

UNA ESTRATEGIA DE INVERSIÓN Y COBERTURA MEDIANTE LA COMBINACIÓN DE NOTAS ESTRUCTURADAS

Isabel Patricia Aguilar-Juárez*
Francisco Venegas-Martínez**

(Recibido: agosto 2014/Aceptado: diciembre 2014)

Resumen

El presente trabajo desarrolla una estrategia de inversión compuesta por un portafolio de notas estructuradas. El portafolio considera dos dimensiones: primero, una vertical que consiste en la combinación de notas estructuradas con el mismo periodo de vigencia que garanticen un flujo de efectivo pronosticable al vencimiento de esta estructura, y una dimensión horizontal que considera la integración en la estructura final de una nueva nota estructurada cuya vigencia inicia al vencimiento de la estructura vertical. Esta estructuración permite actualizar el precio del activo subyacente en el transcurso de la vigencia de la estructura propuesta, así como ampliar el plazo de la inversión, garantizando el capital inicial y ofreciendo la posibilidad de un rendimiento mayor al del mercado con bajo nivel de riesgo. Por último, con fines ilustrativos, se desarrolla en detalle una aplicación de la propuesta y se compara con otras alternativas disponibles en el mercado.

Palabras clave: notas estructuradas, inversión privada, portafolios.

Clasificación JEL: G13, G11, D92.

* Profesora-investigadora en la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México. <ipaguilarj@gmail.com>.

** Profesor-investigador en la Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional. <fvenegas1111@yahoo.com.mx>.

Abstract

This paper is aimed at developing an investment strategy consisting of a portfolio of structured notes. The portfolio considers two dimensions: first, a vertical dimension consisting of a combination of structured notes with the same duration to ensure predictable cash flow at maturity of this structure, and a horizontal dimension considering the integration into the final structure of a new structured note whose term begins upon the expiration of the vertical structure. This structure allows updating the price of the underlying asset during the term of the proposed structure, as well as extending the term of the investment, ensuring the initial capital and offering the possibility of higher returns than the market with low risk. Finally, for illustrative purposes it is developed in detail an application of the proposal and compared with other alternatives available on the market.

Keywords: structured notes, private investment, portfolios.

JEL classification: G13, G11, D92.

1. Introducción

En los mercados de notas estructuradas los inversionistas son, generalmente, adversos al riesgo, y se interesan en aprovechar oportunidades con menor riesgo y mayor rendimiento pero que garanticen el capital inicial, o, al menos, una proporción de él. En la búsqueda de oportunidades de inversión con estas características se han desarrollado una amplia gama de productos estructurados que se ofrecen al inversionista en los mercados no organizados (OTC) (Blümke, 2009).

En los Estados Unidos, de acuerdo con Knop (2002), entre las décadas de los ochenta y los noventa, se empezaron a intensificar las actividades de estructuración para diseñar productos financieros, prácticamente, a la medida de cada inversionista, ofreciéndole alternativas de inversión con mejores rendimientos, partiendo del nivel de riesgo que el propio inversionista estuviera dispuesto a tolerar. A partir de entonces, los productos estructurados han tenido un gran auge en los mercados financieros y se han desarrollado de manera rápida, existiendo propuestas de estructuración para los diferentes objetivos del inversionista que pueden ser de protección al 100% del capital invertido, especulación y protección parcial de la inversión, entre otros.

Un producto estructurado, de acuerdo con Lamothe y Pérez (2003), es el resultado de utilizar el valor generado por distintas figuras de derivados sobre diferentes activos subyacentes con rendimientos generados por la estructura de la curva cupón cero a un plazo determinado. Es decir, se parte de los rendimientos que genera un instrumento financiero clásico de inversión (bono, depósito a plazo, certificado, etc.) combinado con los flujos financieros positivos o negativos que genera la utilización de una serie de derivados, básicamente opciones sobre distintos activos subyacentes. Así mismo, Hens y Rieger (2009) definen un producto estructurado como un portafolio compuesto fundamentalmente por un instrumento clásico de renta fija o variable y productos derivados que en muchos casos son opciones. Probablemente, entre los productos estructurados más utilizados y negociados se encuentran las notas estructuradas, las cuales, de acuerdo con McCann y Cilia (1994) son portafolios híbridos compuestos por instrumentos de deuda combinados con productos derivados.

De acuerdo con Venegas-Martínez (2007), generalmente, el instrumento de deuda es un bono cuponado flotante. Entre las razones que han permitido la amplia aceptación de las notas estructuradas McCann y Cilia (1994) mencionan las siguientes: en periodos de bajas tasas de rendimiento en los que es difícil lograr rendimientos aceptables las notas estructuradas ofrecen la posibilidad obtener rendimientos superiores a los del mercado y reflejan la percepción que tiene el inversionista acerca del mercado. Asimismo, las notas estructuradas pueden servir al inversionista como protección contra el riesgo no diversificable. Dependiendo del objetivo que se desee alcanzar con la nota, será la estructuración de la misma, es decir, las características del derivado que se integre, el subyacente, el vencimiento de la nota, etc. Esto implica que existe una enorme variedad de notas estructuradas y, de hecho, constantemente se generan otras nuevas con características específicas con el fin de cubrir las expectativas tanto del inversionista como del emisor.

El objetivo del presente trabajo es proponer una estrategia de inversión y cobertura para el riesgo del mercado mediante la combinación de notas estructuradas que permita ampliar el plazo de la inversión con una estructuración en dos periodos, lo cual se conoce como estructuración horizontal, y con ello se ofrece un rendimiento superior al del mercado sin incrementar por ello el nivel de riesgo de manera significativa. Las notas estructuradas en que se basará la estructuración propuesta son certificados de depósito

con capital inicial garantizado. Por último, con fines ilustrativos, se desarrolla una aplicación de la propuesta de estrategia de inversión y se compara con otras alternativas disponibles en el mercado.

La organización del presente trabajo es la siguiente: en la sección 2 se presentan las notas estructuradas utilizadas en la estrategia de inversión, así como su forma de valuación basada en la fórmula de Black-Scholes; la sección 3 desarrolla la estrategia de inversión y cobertura propuesta, la cual será llamada estructura vertical-horizontal, así como la fórmula de valuación; en la sección 4 se presenta una aplicación de la estrategia propuesta y se analizan los resultados obtenidos; en la sección 5 se hace una comparación con los rendimientos que se obtendrían a partir de otras oportunidades de inversión; por último, en la sección 6, se presentan las conclusiones resaltando algunas de las características que se requieren en algunos de los parámetros de la estructura con el fin de que se produzcan resultados más atractivos para el inversionista.

2. Certificados de depósito estructurados

Los certificados de depósito estructurados (cedes) son portafolios compuestos por instrumentos de deuda con capital inicial garantizado, cuyo rendimiento depende del valor de mercado del derivado inmerso en la estructura y del subyacente involucrado. Las opciones consideradas pueden ser europeas, plain vanilla o exóticas.

