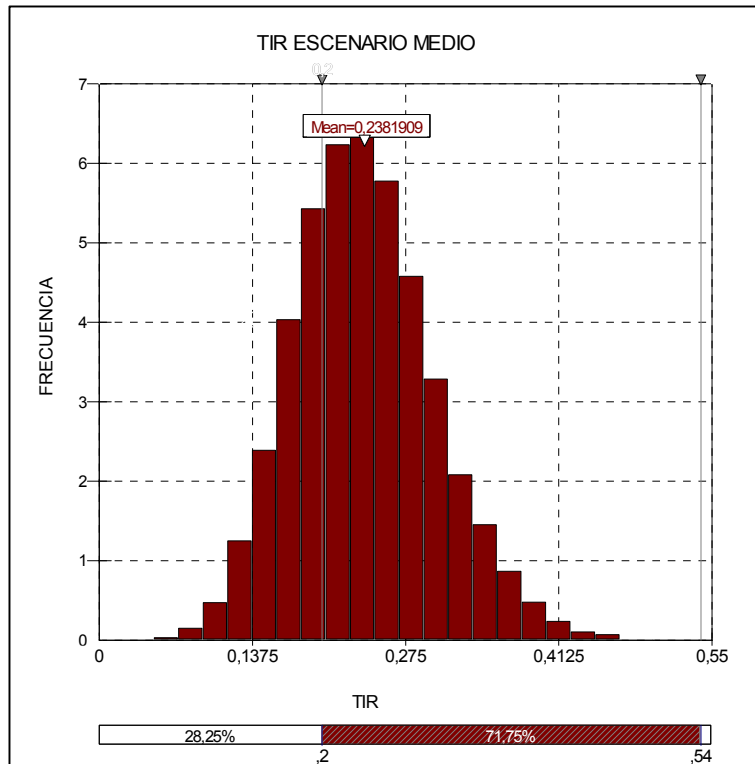
## ESCENARIO MEDIO

Para la TIR en el escenario medio se encontraron los siguientes resultados:

- ❖ Probabilidad del 71.75% de obtener una TIR mayor al 20%.
- ❖ Probabilidad del 40.1% de obtener una TIR mayor al 25%
- ❖ Probabilidad del 16.14% de obtener una TIR mayor al 30%.
- ❖ Probabilidad del 0.98% de obtener una TIR mayor al 40%.
- ❖ Los valores, mínimo, media, máximo y moda se observan en la tabla 41.
- ❖ Existe una probabilidad del 62.99% que la TIR se encuentre entre el 18% y el 29%.

TIR	
Mínimo	5%
Media	24%
Máximo	53%
Moda	19%

**Tabla 41 Resultados TIR Escenario Medio**



**Figura 77 TIR Escenario Medio**

Fuente: Elaboración Propia

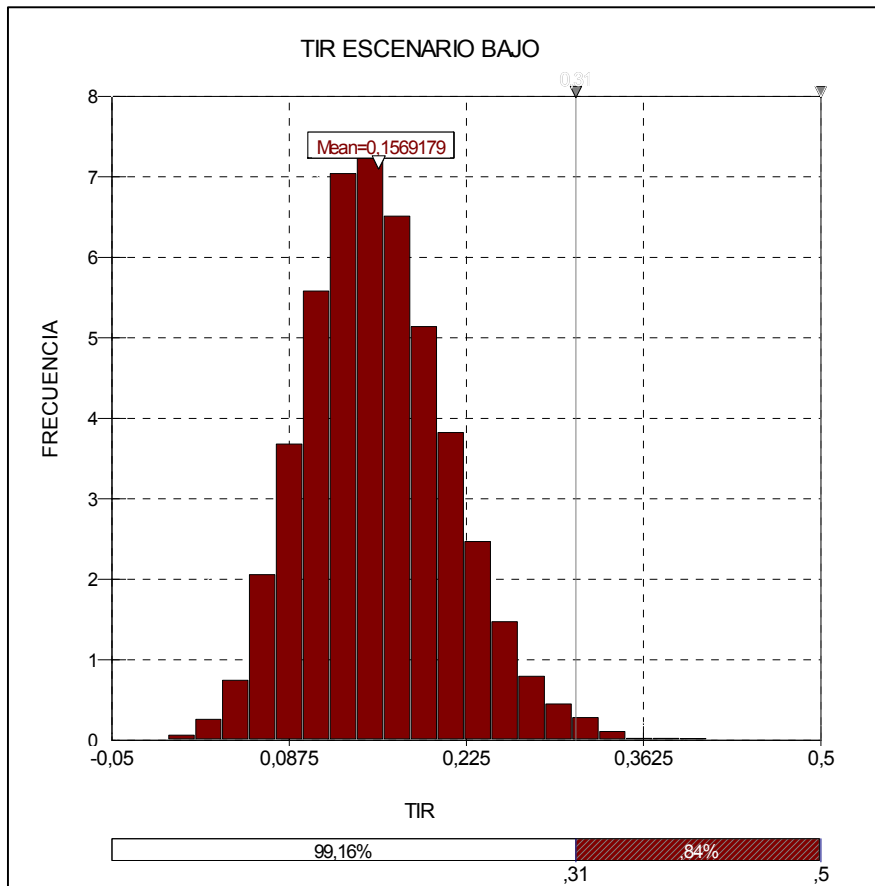
## ESCENARIO BAJO

Para la TIR en el escenario bajo se encontraron los siguientes resultados:

- ❖ Probabilidad del 21.06% de obtener una TIR mayor al 20%.
- ❖ Probabilidad del 5.68% de obtener una TIR mayor al 25%
- ❖ Probabilidad del 1.25% de obtener una TIR mayor al 30%.
- ❖ Los valores, mínimo, media, máximo y moda se observan en la tabla 42.
- ❖ Existe una probabilidad del 64.01% que la TIR se encuentre entre el 10% y el 20%.

TIR	
Mínimo	-1%
Media	16%
Máximo	45%
Moda	10%

**Tabla 42 Resultados TIR Escenario Bajo**



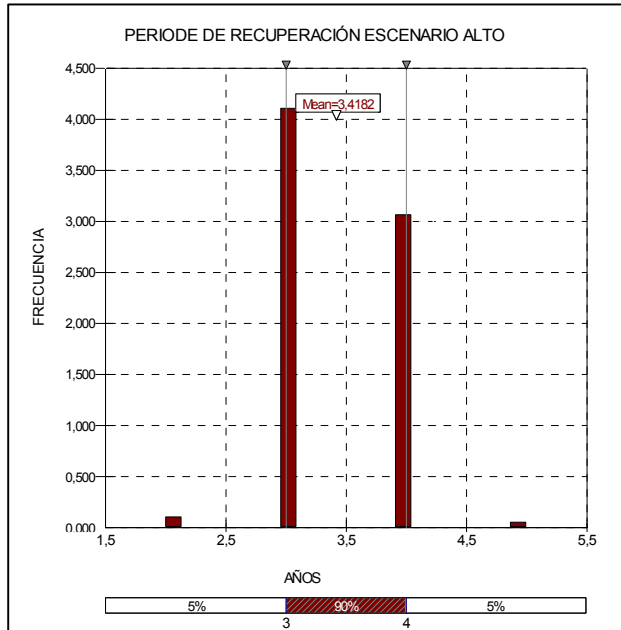
**Figura 78 TIR Escenario Bajo**  
 Fuente: Elaboración Propia

✓ **PERIODO DE RECUPERACION**

Para el periodo de recuperación, se debe tener en cuenta que se están comparando pesos con pesos (cantidades); es decir no se tiene en cuenta el valor del dinero en el tiempo ni los intereses que este pueda generar.

**ESCENARIO ALTO**

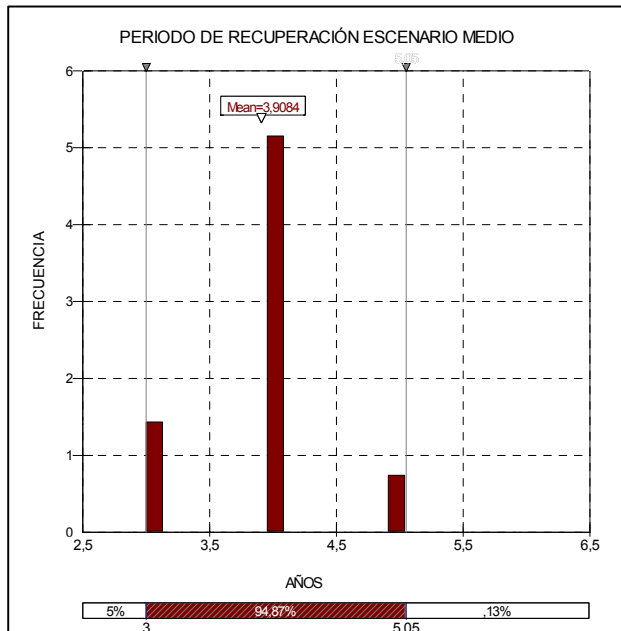
Para el escenario alto el período de recuperación varía entre 2 años y 5 años con una media y moda de 3 años. Existe una probabilidad del 56.03% que sea tres años y 41.08% que sea en cuatro años, como se observa en la figura 79.



**Figura 79** Periodo de recuperación Escenario Alto  
Fuente: Elaboración Propia

## ESCENARIO MEDIO

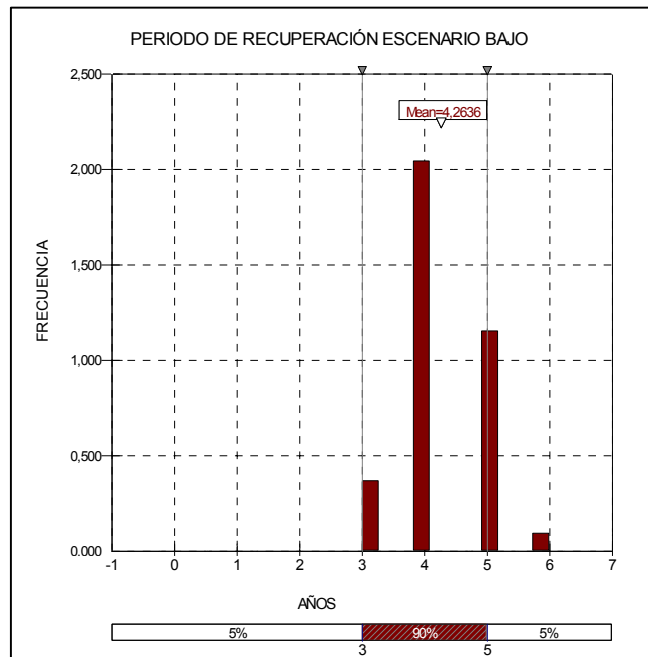
Para el escenario medio el período de recuperación varía entre 3 años y 5 años con una media y moda de 4 años. Existe una probabilidad del 19.52% que sea en tres años, 70.25% que sea en cuatro y 10.1% que sea en cinco.



**Figura 80** Periodo de recuperación Escenario Medio  
Fuente: Elaboración Propia

## ESCENARIO BAJO

Para el escenario bajo el período de recuperación varía entre 3 años y 6 años con una media y moda de 4 años. Existe una probabilidad del 10.08% que sea en tres años, 55.78% que sea en cuatro, 31.48% que sea en cinco y 2.59% que sea en seis años.



**Figura 81 Período de recuperación Escenario Bajo**

Fuente: Elaboración Propia

Ahora bien los anteriores resultados muestran el estudio o análisis financiero para 5 años; sin embargo, hay que tener en cuenta que al finalizar estos cinco años el transportador puede tomar dos decisiones; una podría ser la venta del vehículo y obtener un valor de salvamento por el Kit de conversión y la otra seguir trabajando el vehículo hasta su vida útil. Por tal razón se decide analizar financieramente estas dos alternativas en los tres escenarios.