2.1. CEDE call spread

Un CEDE *call spread* que inicia en el tiempo t está formado por un bono cupón cero, con vencimiento en el tiempo T y cuyo valor al vencimiento es igual al 100% del capital invertido (N), y un portafolio de opciones con el mismo vencimiento que el bono, constituido por una posición larga de opción de compra larga y una corta, en las que K_1 es el precio de ejercicio de la opción larga y es menor que el precio de ejercicio de la opción corta K_2 . Se supone que no hay pago de dividendos del subyacente en el periodo de vigencia de esta estructura. El precio del CEDE *call spread* está dado por:

$$P_V = B + P_D F$$

en donde

P_V : valor del CEDE

B : el precio del bono cupón cero, al inicio de la nota

P_D : prima neta de las opciones involucradas en la estructura

F : proporción del portafolio de opciones que se incluirá en la nota

$$B = \frac{N}{1 + R(t, T) (T-t)}$$

$$P_D = c_1 - c_2$$

$$F = \frac{N - B}{P_D}$$

$T - t$: número de días por vencer del CEDE como proporción del año,
 $R(t, T)$: tasa de interés libre de riesgo asociada al número de días por vencer.

En tanto que cada una de las primas de las opciones involucradas, c_i , $i = 1, 2$ se calculan usando la fórmula de Black-Scholes (1973),¹

$$c_i = S_t \Phi(d_1) - K_i e^{-r(T-t)} \Phi(d_2), \quad i = 1, 2,$$

en donde

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K_i}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}}$$

y

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T-t}$$

2.2. CEDE put spread (programación de venta)

Un CEDE *put spread* que se inicia en el tiempo t es un portafolio que se conforma por un bono cupón cero con vencimiento en T y dos opciones de venta europeas una larga con precio de ejercicio K_2 y otra corta con precio de ejercicio K_1 menor a K_2 . De acuerdo con esta estructuración se puede determinar el precio del CEDE *put spread*:

$$P_V = B + P_D F$$

¹ Esta valuación es bajo el supuesto de mercados completos, véase Venegas-Martínez y González-Aréchiga (2000).

en donde

P_v : valor del cede

B : precio del bono cupón cero, al inicio de la nota

P_D : prima neta de las opciones involucradas en la estructura

F : proporción del portafolio de opciones que se incluirá en la nota

$$B = \frac{N}{1 + R(t, T) (T - t)}$$

$$P_D = p_2 - p_1$$

$$F = \frac{N - B}{P_D}$$

$T - t$: número de días por vencer del CEDE como proporción del año

$R(t, T)$: tasa de interés libre de riesgo asociada al número de días por vencer.

En tanto que cada una de las primas de las opciones involucradas, p_i , $i = 1, 2$ se calculan, de nuevo, usando la fórmula de Black-Scholes,

$$p_i = K_i e^{-r(T-t)} \Phi(-d_2) - S_t \Phi(-d_1), \quad i = 1, 2$$

en donde

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K_i}\right) + \left(r + \frac{1}{2}\sigma^2\right)(T-t)}{\sigma\sqrt{T-t}}$$

y

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T-t}$$

2.3. CEDE knock out down and out

La característica principal de este tipo de notas estructuradas es que el rendimiento que pueden generar se paga al vencimiento de la estructura y su importe depende de que el subyacente haya alcanzado o no la barrera establecida en el contrato de la opción binaria inmersa en la nota en la fecha de la emisión. En muchas ocasiones la opción binaria de barrera está vinculada al comportamiento del tipo de cambio peso-dólar, y la barrera que se establece es H_L se encuentra por debajo del valor del subyacente en la fecha de emisión.

Los pagos al vencimiento asociados a los CEDES tipo *knock out* se comportan como se muestra en el cuadro 1, en donde X corresponde al pago al

vencimiento de la opción de compra inmersa en el CEDE cuando ésta no se cancela, R es el reembolso establecido en el contrato, y G es la proporción de la opción barrera que se incluirá en la nota.

Cuadro 1

Pago al vencimiento del CEDE *Knock out down and out*

Pago al vencimiento	subyacente vs barrera	
N	si en algún momento t	$S_t \leq H_L$
$N + (X + R)G$	si para todo tiempo t	$S_t > H_L$

Fuente: elaboración propia.

La estructura de los CEDES *knock out down and out* está integrada por un bono cupón cero, cuyo valor al vencimiento es igual al 100% del capital invertido, y una opción binaria *down and out* con plazo igual al bono, es decir, es una estructura con capital inicial garantizado. El precio de la nota, como en los casos anteriores, se calcula sumando el valor inicial del bono al precio de la opción, es decir,

$$P_V = B + P_D G$$

en donde B es el valor del bono y P_D es la prima de la opción binaria de barrera. Para calcular el valor del bono se obtiene, como antes,

$$B = \frac{N}{1 + R(t, T) (T - t)}$$

en tanto que para calcular el precio de la opción barrera se utiliza el modelo de Rubinstein y Reiner y Venegas-Martínez (2008), basado en la fórmula de Black-Scholes, de tal manera que:

si $k > H$

$$A = S_t \Phi(x_1) - k e^{-r(T-t)} \Phi(x_1 - \sigma \sqrt{T-t})$$

$$C = S_t \left(\frac{H_L}{S_t} \right)^{2(\mu+1)} \Phi(y_1) - k e^{-r(T-t)} \left(\frac{H_L}{S_t} \right)^{2\mu} \Phi(y_1 - \sigma \sqrt{T-t})$$

$$F = R \left[\left(\frac{H_L}{S_t} \right)^{(\mu+\lambda)} \Phi(z) + \left(\frac{H_L}{S_t} \right)^{(\mu-\lambda)} \Phi(z - 2\lambda\sigma\sqrt{T-t}) \right]$$

y

$$P_D = A - C + F$$

Si $k \leq H$,

$$\begin{aligned} B &= S_t \Phi(x_2) - K e^{-r(T-t)} \Phi(x_2 - \sigma\sqrt{T-t}) \\ D &= S_t \left(\frac{H_L}{S_t}\right)^{2(\mu+1)} \Phi(y_2) - k e^{-r(T-t)} \left(\frac{H_L}{S_t}\right)^{2\mu} \Phi(y_2 - \sigma\sqrt{T-t}) \\ F &= \left[R \left(\frac{H_L}{S_t}\right)^{(\mu+\lambda)} \Phi(z) + \left(\frac{H_L}{S_t}\right)^{(\mu-\lambda)} \Phi(z - 2\lambda\sigma\sqrt{T-t}) \right] \end{aligned}$$

Y

$$P_D = B - D + F$$

en donde

$$\begin{aligned} x_1 &= \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t} & y_1 &= \frac{\ln\left(\frac{H_L^2}{S_t k}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t} \\ x_2 &= \frac{\ln\left(\frac{S_t}{H_L}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t} & y_1 &= \frac{\ln\left(\frac{H_L}{S_t}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t} \\ z &= \frac{\ln\left(\frac{H_t}{S_t}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + \lambda\sigma\sqrt{T-t} & \mu &= \frac{r - \frac{\sigma^2}{2}}{\sigma\sqrt{T-t}} & \lambda &= \mu^2 + \frac{2r}{\sigma^2} \end{aligned}$$

con

S_t : precio del subyacente al inicio de la opción

K : precio de ejercicio de la opción

$\Phi(\cdot)$: función de distribución acumulada normal estándar

r : tasa de interés libre de riesgo

H_L : barrera inferior

σ : volatilidad del rendimiento del subyacente

3. Estructura vertical-horizontal propuesta

Uno de los problemas que enfrentan tanto los inversionistas como los usuarios de los recursos captados de los inversionistas es el riesgo que se asume tanto al hacer una inversión como al aceptarla, el cual por supuesto, influye en la toma de decisiones de ambas partes. No es que el riesgo determine la decisión de optar o no por cierta inversión, pues cada inversionista individualmente decide qué nivel de riesgo está dispuesto a aceptar, con base en distintos y diversos criterios, entre los cuales probablemente se encuentre la urgencia por recuperar la inversión, pero sí constituye un factor importante dentro de la decisión.

Por ejemplo, si el capital que el inversionista está arriesgando es solamente una pequeña porción de su patrimonio y tiene la posibilidad de obtener ingresos por otras inversiones, o si se trata de una persona joven y saludable, podría estar dispuesta a aceptar un riesgo mayor en su inversión con la esperanza de lograr altos rendimientos, pero si el inversor es una persona mayor que lo que va a invertir corresponde a los ahorros de toda su vida, muy probablemente busque una oportunidad de inversión con el mayor rendimiento posible asociado al más bajo nivel de riesgo, es decir, posiblemente opte por una inversión que prácticamente le garantice la recuperación de su dinero con alguna ganancia adicional que le permitan tener una vejez más segura. Esto significa que cada inversionista persigue sus propios objetivos e intereses y el mercado necesita estar preparado para responder a las necesidades de cada uno de ellos con instrumentos diferentes que satisfagan sus requerimientos de la mejor manera posible.

Por lo anterior, se han desarrollado diferentes metodologías para la selección de portafolios con distintos instrumentos y estrategias de cobertura contra el riesgo de una inversión. En particular, este trabajo desarrolla una propuesta de inversión que ofrece una cobertura contra las variaciones en los tipos de cambio basada en la combinación de notas estructuradas.

La estructura vertical-horizontal propuesta consta de dos partes que se identifican como 1) una estructura vertical, con vigencia de t a T , que garantice un flujo de efectivo conocido al final de dicho periodo, y 2) una estructura horizontal para la segunda parte del plazo de vigencia de $(T$ a $T_1)$. La estructura propuesta tendrá vigencia de t a T_1 . A continuación se describen cada una de las partes de la estructura mencionadas.

3.1. Estructura vertical

La primera parte de la estructura propuesta la constituye la “estructura vertical”, la cual se construye como la suma de un CEDE *call spread* y uno *put spread* que inician en el instante t y vencen al tiempo T , es decir, la vigencia de ambos CEDE será de $T - t$ días. Esta estructura vertical garantiza un flujo de efectivo en T igual al monto de la inversión original más $K_2 - K_1$ adicional por cada combinación compuesta por una opción de compra y una de venta adquirida en la estructura, y su precio será la suma de los precios de los cedos respectivos, es decir,

$$P_{EV} = P_{VC} + P_{VP}$$

en donde

K_1 : precio de ejercicio de las opciones de compra larga y de venta corta

K_2 : precio de ejercicio de las opciones de compra corta y de venta larga. $K_1 < K_2$

P_{EV} : precio de la estructura vertical

P_{VC} : precio del CEDE que forma parte de la estructura

P_{VP} : precio del CEDE *put spread* involucrado en la estructura vertical

Lo anterior conlleva a una inversión igual $N_1 + N_2$, la suma de los nominales invertidos en cada uno de los cedos.

3.2. Estructura horizontal

Al vencimiento de la estructura vertical, el flujo de efectivo será $N_1 + N_2 + (K_2 - K_1)F_c$ cantidad que se invertirá en ese momento, en un CEDE *knock out down and out* con el mismo subyacente que la estructura vertical.

Los pagos asociados a cada uno de los cedos tipo *knock out* involucrados en la estructura horizontal se muestra en el cuadro 2.

Cuadro 2
Pago al vencimiento de la estructura horizontal

Pago al vencimiento	subyacente vs barrera	
$N_1 + N_2 + (K_2 - K_1)F_c$	si en algún momento $t \in (T, T_1)$	$S_t \leq H_L$
$N_1 + N_2 + (K_2 - K_1)F_c + (X + R)G$	si para todo tiempo $t \in (T, T_1)$	$S_t > H_L$

Fuente: elaboración propia.

en donde

S_t : valor inicial del subyacente

$N_1 + N_2$: pago al vencimiento de la estructura vertical, es decir es el monto

$(K_2 - K_1) F_c$: de la inversión en el CEDE *knock out*

X : flujo generado por el rendimiento establecido en el contrato de opción de compra

R : reembolso establecido en el contrato

H_L : barrera inferior del subyacente que se especifica para el CEDE *knock out down and out*

La ganancia mínima garantizada de esta estrategia es $(K_2 - K_1) F_c$ al vencimiento de la misma, en el tiempo T_1 , es decir, una tasa de rendimiento de $(K_2 - K_1) F_c / (N_1 + N_2)$ generado por la inversión de $N_1 + N_2$ unidades monetarias durante el periodo de tiempo (t, T_1) . El precio de esta porción de la estrategia será el precio del CEDE *knock out* correspondiente con valor nominal $N_1 + N_2 + (K_2 - K_1) F_c$, es decir,

$$P_V = B + P_D G.$$

3.3. Valor de la estrategia

El valor de esta estrategia será la suma de los precios de cada una de las notas estructuradas que conforman la primera etapa del producto estructurado planteado. Esto significa que el precio P_E de la estrategia vertical-horizontal es exactamente el precio de la estrategia vertical, ya que la estructura horizontal no requiere inversión adicional a los flujos generados por la estructura vertical. Al calcular cada uno de los precios separadamente y considerando que el subyacente en cada una de las opciones inmersas en esta estructura propuesta es el tipo de cambio FIX MXP/USD, se tiene lo siguiente:

$$P_{EV} = P_{VC} + P_{VP}$$

Si el valor nominal del bono cupón cero inmerso en el CEDE *call spread* es N_1 y N_2 el del *put spread*, entonces

$$P_{VC} = \frac{N_1}{1 + R(t, T)(T - t)} + (c_1 - c_2) F_C$$

en donde

$$F_c = \frac{N_1 - \frac{N_1}{1 + R(t, T)(T - t)}}{c_1 - c_2}$$

con

$$c_1 = S_t e^{-r_F(T-t)} \Phi(d_1) - k_i e^{-r_D(T-t)} \Phi(d_2), \quad i = 1, 2$$

$$P_{vp} = \frac{N_2}{1 + R(t, T)(T - t)} + (p_2 - p_1) F_p$$

$$F_p = \frac{N_2 - \frac{N_2}{1 + R(t, T)(T - t)}}{P_2 P_1}$$

con

$$P_i = k_i e^{-r_D(T-t)} \Phi(-d_2) - S_t e^{r_F - (T-t)} \Phi(-d_1), \quad i = 1, 2$$

y

$$d_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_t e^{-r_F(T-t)}}{k_i}\right) + \left(r_D + \frac{1}{2}\sigma^2\right)(T - t)}{\sigma\sqrt{T - t}}$$

en tanto que

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{T - t}$$

en donde $R(t, T)$ representa la tasa de rendimiento asociada al número de días por vencer dentro de las notas, r_D corresponde a la tasa libre de riesgo doméstica y r_F es la tasa libre de riesgo extranjera. Asimismo, F_c es la proporción del portafolio de opciones que se incluirá en el CEDE *call spread* y F_p es la proporción del portafolio de opciones que se incluirá en el CEDE *put spread*. La estrategia propuesta considera $F_c = F_p$.