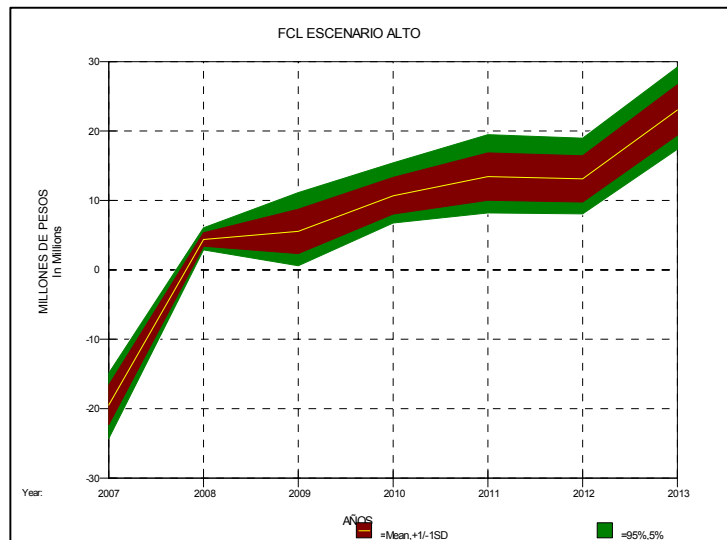
### 7.2.2. Resultado de simulación con valor de salvamento de Kit de conversión.

Para la simulación con valor de salvamento fue necesario consultar al gerente de Autofrancia Medellín, experto en la conversión y mercado de Kit de conversión diesel-gas. Al consultarle sobre el precio de mas, por el cual se podría vender un vehículo que tuviera implementado el kit de conversión a Gas y que hubiera sido trabajado por 5 años, respondió que este kit tiene una vida útil de 20 años, y que su depreciación se realiza en línea recta, lo que daría la pauta para el cálculo del valor de salvamento una vez el transportador decidiera

vender el vehículo al cabo de 5 años. Sin embargo para el presente análisis, se decide ser más conservadores y darle una vida útil al Kit de 10 años teniendo en cuenta además que teóricamente la depreciación de un vehículo se realiza a 5 años, por lo tanto depreciar el kit a 20 años daría una diferencia significativa entre la vida útil del vehículo y el kit de conversión. Así mismo hay que tener en cuenta que dependiendo el escenario, el valor de salvamento podría variar, es decir el vehículo con kit de conversión, bajo condiciones del escenario alto tendría un mayor valor, que si a futuro se presentara un comportamiento en escenario medio o bajo. Teniendo en cuenta lo anterior, el valor de salvamento considerado en el presente análisis para el escenario alto, fue del 50% de la inversión inicial lo cual nos da un valor de \$ 9.726.470, en el escenario medio se considero un 40% del valor inicial de la inversión es decir, \$7.781.176 y para el escenario bajo, un porcentaje del 30% respecto a la inversión inicial, considerando un valor de salvamento de \$5.835.882. Una vez realizada la simulación en el software @Risk, para 10000 iteraciones los resultados arrojados fueron:

✓ **FLUJO DE CAJA LIBRE**

**ESCENARIO ALTO**



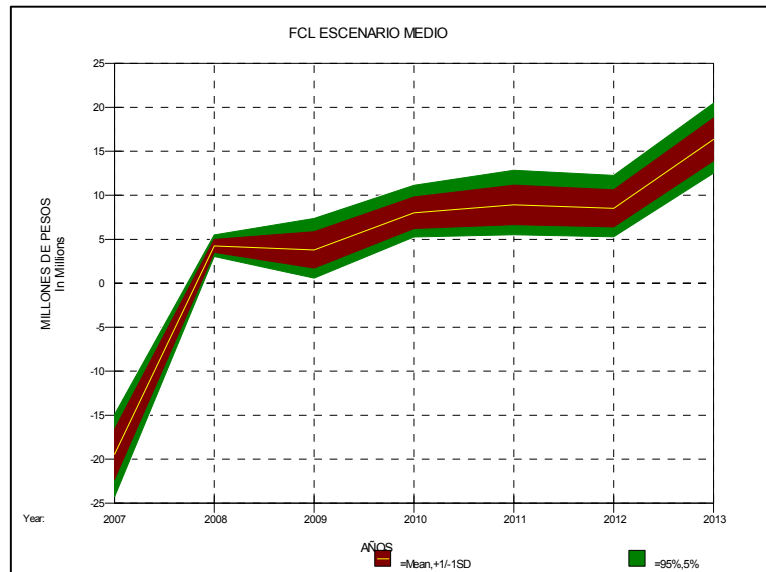
**Figura 82 Flujo de Caja Libre Escenario Alto**

AÑO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	MODA
2008	\$ 1.418.678	\$ 4.376.959	\$ 8.392.325	\$ 3.438.263
2009	-\$ 4.861.449	\$ 5.550.326	\$ 18.962.180	\$ 3.531.690
2010	\$ 4.493.877	\$ 10.684.820	\$ 21.446.400	\$ 8.712.739
2011	\$ 4.070.097	\$ 13.447.540	\$ 28.811.140	\$ 13.218.880
2012	\$ 4.412.216	\$ 13.104.980	\$ 26.603.740	\$ 8.903.873
2013	\$ 12.059.990	\$ 23.050.490	\$ 38.544.480	\$ 20.734.200

**Tabla 43 Resultados FCL Escenario Alto**

Como se observa en la tabla 43 el Flujo de Caja Libre en el Escenario Alto puede presentar valores negativos en el año 2009, sin embargo la probabilidad es del 3.07%. Por otra parte puede presentar valores positivos en todos los años entre 2008-2013, presentando los mayores flujos entre el 2011 y 2013 con probabilidad del 100%.

## ESCENARIO MEDIO



**Figura 83 Flujo de Caja Libre Escenario Medio**

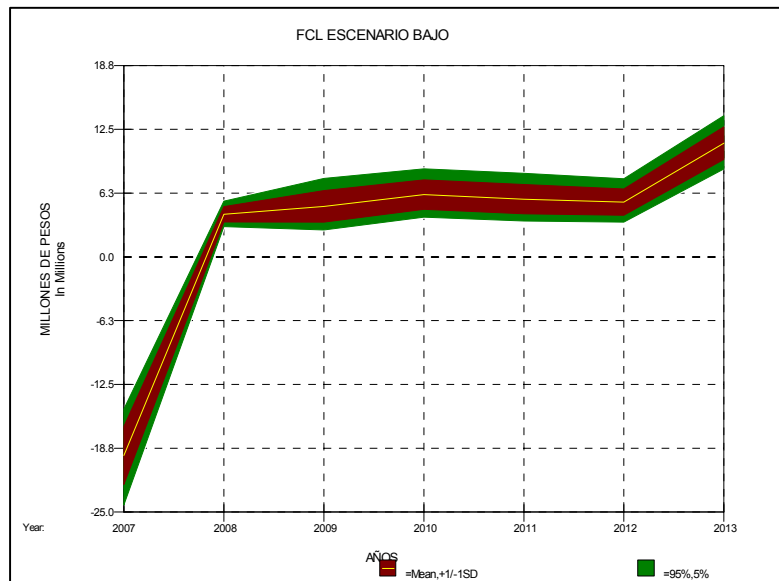
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	MODA
2008	\$ 2.183.359	\$ 4.249.521	\$ 6.986.646	\$ 4.140.277
2009	-\$ 4.762.803	\$ 3.784.719	\$ 11.279.300	\$ 3.720.387
2010	\$ 3.168.319	\$ 8.020.301	\$ 15.382.720	\$ 8.422.081
2011	\$ 2.692.724	\$ 8.911.613	\$ 18.361.280	\$ 6.668.603
2012	\$ 2.252.455	\$ 8.516.038	\$ 16.677.880	\$ 8.504.767
2013	\$ 8.805.595	\$ 16.351.850	\$ 27.037.260	\$ 12.906.620

**Tabla 44 Resultados FCL Escenario Medio**

El Flujo de Caja Libre en el Escenario Medio puede presentar valores negativos en el año 2009, sin embargo la probabilidad de que esto suceda es de un 2.66%. Por otra parte puede presentar valores positivos en todos los años entre 2008-2013, presentando los mayores flujos entre el 2010 y 2013 con probabilidad del 100%.

## ESCENARIO BAJO



**Figura 84 Flujo de Caja Libre Escenario Bajo**

Fuente: Elaboración Propia

AÑO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	MODA
2008	\$ 2.109.826	\$ 4.181.580	\$ 7.179.720	\$ 3.861.477
2009	\$ 711.953	\$ 4.951.038	\$ 11.817.070	\$ 4.206.495
2010	\$ 1.770.678	\$ 6.102.339	\$ 11.666.600	\$ 4.553.682
2011	\$ 1.683.530	\$ 5.657.744	\$ 11.241.350	\$ 3.679.961
2012	\$ 2.036.009	\$ 5.357.580	\$ 10.537.550	\$ 4.146.296
2013	\$ 6.076.890	\$ 11.143.150	\$ 17.891.690	\$ 8.764.184

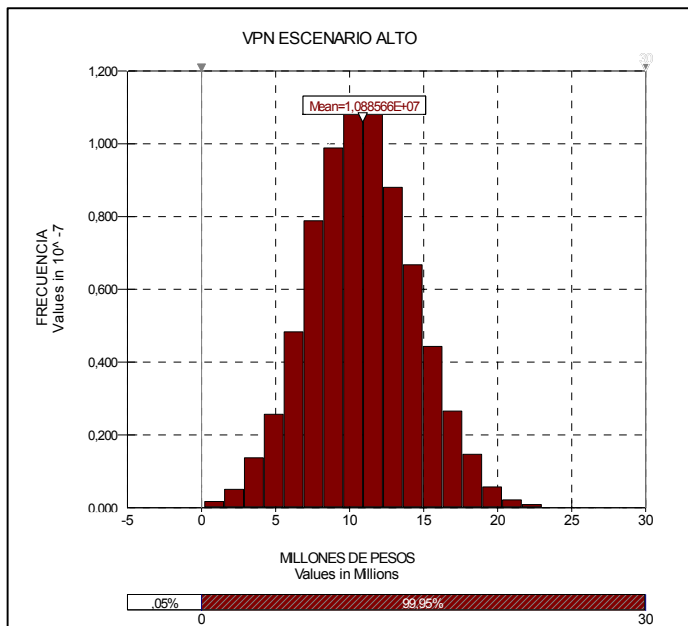
**Tabla 45 Resultados FCL Escenario Bajo**

Para el Escenario Bajo el Flujo de Caja Libre según los resultados de la simulación, no presenta valores negativos. Por otra parte puede presentar valores positivos en todos los años entre 2008-2013, presentando los mayores flujos entre 2010 y 2013.

### ✓ VALOR PRESENTE NETO

## ESCENARIO ALTO

Para el escenario alto existe una probabilidad del 99.95% que el valor presente neto sea mayor que cero. El valor mínimo, media, máximo y moda se ven reflejados en la tabla 46. Así mismo existe la probabilidad del 51.96% que el VPN se encuentre entre 8.500.000 y 13.500.000.



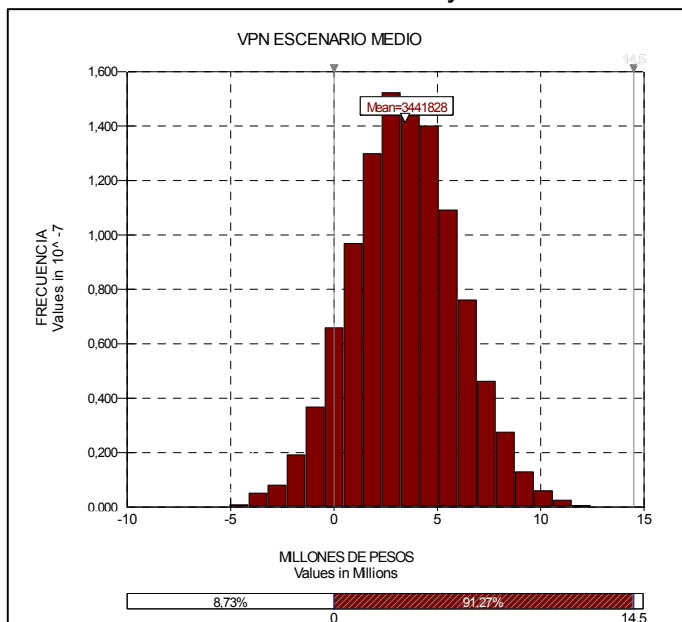
**Figura 85 VPN Escenario Alto**  
Fuente: Elaboración Propia

VPN	
Mínimo	-\$ 2.463.528
Media	\$ 10.885.660
Máximo	\$ 27.033.790
Moda	\$ 8.248.077

**Tabla 46 Resultados VPN Escenario Alto**

## ESCENARIO MEDIO

Para el escenario medio existe una probabilidad del 91.27% que el valor presente neto sea mayor que cero. El valor mínimo, media, máximo y moda se ven reflejados en la tabla 47. Así mismo existe la probabilidad del 50.47% que el VPN se encuentre entre 1.500.000 y 5.000.000.



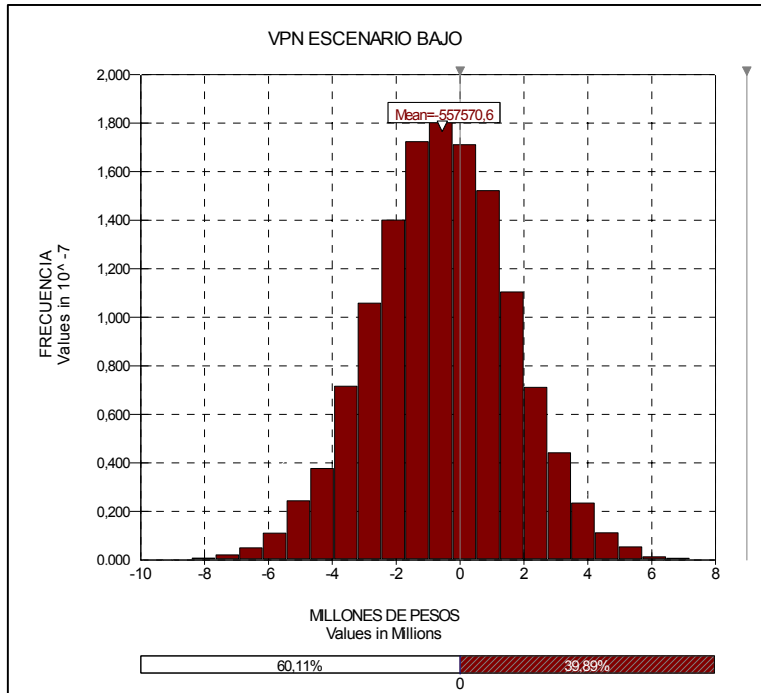
**Figura 86 VPN Escenario Medio**  
Fuente: Elaboración Propia

VPN	
Mínimo	-\$ 6.867.563
Media	\$ 3.441.828
Máximo	\$ 13.372.080
Moda	\$ 1.992.567

**Tabla 47 Resultados VPN Escenario Medio**

## ESCENARIO BAJO

Para el escenario bajo existe una probabilidad del 39.89% que el valor presente neto sea mayor que cero. El valor mínimo, media, máximo y moda se ven reflejados en la tabla 48. Así mismo existe la probabilidad del 51.17% que el VPN se encuentre entre -1.800.000 y 1.200.000.



VPN	
Mínimo	-\$ 8.387.815
Media	-\$ 557.571
Máximo	\$ 7.951.317
Moda	-\$ 1.357.877

**Tabla 48 Resultados VPN Escenario Bajo**

**Figura 87 VPN Escenario Bajo**

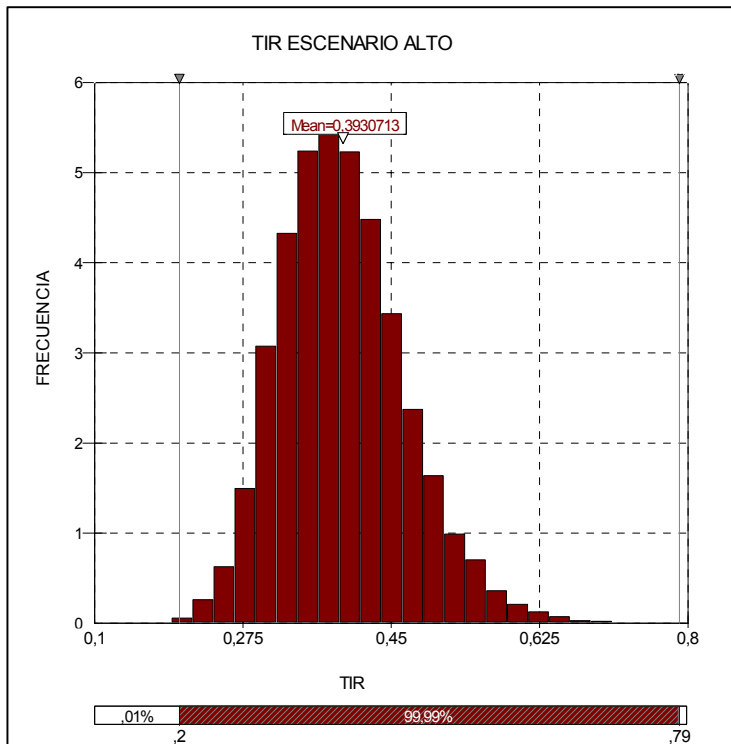
Fuente: Elaboración Propia

✓ TIR

## ESCENARIO ALTO

Para la TIR en el escenario alto se encontraron los siguientes resultados:

- ❖ Probabilidad del 99.99% de obtener una TIR mayor al 20%.
- ❖ Probabilidad del 98.84% de obtener una TIR mayor al 25%
- ❖ Probabilidad del 91.67% de obtener una TIR mayor al 30%.
- ❖ Probabilidad del 42.82% de obtener una TIR mayor al 40%.
- ❖ Los valores, mínimo, media, máximo y moda se observan en la tabla 49.
- ❖ Existe una probabilidad del 60.4% que la TIR se encuentre entre el 32% y el 44%.



TIR	
Mínimo	19%
Media	39%
Máximo	74%
Moda	28%

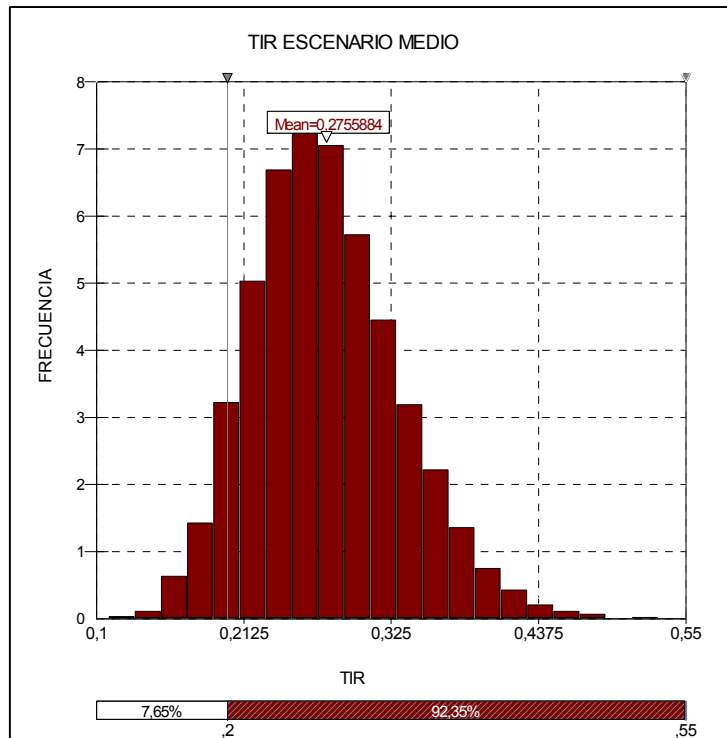
**Tabla 49 Resultados TIR Escenario Alto**

**Figura 88 TIR Escenario Alto**  
Fuente: Elaboración Propia

## ESCENARIO MEDIO

Para la TIR en el escenario medio se encontraron los siguientes resultados:

- ❖ Probabilidad del 90.75% de obtener una TIR mayor al 20%.
- ❖ Probabilidad del 65.4% de obtener una TIR mayor al 25%
- ❖ Probabilidad del 30.56% de obtener una TIR mayor al 30%.
- ❖ Probabilidad del 2.34% de obtener una TIR mayor al 40%.
- ❖ Los valores, mínimo, media, máximo y moda se observan en la tabla 50.
- ❖ Existe una probabilidad del 61.49% que la TIR se encuentre entre el 21% y el 31%.



**Figura 89 TIR Escenario Medio**  
Fuente: Elaboración Propia

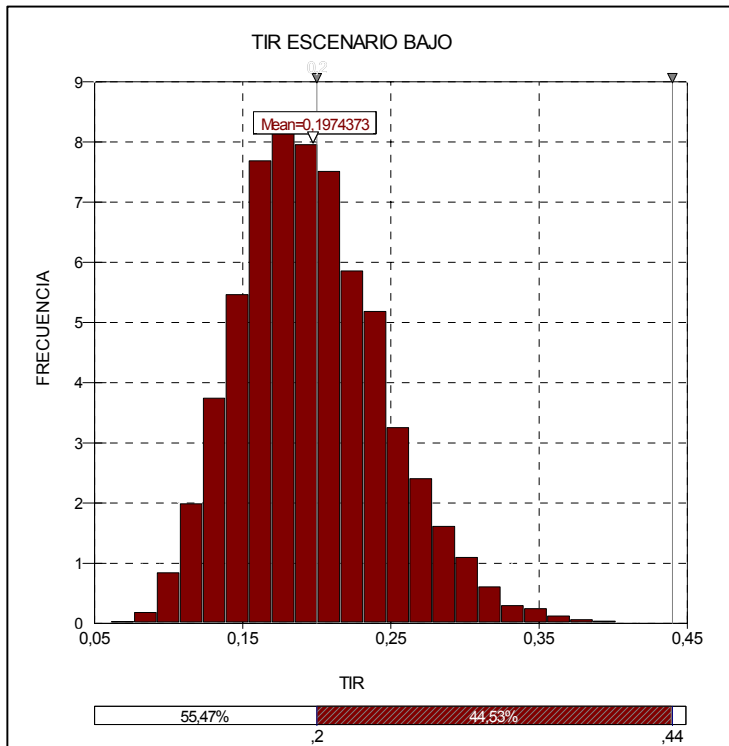
TIR	
Mínimo	11%
Media	28%
Máximo	55%
Moda	20%

**Tabla 50 Resultados TIR Escenario Medio**

## ESCENARIO BAJO

Para la TIR en el escenario bajo se encontraron los siguientes resultados:

- ❖ Probabilidad del 44.53% de obtener una TIR mayor al 20%.
- ❖ Probabilidad del 14.1% de obtener una TIR mayor al 25%
- ❖ Probabilidad del 3.01% de obtener una TIR mayor al 30%.
- ❖ Los valores, mínimo, media, máximo y moda se observan en la tabla 51.
- ❖ Existe una probabilidad del 47.3% que la TIR se encuentre entre el 15.5% y el 21.5%.