A continuación se calcula el precio del CEDE *knock out down and out* que incluye una opción de compra, con el fin de determinar el valor de G adecuado a la inversión

$$P_v = \frac{N_1 + N_2 + (K_2 - K_1) F_c}{1 + R(T, T_1)(T_1 - T)} + P_D G$$

en donde P_D es la prima de la opción binaria de barrera y G la porción de la opción a adquirir dentro de esta estructura. Para calcular P_D se tiene que

si $K > H_L$

$$\begin{aligned}
 P_D &= S_t e^{-r_F(T-t)} \Phi(x_1 - \sigma\sqrt{T-t}) - S_t e^{-r_F(T-t)} \left(\frac{H_L}{S_t e^{-r_F(T-t)}} \right)^{2(\mu+1)} \Phi(y_1) \\
 &+ K e^{-r_D(T-t)} \left(\frac{H_L}{S_t e^{-r_F(T-t)}} \right)^{2\mu} \Phi(y_1 - \sigma\sqrt{T-t}) + R \left[\left(\frac{H_L}{S_t e^{-r_F(T-t)}} \right)^{(\mu+\lambda)} \Phi(z) \right. \\
 &\left. + \left(\frac{H_L}{S_t e^{-r_F(T-t)}} \right) \Phi(z - 2\lambda\sigma\sqrt{T-t}) \right]
 \end{aligned}$$

si $K \leq H_L$

$$\begin{aligned}
 P_D &= S_t e^{-r_F(T-t)} \Phi(x_2) - K e^{-r_D(T-t)} \Phi(x_2 - \sigma\sqrt{T-t}) - S_t e^{-r_F(T-t)} \left(\frac{H_L}{S_t e^{-r_F(T-t)}} \right)^{2(\mu+1)} \Phi(y_2) \\
 &+ K e^{-r_D(T-t)} \left(\frac{H_L}{S_t e^{-r_F(T-t)}} \right)^{2\mu} \Phi(y_2 - \sigma\sqrt{T-t}) + R \left[\left(\frac{H_L}{S_t e^{-r_F(T-t)}} \right)^{(\mu+\lambda)} \Phi(z) \right. \\
 &\left. + \left(\frac{H_L}{S_t e^{-r_F(T-t)}} \right)^{(\mu+\lambda)} \Phi(z - 2\lambda\sigma\sqrt{T-t}) \right]
 \end{aligned}$$

en donde

$$\begin{aligned}
 x_1 &= \frac{\ln\left(\frac{S_t e^{-r_F(T-t)}}{K}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t} & y_1 &= \frac{\ln\left(\frac{H_L^2}{S_t e^{-r_F(T-t)} K}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t} \\
 x_2 &= \frac{\ln\left(\frac{S_t e^{-r_F(T-t)}}{H_L}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t} & y_2 &= \frac{\ln\left(\frac{H_L}{S_t e^{-r_F(T-t)}}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t} \\
 z &= \frac{\ln\left(\frac{H_L}{S_t e^{-r_F(T-t)}}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + \lambda\sigma\sqrt{T-t} & \mu &= \frac{r_D - r_F - \frac{\sigma^2}{2}}{\sigma\sqrt{T-t}}
 \end{aligned}$$

con

S_t : precio del subyacente al inicio de la opción

K : precio de ejercicio de la opción

$\Phi(\cdot)$: función de distribución acumulada normal estándar

r_D : tasa libre de riesgo doméstica

r_F : tasa libre de riesgo extranjera

H_L : barrera

σ : volatilidad del rendimiento del subyacente

R : reembolso establecido al contratar la estrategia a pagar siempre que la opción de compra no haya sido cancelada por alcanzar la barrera

4. Aplicación de la estrategia vertical-horizontal

La estrategia propuesta constará de dos etapas con duración de tres meses cada una. La primera es una estructura vertical integrada por la suma de un CEDE *call spread* y uno *put spread*. El objetivo en esta primera etapa es obtener un flujo de efectivo fijo al vencimiento, superior a la inversión inicial que será de $N_1 + N_2$ pesos, en donde N_1 es la inversión en el CEDE *call spread* mientras que N_2 la correspondiente inversión en el CEDE *put spread*, ambos con la misma vigencia.

La forma de construcción consistirá en valuar el CEDE *call spread* considerando un nominal de N_1 , y determinar F_c , el número de combinaciones de opciones de compra largas y cortas que se adquirirán dentro de este cede. A partir de esta primera estructura, se utilizará el mismo valor F_c para el CEDE *put spread*, y con dicho valor y la prima de la combinación de opciones de venta inmersas en este segundo cede, se determinará la inversión N_2 que se debe realizar en él.

En el ejercicio se considera una inversión inicial en el CEDE *call spread* de $N_1 = 50\,000$ con capital 100% garantizado, la cual se realizará el 1 de julio de 2012 con vencimiento el 30 de septiembre del mismo año. La tasa libre de riesgo para una inversión a 91 días es 4.43%.

La inversión inicial se realizará fundamentalmente en cetes a 91 días cuyo rendimiento, de acuerdo a la subasta del 28 de junio de 2012, es 4.43%. La cantidad a invertir en este bono será B , calculada como

$$B = \frac{N_1}{1 + R(t, t)(t - t)} = \frac{50,000}{1 + 0.0443(91/360)} = 49,446.2976$$

El resto de la inversión inicial, $50\,000 - 49\,446.2977 = 553.7023$ se utilizará en un portafolio compuesto por opciones de compra largas y cortas cuyo subyacente es el tipo de cambio peso mexicano-dólar americano. El número de portafolios a adquirir dependerá de su prima. Los precios de ejercicio que se utilizarán serán \$13.5 por dólar para la opción larga y \$14 para la corta.

Los parámetros para el cálculo de la prima de la combinación y la prima calculada usando la fórmula de *Black-Scholes* se muestran en el cuadro 3.

Los parámetros para valorar las opciones se presentan en los cuadros 4 y 5. En el cuadro 6 se muestran las primas c_1 y c_2 de las opciones de compra inmersas en el CEDE.

Cuadro 3
Parámetros para la valuación de las opciones de compra inmersas en el CEDE *call spread*

S_t	r_F	r_D	σ_1	K_1	σ_2	K_2	$T-t$
13.3249	0.25%	4.43%	17.57%	13.5	16.51%	14	0.252777778

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 4
Parámetros d_1 y d_2 para la opción de compra con precio de ejercicio $K_1 = 13.5$

d_1	$\varphi(d_1)$
0.01599084	0.50637915

d_2	$\varphi(d_2)$
-0.07234587	0.47116333

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 5
Parámetros d_1 y d_2 para la opción de compra con precio de ejercicio $K_2 = 14.0$

d_1	$\varphi(d_1)$
-0.42660856	0.33483223

d_2	$\varphi(d_2)$
-0.5096159	0.30516029

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 6
Valuación de las opciones del CEDE *call spread*

c_1	c_2	P_D
0.4533141	0.2341173	0.2191968

Fuente: elaboración propia.

de esta manera

por lo tanto, la prima del CEDE *call spread* asciende a

$$P_v = B + P_D F = 50000.00,$$

lo cual indica que se está invirtiendo la cantidad total aportada por el inversionista. Sin embargo, lo que sí es de interés es el flujo de efectivo que recibirá dicho inversionista al vencimiento de esta estrategia, lo cual se muestra en la figura 1.