TIR	
Mínimo	6%
Media	20%
Máximo	40%
Moda	14%

**Tabla 51 Resultados TIR Escenario Bajo**

**Figura 90 TIR Escenario Bajo**  
Fuente: Elaboración Propia

### 7.2.3. Resultado de simulación con proyecciones de FCL hasta el 2018

Para la simulación con proyecciones hasta la vida útil del kit, tuvimos en cuenta la consulta con el Gerente de Autofrancia el cual respondió que este kit tiene una vida útil de 20 años; sin embargo para nuestro análisis, como lo habíamos mencionado anteriormente decidimos ser más conservadores y darle una vida útil al Kit de 10 años. Por tal razón la simulación se realiza para una proyección hasta el año 2018. Teniendo en cuenta que las proyecciones de precios de Diesel y Gas solo fueron calculadas para 5 años (2013); para el cálculo de los FCL desde el año 2014 al 2018 nos guiamos por la interpretación y análisis de los FCL proyectados hasta el 2013, los cuales se ven reflejados en las figuras 91, 92 y 93 para los escenarios alto medio y bajo respectivamente.



**Figura 91 FCL Escenario Alto**  
Fuente Elaboración Propia



**Figura 92 FCL Escenario Medio**  
Fuente Elaboración Propia

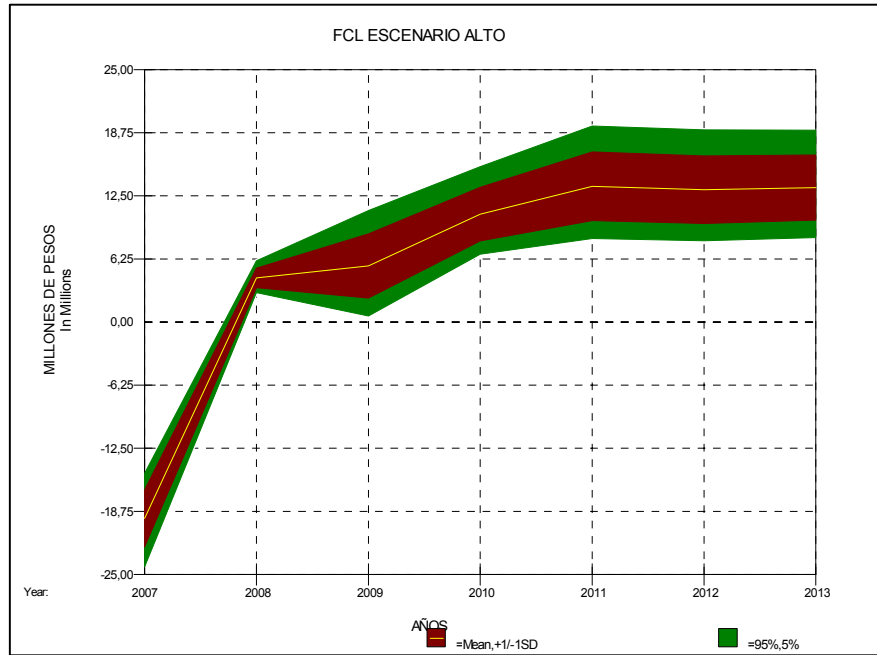


**Figura 93 FCL Escenario Bajo**  
Fuente Elaboración Propia

Como se puede observar en las anteriores graficas, encontramos que a partir del 2011 los flujos de caja en los tres escenarios se estabilizan y comienzan a decrecer paulatinamente en cierto porcentaje (Dicho porcentaje oscila entre el 1% y el 4%). Teniendo en cuenta lo anteriormente mencionado se proyectaron los FCL del 2014 al 2018, y se procedió a realizar la simulación en el software @Risk, para 10000 iteraciones; los resultados arrojados fueron:

✓ **FLUJO DE CAJA LIBRE**

**ESCENARIO ALTO**



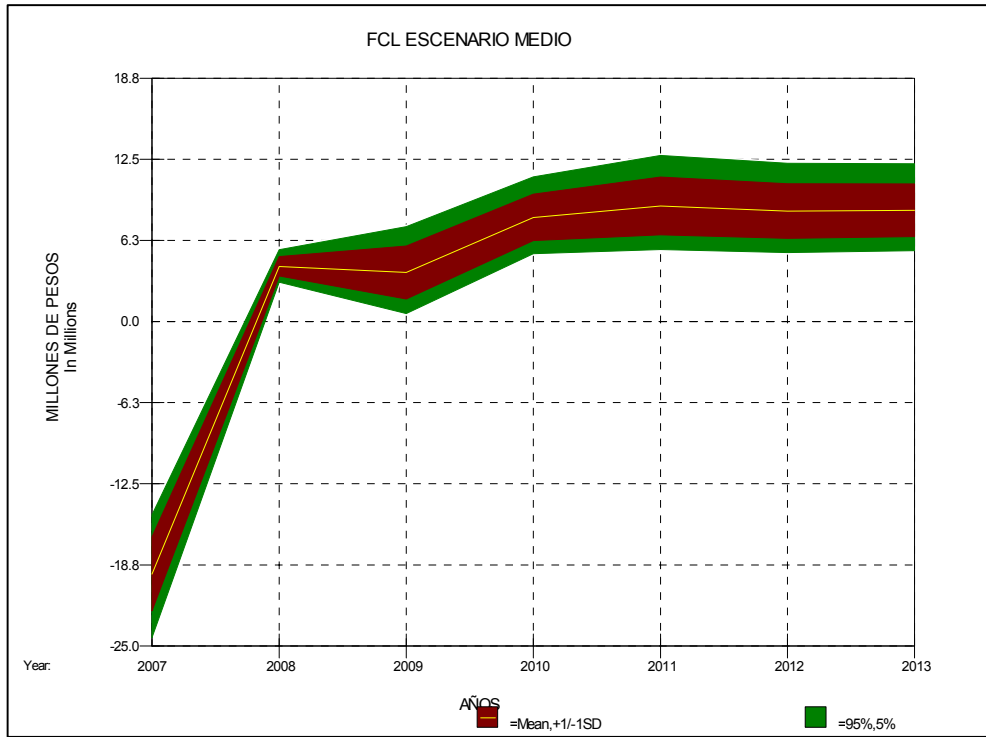
**Figura 94 Flujo de Caja Libre Escenario Alto**  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	MODA
2008	\$ 1.787.871	\$ 4.376.142	\$ 8.530.182	\$ 2.972.850
2009	-\$ 8.372.143	\$ 5.555.944	\$ 18.527.550	\$ 3.043.588
2010	\$ 4.283.027	\$ 10.683.330	\$ 22.800.560	\$ 7.467.284
2011	\$ 4.250.189	\$ 13.438.730	\$ 27.196.850	\$ 10.911.630
2012	\$ 4.684.383	\$ 13.107.790	\$ 27.953.880	\$ 9.897.132
2013	\$ 5.348.287	\$ 13.324.350	\$ 24.780.420	\$ 8.923.584

**Tabla 52 Resultados FCL Escenario Alto**

Como se observa en la tabla 52 el Flujo de Caja Libre en el Escenario Alto puede presentar valores negativos en el año 2009, sin embargo la probabilidad es del 3.29%. Por otra parte puede presentar valores positivos en todos los años entre 2008-2013, presentando los mayores flujos entre el 2011 y 2013 con probabilidad del 100%.

## ESCENARIO MEDIO



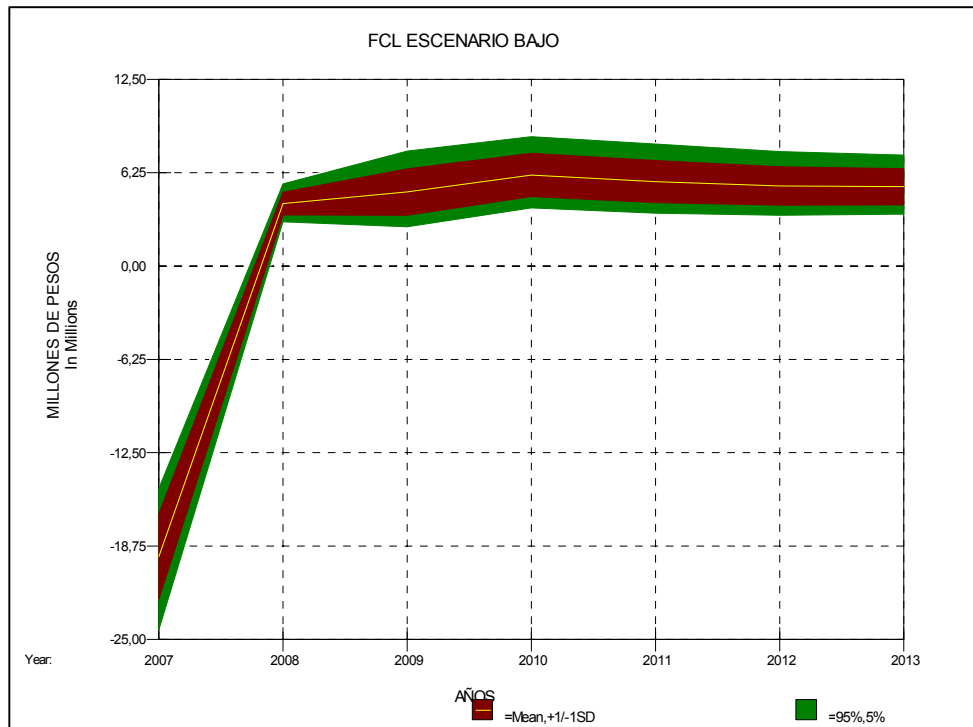
**Figura 95 Flujo de Caja Libre Escenario Medio**  
Fuente: Elaboración Propia

AÑO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	MODA
2008	\$ 2.188.473	\$ 4.249.362	\$ 6.762.861	\$ 3.459.247
2009	-\$ 3.495.736	\$ 3.784.453	\$ 12.173.040	\$ 3.952.749
2010	\$ 3.144.660	\$ 8.019.743	\$ 14.439.510	\$ 9.484.317
2011	\$ 3.157.509	\$ 8.905.068	\$ 18.441.350	\$ 6.399.934
2012	\$ 2.962.208	\$ 8.513.517	\$ 16.853.950	\$ 7.611.831
2013	\$ 3.389.846	\$ 8.567.438	\$ 15.776.930	\$ 7.204.429

**Tabla 53 Resultados FCL Escenario Medio**

El Flujo de Caja Libre en el Escenario Medio puede presentar valores negativos en el año 2009, sin embargo la probabilidad de que esto suceda es de un 2.35%. Por otra parte puede presentar valores positivos en todos los años entre 2008-2013, presentando los mayores flujos entre el 2010 y 2013 con probabilidad del 100%.

## ESCENARIO BAJO



**Figura 96 Flujo de Caja Libre Escenario Bajo**

Fuente: Elaboración Propia

AÑO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	MODA
2008	\$ 2.110.791	\$ 4.183.398	\$ 6.937.018	\$ 3.258.151
2009	-\$ 174.896	\$ 3.784.453	\$ 12.173.040	\$ 3.952.749
2010	\$ 2.025.779	\$ 6.096.958	\$ 11.665.240	\$ 4.149.575
2011	\$ 1.938.022	\$ 5.649.764	\$ 11.556.660	\$ 2.978.741
2012	\$ 2.180.639	\$ 5.359.858	\$ 10.380.130	\$ 3.895.635
2013	\$ 2.028.105	\$ 5.306.804	\$ 9.928.801	\$ 4.458.441

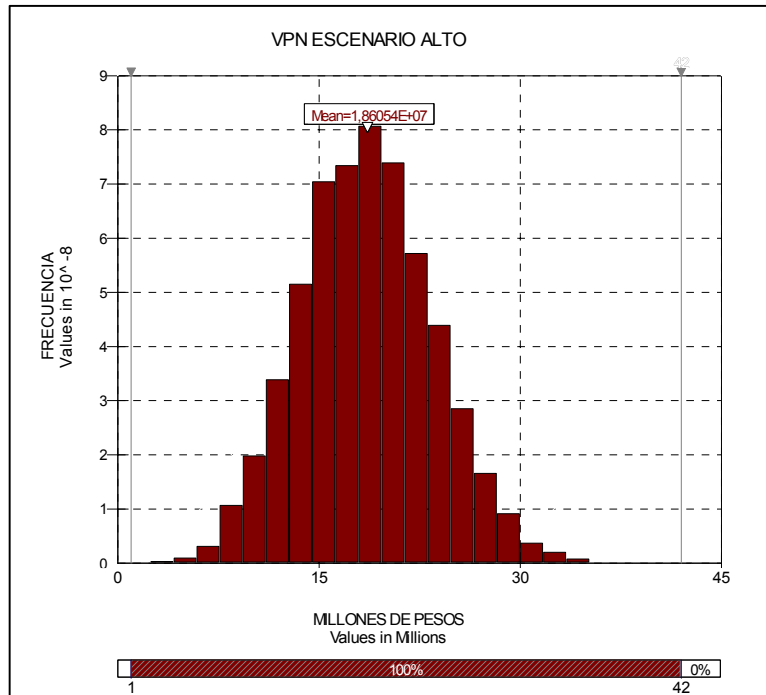
**Tabla 54 Resultados FCL Escenario Bajo**

Para el Escenario Bajo el Flujo de Caja Libre según los resultados de la simulación, presenta valores negativos en el 2009, sin embargo la probabilidad de que esto suceda es de un 0.01%. Por otra parte puede presentar valores positivos en todos los años entre 2008-2013, presentando los mayores flujos entre 2010 y 2013.

✓ VALOR PRESENTE NETO

**ESCENARIO ALTO**

Para el escenario alto existe una probabilidad del 100% que el valor presente neto sea mayor que cero. El valor mínimo, media, máximo y moda se ven reflejados en la tabla 55. Así mismo existe la probabilidad del 52.07% que el VPN se encuentre entre 14.500.000 y 21.500.000.



VPN	
Mínimo	\$ 2.466.663
Media	\$ 18.605.400
Máximo	\$ 40.355.470
Moda	\$ 21.537.180

**Tabla 55 Resultados VPN Escenario Alto**

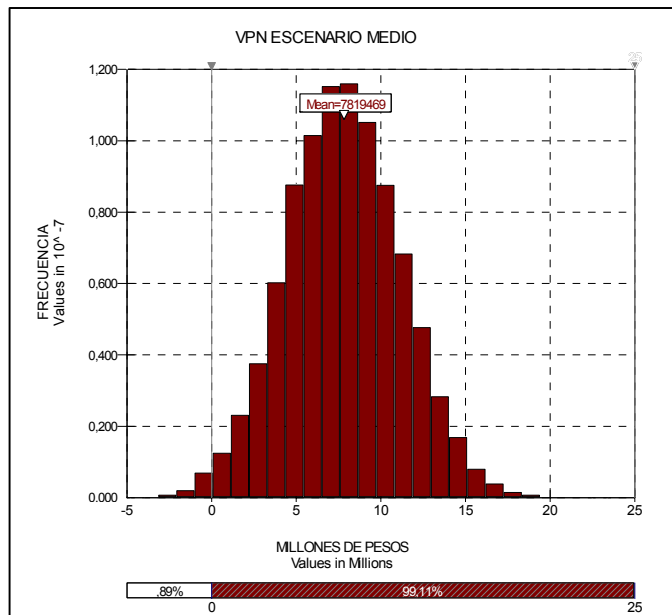
**Figura 97 VPN Escenario Alto**  
Fuente: Elaboración Propia

**ESCENARIO MEDIO**

Para el escenario medio existe una probabilidad del 99.11% que el valor presente neto sea mayor que cero. El valor mínimo, media, máximo y moda se ven reflejados en la tabla 56. Así mismo existe la probabilidad del 43.79% que el VPN se encuentre entre 5.500.000 y 9.500.000.

VPN	
Mínimo	-\$ 3.133.105
Media	\$ 7.819.469
Máximo	\$ 20.499.410
Moda	\$ 4.562.043

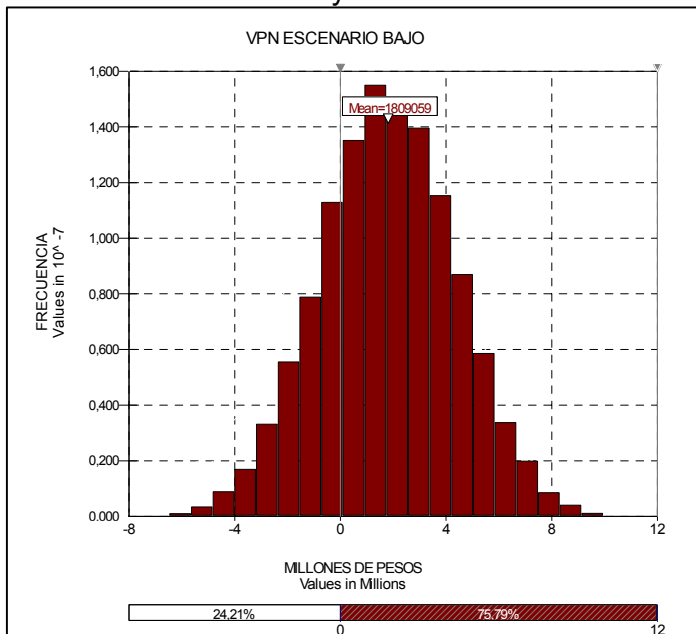
**Tabla 56 Resultados VPN Escenario Medio**



**Figura 98 VPN Escenario Medio**  
Fuente: Elaboración Propia

### ESCENARIO BAJO

Para el escenario bajo existe una probabilidad del 75.79% que el valor presente neto sea mayor que cero. El valor mínimo, media, máximo y moda se ven reflejados en la tabla 57. Así mismo existe la probabilidad del 50.15% que el VPN se encuentre entre 0 y 3.500.000.



**Figura 99 VPN Escenario Bajo**  
Fuente: Elaboración Propia

VPN	
Mínimo	-\$ 6.458.922
Media	\$ 1.809.059
Máximo	\$ 11.607.490
Moda	\$ 1.326.103

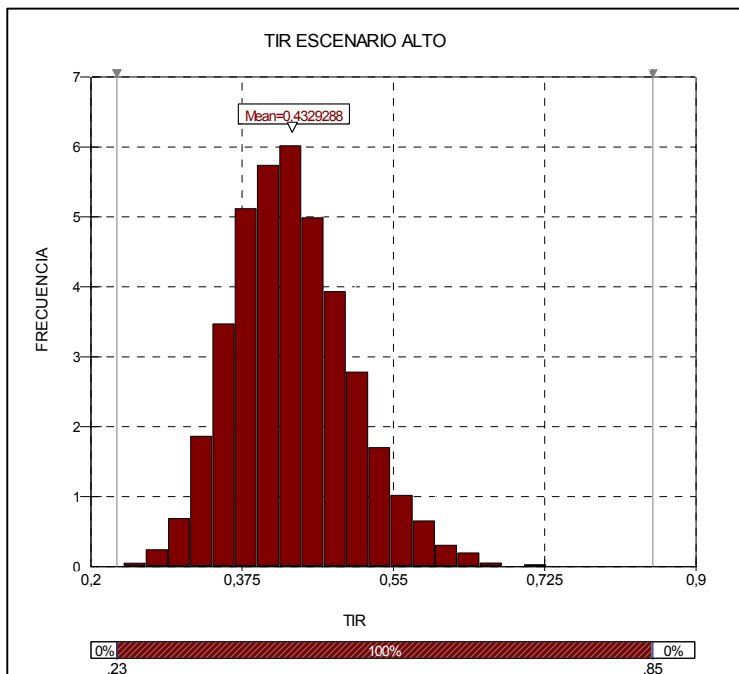
**Tabla 57 Resultados VPN Escenario Bajo**

✓ TIR

### ESCENARIO ALTO

Para la TIR en el escenario alto se encontraron los siguientes resultados:

- ❖ Probabilidad del 100% de obtener una TIR mayor al 20%.
- ❖ Probabilidad del 99.98% de obtener una TIR mayor al 25%
- ❖ Probabilidad del 98.69% de obtener una TIR mayor al 30%.
- ❖ Probabilidad del 66.61% de obtener una TIR mayor al 40%.
- ❖ Los valores, mínimo, media, máximo y moda se observan en la tabla 58.
- ❖ Existe una probabilidad del 55.11% que la TIR se encuentre entre el 37% y el 47%.



TIR	
Mínimo	24%
Media	43%
Máximo	80%
Moda	31%

Tabla 58 Resultados TIR Escenario Alto

Figura 100 TIR Escenario Alto

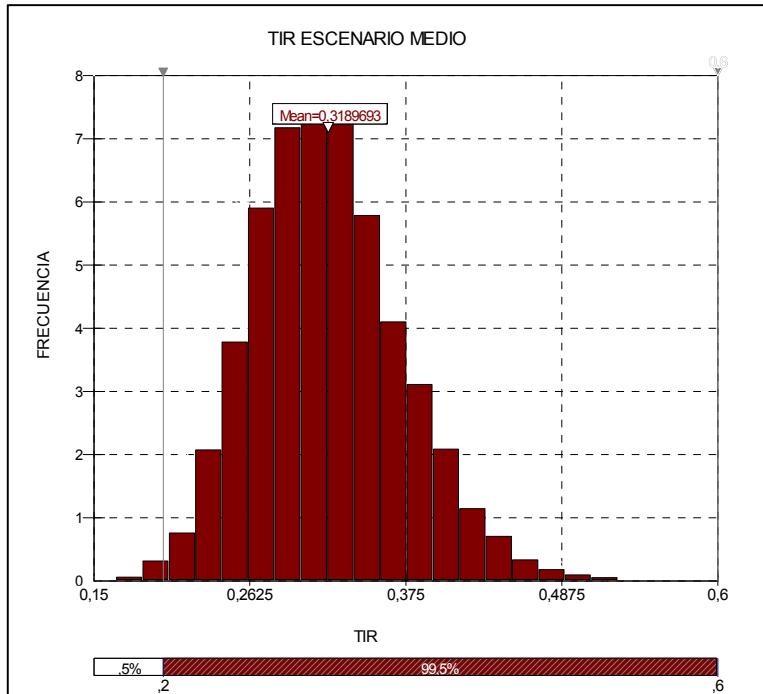
Fuente: Elaboración Propia

### ESCENARIO MEDIO

Para la TIR en el escenario medio se encontraron los siguientes resultados:

- ❖ Probabilidad del 99.5% de obtener una TIR mayor al 20%.
- ❖ Probabilidad del 91.4% de obtener una TIR mayor al 25%
- ❖ Probabilidad del 61.55% de obtener una TIR mayor al 30%.
- ❖ Probabilidad del 7.41% de obtener una TIR mayor al 40%.
- ❖ Los valores, mínimo, media, máximo y moda se observan en la tabla 59.