Se construye ahora el CEDE *put spread*. Los precios de ejercicio de las opciones de venta serán los mismos que los de las opciones de compra en el CEDE *call spread*, de la misma manera que se comparten las tasas de interés y las volatilidades implícitas. Se parte del valor F_p que se heredará del CEDE *call spread*, así

$$B_1 = \frac{N_2}{1 + R(t, T)(T - t)}$$

y

$$F_p = \frac{N_2 - B_1}{P_D}$$

equivalentemente

$$F_p = \frac{N_2 - \frac{N_2}{1 + R(t, T)(T - t)}}{P_D} = 2\,526.05$$

en consecuencia

$$N_2 = \frac{F_p P_D (1 + R(t, T)(T - t))}{R(t, T)(T - t)} = 62\,782.72$$

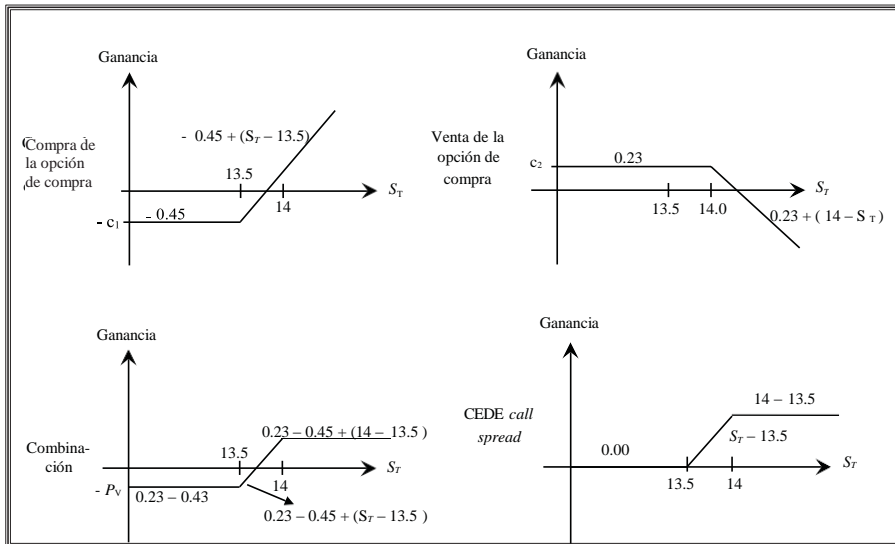


Figura 1. Ganancia al vencimiento del CEDE *call spread*.

Fuente: elaboración propia.

$$B_1 = \frac{N_2}{1+R(t, T)(T-t)} = 62\,087.46$$

Se valorará ahora el CEDE *put spread*, usando la fórmula de *Black-Scholes*, para ello se utiliza la información en los cuadros 7, 8 y 9.

Cuadro 7
Parámetros para la valuación de las opciones de venta
inmersas en el CEDE *put spread*

S_t	r_F	r_D	σ_1	K_1	σ_2	K_2	$T-t$
13.3249	0.25%	4.43%	17.57%	13.5	16.51%	14	0.252777778

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 8
Parámetros d_1 y d_2 para la opción de compra con precio de ejercicio $K_1 = 13.5$

d_1	$\varphi(-d_1)$
0.01599084	0.49362085

d_2	$\varphi(-d_2)$
-0.07234587	0.52883667

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 9
Parámetros d_1 y d_2 para la opción de compra con precio de ejercicio $K_2 = 14.0$

d_1	$\varphi(-d_1)$
-0.42660856	0.66516777

d_2	$\varphi(-d_2)$
-0.5096159	0.69483971

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 10
Valuación de las opciones del CEDE *put spread*

p_2	p_1	p_D
0.76173697	0.48650156	0.27523541

Fuente: elaboración propia.

Por lo tanto, la prima del CEDE *put spread* toma el valor de

$$P_V = B + P_D F_P = 62\,782.72$$

Si se suman los montos de las inversiones requeridas en el CEDE *call spread* y el CEDE *put spread* para conformar la estructura vertical, así como los flujos de efectivo que dichos cedos generan, se tiene lo siguiente:

inversión total en la estructura vertical:	\$ 112 782.72
flujo de efectivo al final de la estructura vertical:	\$ 114 045.74
rendimiento obtenido por la inversión en la estructura vertical:	1.1198752 %

Al comparar el rendimiento que se obtiene por esta inversión con el rendimiento de cetes a 91 días (1.1198056%) la estructura ofrece un rendimiento adicional sin riesgo del 0.01% obtenido en los tres meses de esta inversión.

Las utilidades obtenidas al vencimiento del cede *put spread* y de la estructura vertical se muestran, respectivamente, en las figuras 2 y 3.

En la segunda etapa de la estructuración propuesta se invierte la cantidad recibida al final de la estructura vertical en un CEDE *knock-out down-and-out*, lo que constituye la componente horizontal de la estructura y permite ampliar el plazo de inversión a través de un portafolio de notas estructuradas y actualizar el precio del subyacente dentro del plazo de vigencia de la estructura, así como revisar los pronósticos para el precio del subyacente al vencimiento.

Esta segunda etapa de la estructura iniciará justo al vencimiento de la estructura vertical, el 1 de octubre de 2012 y tendrá una vigencia de tres meses, para vencer el 31 de diciembre del mismo año. La inversión en esta etapa será el flujo de efectivo al final de la estructura vertical, es decir, \$114 045.74. La tasa libre de riesgo es 4.25% de acuerdo a la subasta de cetes a 91 días del 27 de septiembre de 2012. Se considera la posibilidad de incluir en la opción barrera el pago de un reembolso al inversionista siempre que la opción no se cancele, dicho reembolso sería un porcentaje del precio del subyacente al inicio del contrato. Por tal razón, en este trabajo se presentan los resultados de la inversión utilizando diversos niveles de la barrera inferior, así como distintos precios de ejercicio de la opción y porcentajes de reembolso, con el fin de verificar si existe una forma óptima de establecer los parámetros antes mencionados.

El valor nominal del bono cupón cero es $N_1 + N_2 + (K_2 - K_1)F_C = \$114\,045.74$ con principal 100% garantizado. Dado que la inversión se realizará en cetes a 91 días, cuyo rendimiento es de 4.25%, de acuerdo a la subasta del 27 de

septiembre de 2012, el vencimiento de este instrumento será el 31 de diciembre del mismo año 2012 y su valor al 1 de octubre es

$$P_0 = \frac{N_1 + N_2 + (K_2 - K_1)F_c}{1 + R(T, T_1)(T_1 - T)} = 112\,833.56$$

El resto de la inversión, \$1 212.18 se utilizará en la adquisición de una opción barrera inmersa en la estructura *knock out*.

El tipo de cambio peso-dólar al inicio de esta parte de la estructura es \$12 8167. Así, el cálculo de la prima de la opción barrera que inicia su vigencia en T y vence en T_1 utiliza los siguientes parámetros comunes:

$$\begin{aligned} S &= 12.8167 \\ r_D &= 4.25\% \\ r_F &= 0.25\% \\ T_1 - T &= 0.2528 \end{aligned}$$

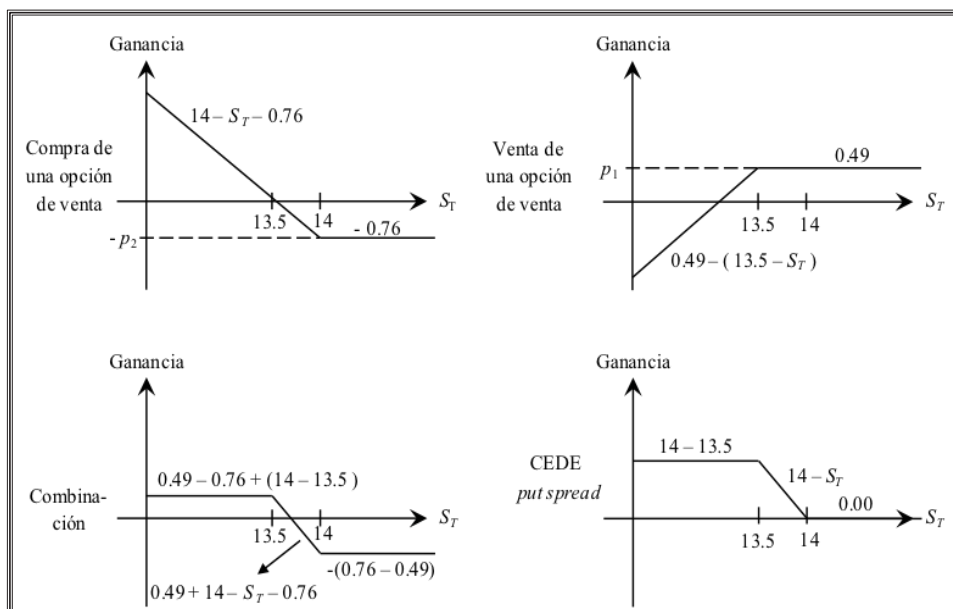


Figura 2. Ganancia al vencimiento del CEDE *put spread*.

Fuente: elaboración propia.

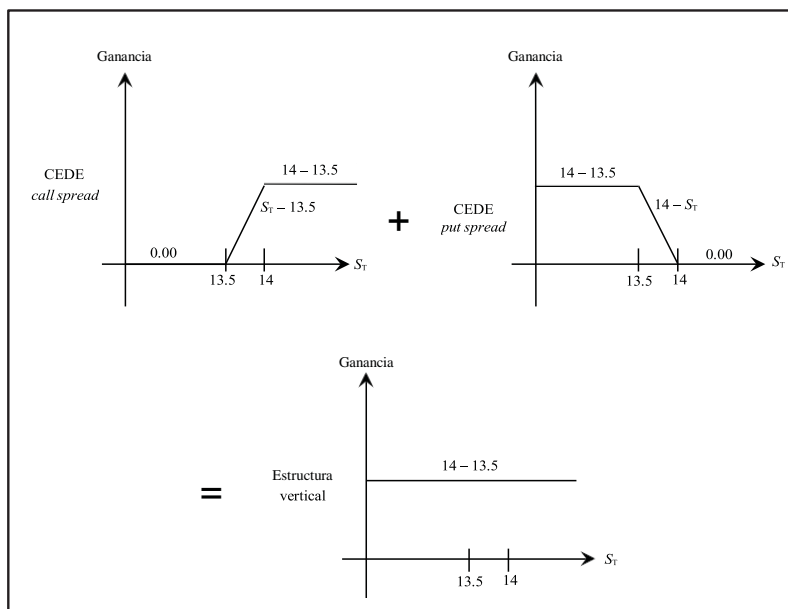


Figura 3. Ganancia al final de la estructura vertical.

Fuente: elaboración propia.

Si se considera el precio de ejercicio K igual a la barrera inferior H_L e iguales a \$12.5, los cálculos pertinentes para la valuación de la opción se muestran en el cuadro 11.

Cuadro 11

Cálculo de la prima P_D de la opción barrera

H_L	12.5	μ	0.591883051	x_1	0.4066255		
K	12.5	λ	1.591883051			y_1	-0.100251
S_T	12.8167	x_2	0.406625537				
r_F	0.25%	y_2	-0.100251095	A	0.7359381		
r_D	4.25%	z	-0.100251095			C	0.3811068
σ	19.14%	B	0.735938105				
$T_1 - T$	0.2528	D	0.381106814	$P_D =$	0.455673		
R	0.128167	F	0.100841684				

Fuente: elaboración propia.

El número de opciones barrera a adquirir en esta estructura horizontal se calcula como

$$G = \frac{N_1 + N_2 + (K_2 - K_1)F_c - P_0}{P_D} = 2\,660.1912$$

los posibles pagos de la estructura completa se muestran a continuación en el cuadro 12:

Cuadro 12
Posibles pagos y rendimientos de la estructura propuesta
al vencimiento de la misma

Situación	Pago de una opción	utilidad de una opción	(utilidad de una opción) G	Pago del bono	Pago de la estructura	Rendimiento
Si $S_t < 12.5$ para algún $t \in (T, T_1)$	0	0	0	114 045.74	114 045.74	1.012%
Si $S_t \geq 12.5$ $\forall t \in (T, T_1)$ y $S_{T_1} = 12.5$	0.128167	0.128167	340.9487	114 045.74	114 386.69	1.422%
Si $S_t \geq 12.5$ $\forall t \in (T, T_1)$ y $S_{T_1} > 12.5$	$S_{T_1} - 12.5$ + 0.128167	S_{T_1} - 12.37183	$2\,660.19 S_{T_1}$ - 32 911.43	114 045.74	$2\,660.19 S_{T_1}$ + 81 134.307	>1.422%

Fuente: elaboración propia.

En realidad la cotización del dólar más baja en el periodo considerado (1 de octubre a 31 de diciembre de 2012) fue \$12 6987, por lo que la opción barrera no se canceló. Por otro lado, la cotización al vencimiento de la opción fue \$12 9658 por lo que el pago final de la estructura sería de \$115 625.81 que corresponde a un rendimiento obtenido por la inversión en la estructura de 2.52%. No obstante, el resultado dependerá del precio de ejercicio de la opción, la barrera que se establezca, el nivel de reembolso y el precio del subyacente al vencimiento de la opción.

A continuación, en los cuadros 13 a 19 se muestran los pagos al vencimiento y los rendimientos obtenidos con la estructura vertical-horizontal considerando distintos parámetros de precio de ejercicios, barrera y reembolso, y se observa que bajo ciertas circunstancias el rendimiento que se obtiene puede ser varios puntos superior al del mercado. Más adelante se analizarán los resultados obtenidos.

En el cuadro 13 (véase anexo) se puede observar que se utiliza como precio de ejercicio de la opción barrera el tipo de cambio \$12.3, existen varias oportunidades de inversión que generarían un rendimiento superior a la TIIE en el mismo periodo de vigencia de la inversión propuesta, aquellas que aparecen en negritas en el cuadro. El reembolso se establece como un porcentaje del valor del subyacente al inicio del contrato, es decir, al 1 de octubre de 2012. Dicho porcentaje representa solamente una pequeña cobertura adicional a la de la opción de compra, para los casos en que la opción no se cancele, y se establece como un rendimiento menor al del mercado. Por tal razón se consideraron porcentajes menores al 2%. Se puede ver que siempre que la barrera es inferior al valor mínimo alcanzado por el subyacente durante el periodo de vigencia de la opción, es posible tener una inversión exitosa, sin embargo a diferencia de lo que tal vez se podría pensar, los mayores rendimientos se obtienen cuando el nivel de reembolso es cero, y el nivel de barrera H_L más grande, pero como se dijo antes, menor al valor mínimo del subyacente en el periodo. Cuando el nivel de la barrera es $H_L = 12.5$, el pago máximo de la opción sería \$116 086.40 que corresponde a un rendimiento de 2.93%, 0.52% superior al de la TIIE, el cual se obtendría sin considerar reembolso, mientras que si $H_L = 12.69$ el pago máximo de la opción sería \$118 811.73 que corresponde a un rendimiento de 5.35%, 2.94% superior al de la TIIE, obtenido en un semestre de inversión.