- ❖ Existe una probabilidad del 64.01% que la TIR se encuentre entre el 26% y el 35.5%.



TIR	
Mínimo	17%
Media	32%
Máximo	59%
Moda	28%

**Tabla 59 Resultados TIR Escenario Medio**

**Figura 101 TIR Escenario Medio**

Fuente: Elaboración Propia

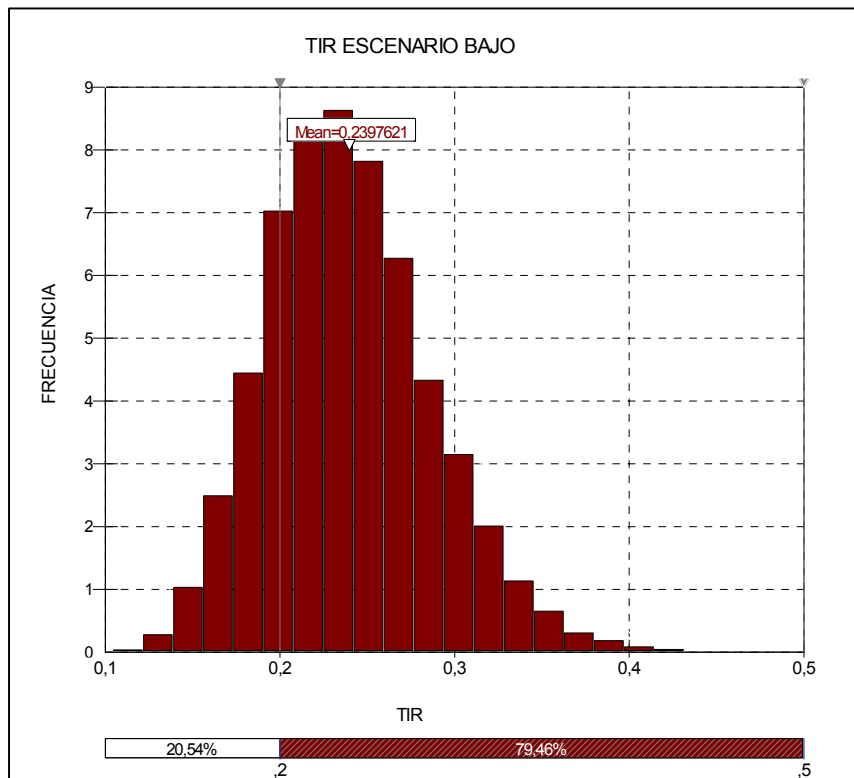
## ESCENARIO BAJO

Para la TIR en el escenario bajo se encontraron los siguientes resultados:

- ❖ Probabilidad del 79.46% de obtener una TIR mayor al 20%.
- ❖ Probabilidad del 38.79% de obtener una TIR mayor al 25%
- ❖ Probabilidad del 10.95% de obtener una TIR mayor al 30%.
- ❖ Los valores, mínimo, media, máximo y moda se observan en la tabla 60.
- ❖ Existe una probabilidad del 64.75% que la TIR se encuentre entre el 19% y el 27.5%.

TIR	
Mínimo	10%
Media	24%
Máximo	48%
Moda	18%

**Tabla 60 Resultados TIR Escenario Bajo**



**Figura 102 TIR Escenario Bajo**

Fuente: Elaboración Propia

Una vez observados y analizados los resultados de la simulación para los tres escenarios planteados, se concluye que desde la perspectiva financiera el proyecto es factible, debido a que en las tres simulaciones, es decir con valor de salvamento, con proyecciones hasta el 2018 y con proyecciones hasta el 2013; los escenarios medio y alto siempre presentan valores favorables a él transportador. Sin embargo en la simulación del escenario bajo para proyecciones hasta el 2013 sin valor de salvamento el VPN es inferior a cero.

Hay que tener en cuenta que al cabo de los cinco años el transportador no da por perdido el kit pues su vida útil para el presente estudio se dejó en 10 años, lo que obligaría al transportador a tomar una decisión una vez cumplido el periodo de 5 años, vender el vehículo o seguir utilizándolo hasta su vida útil (2018). De tomar cualquiera de las dos alternativas los resultados serían favorables debido a:

- La probabilidad que el VPN sea mayor que cero en el peor de los casos está marcada por el escenario bajo en el supuesto que el transportador vendiera el vehículo al cabo de los 5 años con probabilidad de un 39,89%; y en el mejor de los casos está dada en el escenario alto en el

supuesto que el transportador utilizara el vehículo hasta su vida útil con probabilidad de obtener un VPN mayor a cero de un 75.97%.

- La probabilidad de que la Tasa Interna de Retorno sea mayor que el WACC, 20.55%; en el peor de los casos está marcado por la decisión de vender el vehículo finalizado el periodo de cinco años y es del 44.53%.
- El período de recuperación se encuentra entre 2 años y 6 años, con una moda y media de 3 años; teniendo en cuenta que el primer año solo existen valores para los meses de septiembre a diciembre, se puede decir que el periodo de recuperación es menor a 3 años en promedio.

#### 7.2.4. Simulación con distribuciones de probabilidad del rango total de precios

Existe la probabilidad que en el periodo de análisis los precios no se mantengan en un solo escenario; por el contrario estos podrían pasar de un escenario a otro; razón por la cual se decide fluctuar los precios entre los diferentes escenarios. Para llevar a cabo este análisis, se tomaron las proyecciones realizadas para el diesel y la gasolina en los diferentes percentiles y se procedió a identificar el tipo de distribución que mejor se ajustara a dichos datos, para ello fue necesaria la utilización del software BestFit. Los resultados y parámetros se muestran en las tablas 61 y 62 tanto para el Diesel como para el Gas respectivamente.

AÑO	DIESEL		
	Distribución	Parámetros	
2008	Log Normal	Mean = 3.0491	Std. Dev = 0.408
2009	Log Normal	Mean = 2.7295	Std. Dev = 0.782
2010	Log Normal	Mean = 2.4431	Std. Dev = 0.874
2011	Log Normal	Mean = 2.2944	Std. Dev = 0.849
2012	Log Normal	Mean = 2.2241	Std. Dev = 0.843
2013	Log Normal	Mean = 2.2241	Std. Dev = 0.843

Tabla 61 Parámetros para la distribución de probabilidad del precio del Diesel

AÑO	GAS		
	Distribución	Parámetros	
2008	Log Normal	Mean = 2.8707	Std. Dev = 0.466
2009	Log Normal	Mean = 2.4261	Std. Dev = 0.758
2010	Log Normal	Mean = 2.155	Std. Dev = 0.763
2011	Log Normal	Mean = 2.0711	Std. Dev = 0.753
2012	Log Normal	Mean = 2.0252	Std. Dev = 0.742
2013	Log Normal	Mean = 2.005	Std. Dev = 0.726

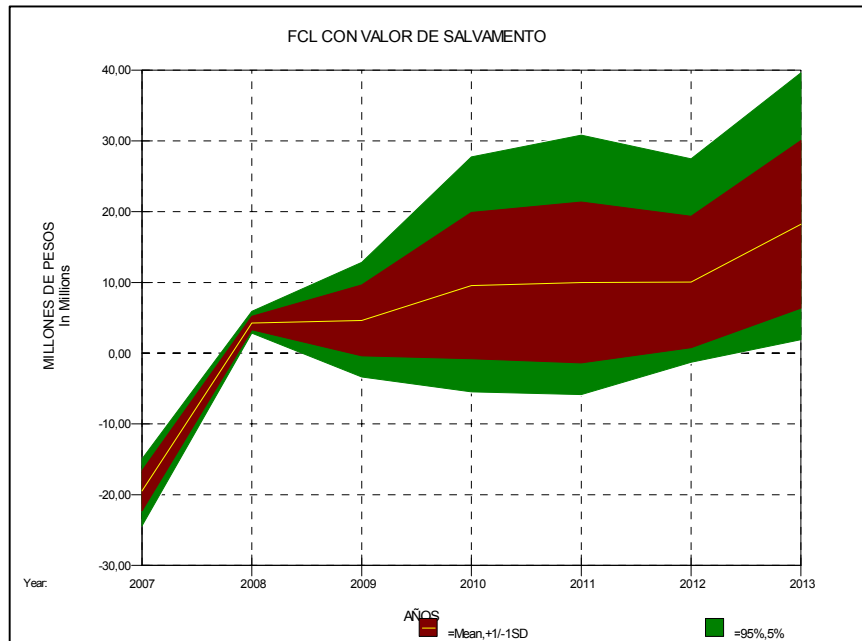
**Tabla 62 Parámetros para la distribución de probabilidad del precio del Gas**

Hay que tener en cuenta que los parámetros están dados en dólares, luego los resultados de los precios del diesel y gas son arrojados en dólares y posteriormente se le realiza el tratamiento para el cálculo de precio de venta al consumidor según la resolución expedida por el ministerio de hacienda presentado previamente en el numeral 4.1 de este documento. Hay que tener en cuenta que para el cálculo del precio de venta al consumidor se tiene en cuenta la tasa de cambio Dólar – Peso, la cual está representada por una distribución de probabilidad cuyos parámetros se mencionaron en la tabla 18. Los resultados de la simulación se muestran a continuación.

#### **7.2.5. Resultado de simulación con valor de salvamento de Kit de conversión.**

Para este análisis se consideró los mismos parámetros presentados en el numeral 7.2.2 del presente texto, con los siguientes ajustes: el valor de salvamento, para el presente análisis esta dado por una distribución de probabilidad con los siguientes parámetros: un valor máximo representado por el 50% de la inversión inicial lo cual nos da un valor de \$ 9.726.470, un valor más probable para el cual se consideró un 40% del valor inicial de la inversión es decir, \$7.781.176 y un mínimo dado por un porcentaje del 30% respecto a la inversión inicial, considerando un valor de salvamento de \$5.835.882. Una vez realizada la simulación en el software @Risk, para 10000 iteraciones los resultados arrojados fueron:

✓ **FLUJO DE CAJA LIBRE**



**Figura 103 FCL con valor de salvamento**  
Elaboración Propia

AÑO	MÍNIMO	MEDIA	MÁXIMO	MODA
2008	\$ 1.116.135	\$ 4.256.908	\$ 9.480.682	\$ 3.546.589
2009	-\$ 22.356.470	\$ 4.626.015	\$ 28.686.840	\$ 3.860.625
2010	-\$ 51.222.680	\$ 9.549.986	\$ 73.849.220	\$ 8.844.540
2011	-\$ 39.477.310	\$ 9.996.701	\$ 82.424.740	\$ 7.451.535
2012	-\$ 11.190.500	\$ 10.055.960	\$ 93.745.400	\$ 24.564.900
2013	-\$ 27.629.080	\$ 18.212.610	\$ 119.956.400	\$ 13.547.950

**Tabla 63 FCL con valor de salvamento**

Como se observa en la tabla 63 el Flujo de Caja Libre puede presentar valores negativos en todos los años, excepto el 2008, sin embargo la mayor probabilidad se presenta en los años 2010, 2011 y 2013 con probabilidades de 14.71%, 15.93% y 3.41% respectivamente. Por otra parte puede presentar valores positivos en todos los años entre 2008-2013, presentando las probabilidades más altas en el 2009, 2010, 2011, 2012 y 2013 con 85.18%, 85.29%, 84.07%, 91.15 y 96.59% respectivamente.