Cuadro 14 (véase anexo) presenta el caso en el que precio de ejercicio de la opción barrera es el tipo de cambio \$12.4. En este cuadro se puede observar que se amplía un poco el número de portafolios posibles de inversión que generarían un rendimiento superior a la TIIE en el periodo de vigencia de la inversión propuesta. Si el nivel de la barrera fuera 12.5, el nivel de reembolso podría crecer hasta nuestro máximo establecido 2%, teniendo aún resultados favorables, sin embargo los rendimientos calculados para la inversión en la estructura son menores a los calculados para $K = 12.3$. En este caso el mayor flujo de efectivo calculado es \$118 288.38 el cual corresponde a un rendimiento de 4.88% y representa un 2.47% superior a lo del mercado, el cual se alcanza nuevamente en el nivel $H_L = 12.69$ y reembolso cero. No obstante ser menor al rendimiento que se obtiene cuando $K = 12.3$ sigue siendo una buena oportunidad de inversión.

Si se incrementa un poco más el precio de ejercicio de la opción de manera que ahora tome el valor 12.5, se observa en el cuadro 15 (véase anexo), que el rendimiento de la opción decrece en relación con el caso anterior

$K = 12.4$, aunque todavía se puede considerar una estrategia exitosa ya que el rendimiento sigue siendo mayor al de la TIIE. Nuevamente, los mejores resultados corresponden al caso en el que la barrera es 12.69, y el máximo flujo de efectivo calculado es \$117 715.23, el cual si se considera que la inversión inicial realizada al principio de los seis meses es \$112 782.72, corresponde a un rendimiento de 4.37%, 1.96% superior a la TIIE.

De acuerdo con los casos que se han analizado, se podría pensar que la forma de maximizar los rendimientos generados por la inversión en nuestra propuesta sería estableciendo un nivel de reembolso nulo, el nivel de barrera más cercano pero inferior a la cotización mínima de la divisa en el periodo de vigencia de la estrategia, y establecer el precio de ejercicio de la opción más bajo posible. Si se incrementa un poco más el precio de ejercicio de la opción, para observar los resultados que esto produce.

Si se considera como precio de ejercicio de la opción $K = 12.6$ como se muestra en el cuadro 16 (véase anexo), las oportunidades de éxito con la estrategia se redujeron significativamente. Ya no existe posibilidad de ganancia superior a la del mercado si se establece el nivel de la barrera en 12.5. Más aún, todos los rendimientos bajaron en comparación con los calculados con $K = 12.5$. Nuevamente, el mejor resultado se obtiene con $H_L = 12.69$, sin embargo, el rendimiento máximo se redujo de 4.37% a 3.81% con un flujo de efectivo máximo al vencimiento de \$117 083.47. Claramente esta propuesta es inferior en calidad, a la anterior, además de que aumentan las posibilidades de que la inversión de como resultado una pérdida, después de seis meses, en comparación con la TIIE que es el rendimiento que se está tomando como base de comparación.

En el cuadro 17 (véase anexo), se muestran los resultados que se obtendrían si el precio de ejercicio de la opción barrera se estableciera en $K = 12.7$. Evidentemente no se trata de una buena opción de inversión en lo general. Solamente si se establece el nivel barrera en 12.69 se podría tener un rendimiento de la inversión superior al del mercado, pero el rendimiento adicional máximo sería 0.78%, muy por debajo de lo que se podría obtener según se muestra en los cuadros anteriores, por otro lado, los portafolios exitosos con este valor de K son muy escasos y solamente se encuentran cuando $H_L = 12.69$, por supuesto preferentemente sin considerar reembolso. Lo que esto parece indicar es que, sin importar cuáles sean los valores de K y H_L el incremento en la prima asociado a la incorporación de un nivel de reembolso en la opción, en este tipo de estrategia, no parece ser cubierto cabalmente por el incremento en el flujo de efectivo esperado de la inversión.

A partir de los resultados anteriores tal vez se podría inferir que de seguir incrementando el precio de ejercicio de la opción barrera, los posibles rendimientos de la inversión realizada en la estrategia propuesta seguirán empeorando. Sin embargo, es importante explorar un poco más para tratar de descartar la posibilidad de que los rendimientos volvieran a incrementarse. Por tal razón, se realizarán los cálculos con un precio de ejercicio $K = 12.8$. Los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 18 (véase anexo). En este cuadro se observa que todavía existen algunas oportunidades de inversión que no ofrecen pérdida, al menos significativa, sino que existen algunos portafolios que replican prácticamente el rendimiento del mercado. Estos portafolios corresponden a la inversión en nuestra estrategia propuesta, considerando como precio de ejercicio de la opción barrera $K = 12.8$, nivel de barrera $H_L = 12.69$ y nivel de reembolso entre 0% y 0.90% del precio inicial del subyacente.

Es importante tener en cuenta que cuando se utiliza el CEDE *knock-out* como instrumento de inversión se propone como opción inmersa una opción en el dinero (ATM),² es decir, con precio de ejercicio igual al precio inicial del subyacente, por ello, se explorarán los rendimientos que podría generar la inversión que se propone en este trabajo en una opción barrera ATM en la parte horizontal de la estructura total. Los resultados se muestran en el cuadro 19 (véase anexo), y como se puede observar, no existe una opción de inversión con mayor rentabilidad que la del mercado.

La misma situación que en la opción con $K = 12.8167$ se presenta en el cuadro 20 (véase anexo), en el que se calculan los rendimientos usando $K = 13$, aunque las pérdidas son mayores en este último caso. Definitivamente éstas no representan oportunidades reales de inversión, ya que no son oportunidades exitosas. Propiamente dicho, aunque las inversiones propuestas en los dos últimos cuadros mencionados ofrecen un rendimiento positivo, se pueden encontrar en el mercado oportunidades de inversión con riesgo similar, que ofrezca una tasa de rendimiento mayor, por lo que todo inversionista “normal” (adverso al riesgo) optaría por estas otras oportunidades; hacerlo de otra forma implicaría aceptar de manera consciente tener pérdida en su inversión.

En todos los casos planteados se observa que la inversión no resulta exitosa cuando el nivel de barrera es 12.8. La razón es que dicho nivel resulta elevado de acuerdo al comportamiento temporal del tipo de cambio

² Por sus siglas en inglés.

peso-dólar utilizado como subyacente, por lo que provoca que la opción se cancele. Ante tal situación, el inversionista recibirá al vencimiento de la estrategia propuesta el capital invertido en la segunda etapa, es decir, en la parte horizontal de la propuesta, lo cual corresponde al flujo de efectivo generado por la estrategia vertical.