✓ VALOR PRESENTE NETO

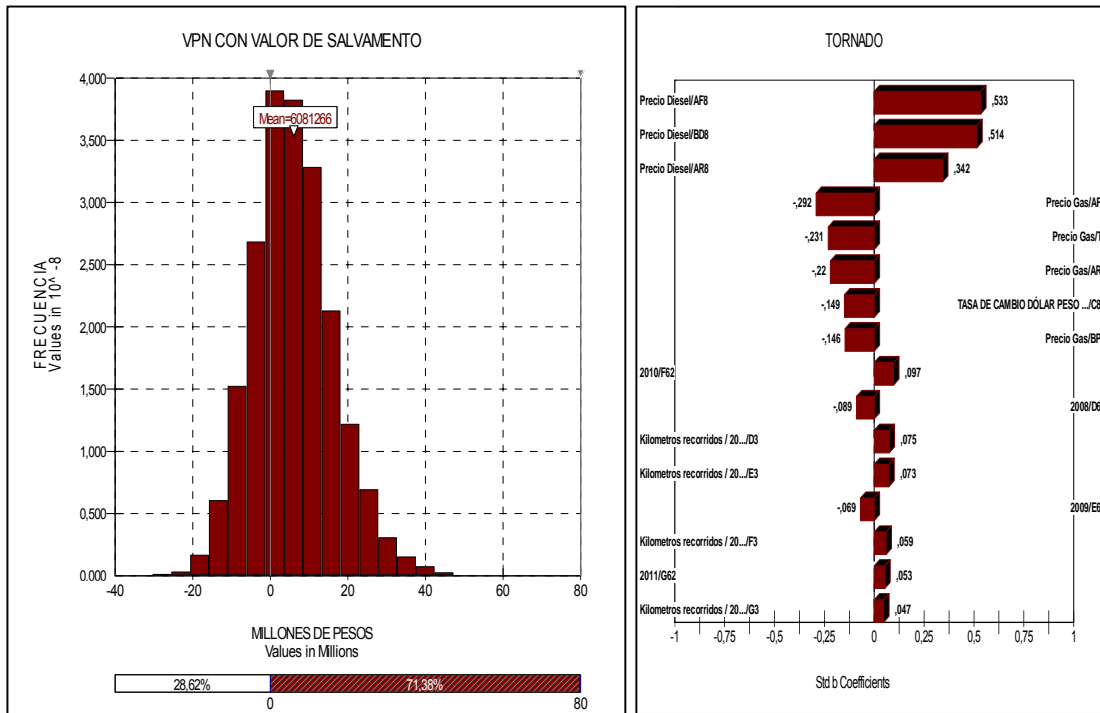


Tabla 64 Resultados VPN con valor de salvamento

VPN	
Mínimo	-\$ 39.940.320
Media	\$ 6.081.266
Máximo	\$ 66.727.940
Moda	\$ 8.956.363

Figura 104: VPN con valor de salvamento  
Elaboración Propia

Existe una probabilidad del 71.38% que el valor presente neto sea mayor que cero. El valor mínimo, media, máximo y moda se ven reflejados en la tabla 64.

✓ TIR

Para la TIR se encontraron los siguientes resultados:

- ❖ Probabilidad del 74.1% de obtener una TIR mayor al 20%.
- ❖ Probabilidad del 63.5% de obtener una TIR mayor al 25%
- ❖ Probabilidad del 52.71% de obtener una TIR mayor al 30%.
- ❖ Probabilidad del 30.38% de obtener una TIR mayor al 40%.

- ❖ Los valores, mínimo, media, máximo y moda se observan en la tabla 65.
- ❖ Existe una probabilidad del 53.13% que la TIR se encuentre entre el 20% y el 45%.

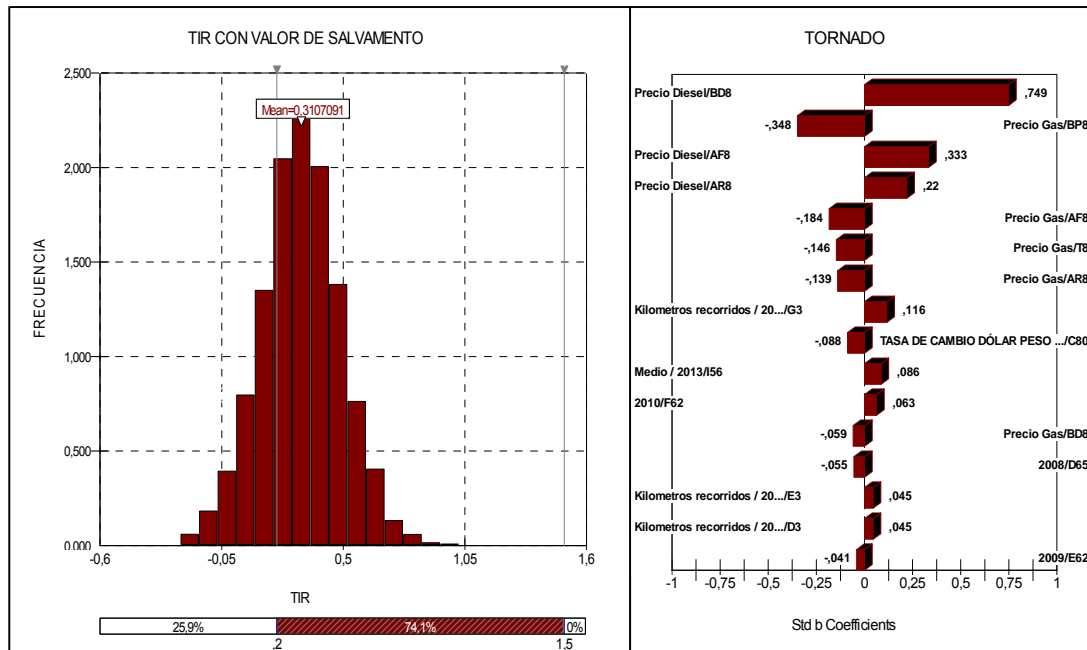


Figura 105 TIR con valor de salvamento

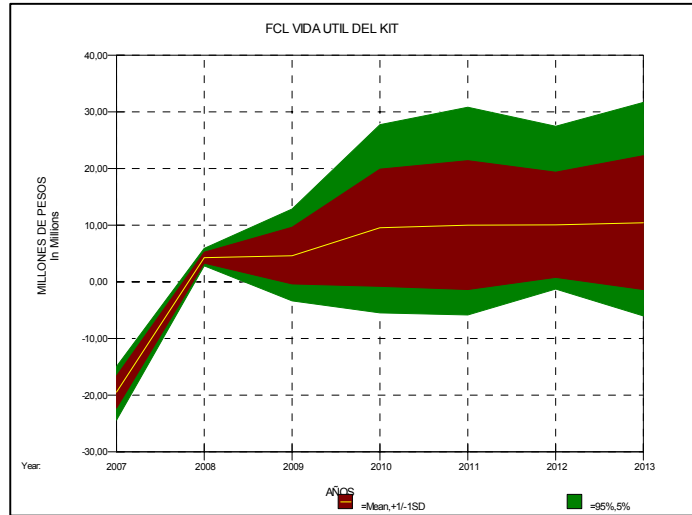
TIR	
Mínimo	-40%
Media	31%
Máximo	144%
Moda	46%

Tabla 65 Resultados TIR con valor de salvamento

### 7.2.6. Resultado de simulación con proyecciones de FCL hasta el 2018

Para este análisis se tuvo en cuenta los mismos parámetros presentados en el numeral 7.2.3 sobre la vida útil del kit y las proyecciones de los FCL del 2014 al 2018. Teniendo en cuenta lo anterior, se procedió a realizar la simulación en el software @Risk, para 10000 iteraciones; los resultados arrojados fueron:

✓ **FLUJO DE CAJA LIBRE**



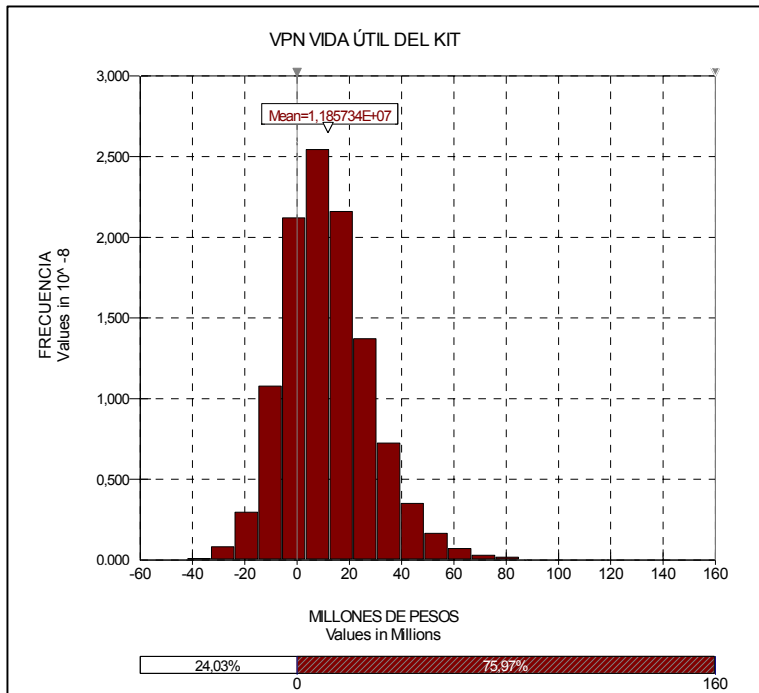
**Figura 106 FCL vida útil del kit**

<b>AÑO</b>	<b>MÍNIMO</b>	<b>MEDIA</b>	<b>MÁXIMO</b>	<b>MODA</b>
2008	\$ 1.116.135	\$ 4.256.908	\$ 9.480.682	\$ 3.546.589
2009	-\$ 22.356.470	\$ 4.626.015	\$ 28.686.840	\$ 3.860.625
2010	-\$ 51.222.680	\$ 9.549.986	\$ 73.849.220	\$ 8.844.540
2011	-\$ 39.477.310	\$ 9.996.701	\$ 82.424.740	\$ 7.451.535
2012	-\$ 11.190.500	\$ 10.055.960	\$ 93.745.400	\$ 24.564.900
2013	-\$ 36.511.450	\$ 10.431.440	\$ 112.112.200	\$ 9.370.734

**Tabla 66 Resultados FCL vida útil del kit de conversión**

Como se observa en la tabla 63 el Flujo de Caja Libre puede presentar valores negativos en todos los años, excepto el 2008, sin embargo la mayor probabilidad se presenta en los años 2010, 2011 y 2013 con probabilidades de 14.71%, 15.93% y 15.73% respectivamente. Por otra parte puede presentar valores positivos en todos los años entre 2008-2013, presentando las probabilidades más altas en el 2009, 2010, 2011, 2012 y 2013 con 85.18%, 85.29%, 84.07%, 91.15 y 84.27% respectivamente.

✓ VALOR PRESENTE NETO



VPN	
Mínimo	-\$ 50.882.320
Media	\$ 11.857.340
Máximo	\$ 148.520.200
Moda	\$ 11.080.540

Tabla 67 Resultado VPN vida útil kit

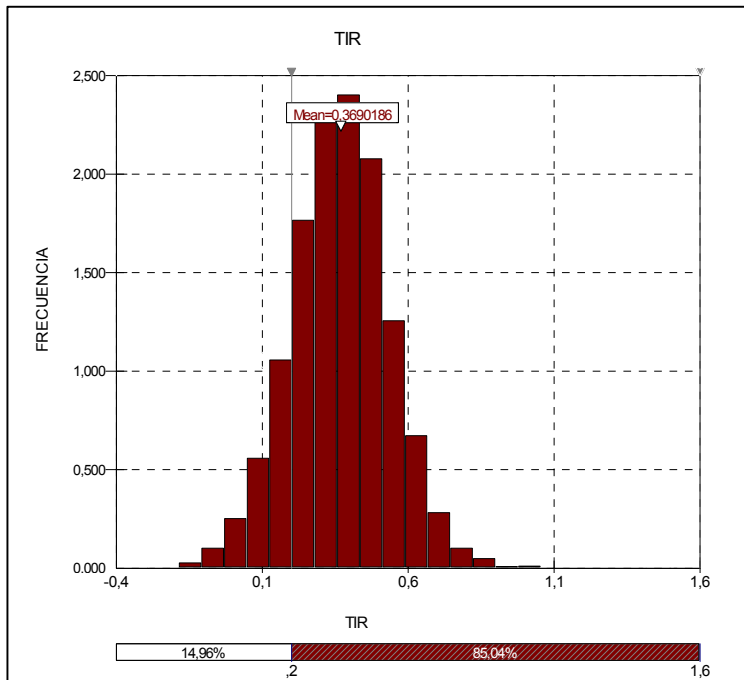
Figura 107 VPN vida útil del kit

Existe una probabilidad del 75.97% que el valor presente neto sea mayor que cero. El valor mínimo, media, máximo y moda se ven reflejados en la tabla 67.

✓ TIR

Para la TIR se encontraron los siguientes resultados:

- ❖ Probabilidad del 85.04% de obtener una TIR mayor al 20%.
- ❖ Probabilidad del 76.79% de obtener una TIR mayor al 25%
- ❖ Probabilidad del 66.71% de obtener una TIR mayor al 30%.
- ❖ Probabilidad del 42.73% de obtener una TIR mayor al 40%.
- ❖ Los valores, mínimo, media, máximo y moda se observan en la tabla 68.
- ❖ Existe una probabilidad del 64.47% que la TIR se encuentre entre el 20% y el 50%.



TIR	
Mínimo	-26%
Media	37%
Máximo	144%
Moda	35%

**Tabla 68 Resultados TIR vida útil del kit**

**Figura 108 TIR vida útil del kit**

Una vez realizada la anterior simulación donde se maneja precios y valor de salvamento con distribuciones de probabilidad, con el fin de ajustar el análisis en un escenario fluctuante de precios lo cual se asemeja más a la realidad, el proyecto de invertir en el kit de conversión se presenta factible dado que:

- La probabilidad que el VPN sea mayor que cero en el caso menos favorable está dada por el supuesto que el transportador vendiera el vehículo al cabo de los 5 años con probabilidad de un 71.38%; y en el mejor de los casos se presenta, si el transportador utiliza el vehículo hasta su vida útil con probabilidad de obtener un VPN mayor a cero de un 75.97%.
- La probabilidad de que la Tasa Interna de Retorno sea mayor que el WACC (20.55%) en el peor de los casos está marcado por la decisión de vender el vehículo finalizado el periodo de cinco años y es del 74.1%.

## 8. CONCLUSIONES

- Teniendo en cuenta las proyecciones de commodities a través del Modelo Browniano Geométrico Simple con Reversión a la Media y la comparación de las mismas con la percepción del mercado Nymex y el sistema indicador de predicciones Cambridge Energy Research Associates (CERA) utilizado por ECOPETROL S.A, podemos observar y comprobar que dicho modelo presenta un alto grado de confiabilidad, pues la similitud entre las proyecciones es alta; sin embargo hay que tener en cuenta que las proyecciones realizadas en este estudio solo están sujetas a el modelo matemático de reversión a la media y al periodo histórico tomado para la simulación; es decir no se tiene en cuenta factores geopolíticos que bien pudiera afectar el precio de los combustibles en un futuro y que podría ser la diferencia que se observa entre los resultados del modelo y las predicciones de CERA.
- En el análisis financiero se observa que las variables con mayor influencia en los flujos de caja libre, son los precios de los combustibles, el kilometraje anual promedio recorrido y la tasa de cambio; esta ultima afectando el costo de la inversión y el precio de los combustibles. Es decir, el estudio refleja evidencia para afirmar que la conversión de vehículos diesel a gas, es factible para carros cuyo kilometraje promedio anual este alrededor de los 80.000 km tal cual como ocurre con los vehículos de carga NPR Chevrolet. Así, el mercado para la conversión en Bucaramanga estaría dado por los vehículos de transporte público de pasajeros (buses, busetas y taxis), el transporte de carga, y todo vehículo particular cuyo kilometraje promedio anual este alrededor de lo mencionado anteriormente.
- Los resultados obtenidos para los tres escenarios en la simulación financiera en el presente estudio demuestran una clara factibilidad de la inversión para el transportador de presentarse un comportamiento en los combustibles en los escenarios medio y alto; sin embargo en el escenario bajo se obtendrían valores positivos en el valor presente neto, una vez al cabo de los cinco años el transportador venda el vehículo, o lo utilice por un periodo superior a los 5 años.
- Tras el estudio realizado se evidencia como mejor alternativa para el transportador la utilización del kit de conversión por un periodo de 10 años, asumiendo un comportamiento en los precios con distribuciones de probabilidad durante el periodo de análisis, pues los resultados en el peor de los casos estaría dado por la decisión del transportador de vender el vehículo dando como resultado una probabilidad de un 71.38% de

probabilidad que el VPN sea mayor a cero y un 74.1% de obtener una TIR superior al 20%.

- En general se puede observar que la conversión en estos momentos es una alternativa viable para los transportadores con el fin de mitigar una posible alza por la eliminación de subsidios por parte del gobierno, al igual que las generadas por la exigencia de estándares internacionales medioambientales para la reducción de partículas emitidas por diesel a la atmosfera lo que genera un mayor costo de producción y por ende un mayor precio de venta al público.

Como recomendaciones del presente estudio surge:

- Ajustar el modelo de reversión a la media con el fin de incluir en las proyecciones factores geopolíticos que permitan reducir la incertidumbre de las mismas, y así obtener proyecciones no solamente dependientes de un modelo matemático si no a factores socioeconómicos.
- Proponer al gobierno la vinculación al proceso de conversión con el fin de reducir costos de conversión e incentivar a los transportadores que lo realicen. Cabe aclarar que de masificarse la conversión el gobierno se vería beneficiado en el ahorro por subsidios de combustibles y de inversión para la lucha por la disminución de agentes contaminantes.
- Proponer a ECOPETROL S.A. y a las empresas de GAS el aumento de estaciones de servicio de gas para vehículos tanto en la ciudad de Bucaramanga, como en el resto del territorio nacional (ciudades y carreteras) con el fin de facilitar el suministro a los transportadores e incentivar el cambio.
- Ampliar el análisis financiero desde un punto de vista medioambiental con el fin de estimar los costos ahorrados una vez se produce la conversión diesel a gas, teniendo en cuenta la lucha que existe actualmente por la disminución de partículas contaminantes a la atmosfera y la preservación del planeta.

## 9. REFERENCIAS Y BIBLIOGRAFÍA

- Hull, John C (2002) Introducción a los mercados de futuros y opciones. Cuarta edición. Prentice Hall. Pearson Educación S.A.
- Dafas, Panagiotis (2004) A. Estimating the parameters of a mean-reverting Markov-switching jump-diffusion model for crude oil spot prices
- *Ministerio de Minas y Energía. República de Colombia. PRECIOS COMBUSTIBLES*  
<http://www.minminas.gov.co/minminas/prensa.nsf/>
- Naciones Unidas “Protocolo de Kyoto de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático, 1998
- Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. Sistema de Información Ambiental “Informe Anual Calidad del Aire”  
[www.ideam.gov.co/infoanual/PDFSeccionados/CalidadDelAireCapitulo3.pdf](http://www.ideam.gov.co/infoanual/PDFSeccionados/CalidadDelAireCapitulo3.pdf)
- ARPEL. Asociación Regional de petróleo y gas Evolución y transformación, “Consejo mundial del Petróleo Reuniones del Consejo 2007”  
<http://portal.arpel.org/docs/newweb/varios/garcia/PDEESP.pdf>
- *ECOPETROL S.A. “Cartas Petroleras”*  
<http://www.ecopetrol.com.co/contenido.aspx?catID=153&conID=39168>
- *ECOPETROL S.A. “Informe Anual 2007”*  
[http://www.ecopetrol.com.co/Informe\\_Anual/inicio.htm](http://www.ecopetrol.com.co/Informe_Anual/inicio.htm)
- Ministro de Minas y Energía “**RESOLUCION 8 2439 DE DICIEMBRE 23 DE 1998**”  
<http://www.minminas.gov.co/minminas/pagesweb.nsf?opendatabase>
- R.G Papagiannakis, D.T. Hountalas 2004 Combustion and exhaust emission characteristics of a dual fuel compression ignition engine operated with pilos Diesel fuel and natural gas.
- Brodrick, C.J., Lipman, T.E., Farshchi, M., Lutsey, N.P., Dwyer, H.A., Sperling, D., Gouse III, S.W., Harris, D.B., King Jr, F.G., 2002. Evaluation of fuel cell auxiliary power units for heavy-duty diesel trucks. Transportation Research Part D 7 (4), 303–315.

- Bastos M.,Guilherme Panorama que ofrece la utilización de gas natural en vehículos pesados en Brasil Recuperado el 18 de mayo de 2007 de <http://biblioteca.iapg.org.ar/iapg/ArchivosAdjuntos/Petrotecnia/2004-4/Trabajos.pdf>
- Gas Natural Comprimido Vehicular GNCV, Preconversión de Vehículos. ECOPETROL S.A., SENA, Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas.
- Gas Natural Comprimido Vehicular GNCV, Conversión y Postconversión. ECOPETROL S.A., SENA, Centro de Desarrollo Tecnológico del Gas.
- Entrevista Benjamín Quintero Tarazona Gerente Grupo DINA
- Entrevista Camilo Marulanda Vicepresidente de Suministro y Mercadeo ECOPETROL S.A.
- Entrevista Claudia Castellanos Gerente Gas ECOPETROL S.A.
- Entrevista Claudia Trujillo. Coordinadora GNV ECOPETROL S.A.
- Entrevista Wilson Zapata. ECOPETROL S.A.
- Entrevista María del Rosario Rubio, Departamento de Mercadeo ECOPETROL S.A.
- Entrevista con el Gerente de Autofrancia LTDA Medellín
- Ministerio de Minas y Energía  
[www.minminas.gov.co](http://www.minminas.gov.co)
- Ministerio de Hacienda  
[www.minhacienda.gov.co](http://www.minhacienda.gov.co)
- Banco de la República de Colombia  
[www.banrep.gov.co](http://www.banrep.gov.co)
- Banco Central Europeo

- [www.ecb.int/ecb/html/index.es.html](http://www.ecb.int/ecb/html/index.es.html)
- NGV Motori  
[www.ngvmotori.it/SPA\\_HTML/bus\\_SPA.htm](http://www.ngvmotori.it/SPA_HTML/bus_SPA.htm)
  - Portafolio  
[www.portafolio.com.co](http://www.portafolio.com.co)
  - Gas Vehicular  
[www.gasvehicular.com](http://www.gasvehicular.com)
  - Suragas S.A.  
[www.suragas.com](http://www.suragas.com)
  - Promigas S.A.  
[www.promigas.com](http://www.promigas.com)
  - ECOPETROL S.A.  
[www.ecopetrol.com.co](http://www.ecopetrol.com.co)
  - Agencia Internacional de Energía (IEA)  
[www.iea.org](http://www.iea.org)
  - Asociación Americana de Gas  
[www.aga.org](http://www.aga.org)
  - Asociación Internacional de Gas Vehicular (IANGV)  
[www.iangv.org](http://www.iangv.org)