Como se puede observar, una inversión en la estructura vertical-horizontal propuesta puede producir rendimientos superiores a los del mercado si se seleccionan de manera adecuada los valores de los parámetros para la opción barrera. También es posible observar que para valores de la barrera inferiores al mínimo valor del subyacente en el periodo de vigencia de la opción y precio de ejercicio por debajo del valor inicial del subyacente se tiene la oportunidad de lograr una utilidad. En realidad los resultados de este ejercicio muestran que siempre que K es menor que S_T , existe algún valor H_L para el cual la estrategia prevista produce beneficios superiores a los del mercado, sin embargo no se logró determinar una forma de establecer el precio de ejercicio que maximice el rendimiento con la estructura, aunque sí se observa que los mejores resultados se obtienen cuando H_L se aproxima mucho al mínimo valor alcanzado por el subyacente durante la vigencia de la opción y el precio de ejercicio es inferior a dicho valor. En cuanto al nivel de reembolso, en todos los casos en los que se tiene un rendimiento mayor al del mercado se observa que no es conveniente introducir un reembolso en la opción, lo cual significa que el beneficio adicional que se obtendría por el reembolso no es suficiente para cubrir el incremento en la prima de la opción involucrada en la estrategia.

De lo anterior se desprende la necesidad de hacer un pronóstico muy confiable de los precios del subyacente a lo largo de la vida de la opción barrera, con el fin de establecer con mayor certidumbre el precio de ejercicio y el nivel de la barrera para la opción, que permitan utilizar con éxito nuestra propuesta de inversión.

5. Comparación con otras oportunidades de inversión

Con el fin de dar mayor sustento a la validez a nuestra propuesta de inversión se hará también una comparación con la propuesta de nuestra primera etapa, puesto que además de exitosa, se puede calificar de estable, en el sentido de que permite saber desde el inicio del contrato cuáles serán el rendimiento ofrecido y el flujo de efectivo que recibirá el inversionista al

vencimiento de la inversión, y con la inversión en un cede de tasa fija negociado por BBVA Bancomer.

Para poder comparar los resultados se amplía la primera etapa de nuestra estructura propuesta, la estructura vertical, a un periodo de vigencia de seis meses, con lo cual se elimina la inversión en la parte horizontal de la estructura. Para ello se calculan los montos que se tendrían que invertir tanto en el CEDE *call spread* como en el *put spread*, de manera que la inversión total sea igual a la que se realizaría en la estrategia que se propone en este trabajo. Así, si la inversión se hiciera únicamente en la estructura vertical propuesta, pero por un periodo de seis meses los nominales N_1 y N_2 serían los que a continuación se calculan:

$$N_1 + N_2 = 112\,782.72$$

$$\begin{aligned} F_c &= \frac{N_1 - \frac{N_1}{1 + R(t, T)(T - t)}}{P_{Dc}} = \frac{N_2 - \frac{N_2}{1 + R(t, T)(T - t)}}{P_{Dp}} \\ \frac{N_1(1 + R(t, T)(T - t)) - N_1}{P_{Dc}(1 + R(t, T)(T - t))} &= \frac{N_2(1 + R(t, T)(T - t)) - N_2}{P_{Dp}(1 + R(t, T)(T - t))} \\ (N_1 P_{Dp} - N_2 P_{Dc})(1 + R(t, T)(T - t)) - (N_1 P_{Dp} - N_2 P_{Dc}) &= 0 \\ (N_1 P_{Dp} - N_2 P_{Dc})R(t, T)(T - t) &= 0 \\ N_1 P_{Dp} - N_2 P_{Dc} &= 0 \\ 112\,782.72 P_{Dp} - N_2 (P_{Dp} + P_{Dc}) &= 0 \\ N_2 &= \frac{112\,782.72 P_{Dp}}{P_{Dp} + P_{Dc}} = 53\,680.2748 \\ N_1 &= 112\,782.72 - N_2 = 59\,102.4452 \end{aligned}$$

Al realizar una inversión de \$112 787.72 en la estructura vertical propuesta, con los nominales N_1 y N_2 que se acaban de calcular, los precios de los CEDE *call spread* y *put spread* que conforman la estructura vertical así como los resultados de rendimiento y flujo de efectivo al vencimiento que se obtendrían son los que se muestran en los cuadros 21 y 22, en donde se puede observar que el rendimiento de esta inversión sería 2.271% y el flujo de efectivo final \$ 115 343.54.

El flujo de efectivo al vencimiento de esta estrategia vertical y el rendimiento producido son los siguientes:

Cuadro 21
Prima del CEde *call spread* a seis meses

Valuación de una opción de compra de tipo de cambio																
S_t	r_F	r_D	σ_1	K_1	σ_2	K_2	$T - t$									
13.3249	0.25%	4.54%	17.57%	13.5	16.51%	14	0.5									
d_{11}	$\varphi(d_{11})$		d_{21}	$\varphi(d_{21})$	Parámetros d_1 y d_2 para la opción con precio de ejercicio K_1											
0.12968912	0.5515938		0.00545046	0.50217441												
d_{12}	$\varphi(d_{12})$		d_{22}	$\varphi(d_{22})$	Parámetros d_1 y d_2 para la opción con precio de ejercicio K_2											
-0.18123829	0.42809027		-0.29798162	0.38285859												
<table><tr><th colspan="3">Valuación del CEDE <i>call spread</i></th></tr><tr><td>c_1</td><td>c_2</td><td>P_D</td></tr><tr><td>0.71355393</td><td>0.457415 7</td><td>0.25613823</td></tr></table>								Valuación del CEDE <i>call spread</i>			c_1	c_2	P_D	0.71355393	0.457415 7	0.25613823
Valuación del CEDE <i>call spread</i>																
c_1	c_2	P_D														
0.71355393	0.457415 7	0.25613823														
$R(t,T) =$	4.54%															
N_1	B	F_C														
59 102.4452	57 790.5986	5 121.6352														

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 22
Prima del CEde *put spread* a seis meses

Valuación de una opción de venta de tipo de cambio																			
S_t	r_F	r_D	σ_1	K_1	σ_2	K_2	$T - t$												
13.3249	0.25%	4.54%	17.57%	13.5	16.51%	14	0.5												
d_{11}	$\varphi(-d_{11})$		d_{21}	$\varphi(-d_{21})$	Parámetros d_1 y d_2 para la opción con precio de ejercicio K_1														
0.12968912	0.4484062		0.00545046	0.49782559															
d_{12}	$\varphi(-d_{12})$		d_{22}	$\varphi(-d_{22})$	Parámetros d_1 y d_2 para la opción con precio de ejercicio K_2														
-0.18123829	0.57190973		-0.29798162	0.61714141															
<table><tr><th colspan="4">Valuación del CeDe <i>call spread</i></th></tr><tr><td>p_2</td><td>p_1</td><td colspan="2">P_D</td></tr><tr><td>0.83494131</td><td>0.60230169</td><td colspan="2">0.23263962</td></tr></table>								Valuación del CeDe <i>call spread</i>				p_2	p_1	P_D		0.83494131	0.60230169	0.23263962	
Valuación del CeDe <i>call spread</i>																			
p_2	p_1	P_D																	
0.83494131	0.60230169	0.23263962																	
$R(t,T) =$	4.54%																		
N_2	B	F_P																	
53 680.27	52 488.78	5 121.64																	

Fuente: elaboración propia.

inversión total en la estructura vertical	\$ 112 782.72
flujo de efectivo al final de la estructura vertical	\$ 115 343.54
rendimiento obtenido por la inversión en la estructura vertical.	2.270576%

Claramente se tienen varias oportunidades de rendimientos mayores utilizando la estructura vertical-horizontal planteada, ya que, como se ha mencionado, el rendimiento que se obtendría al invertir solamente en la estructura vertical sería de 2.27% en los seis meses de la inversión, rendimiento que cabe mencionar, es independiente de los precios de ejercicio establecidos para las opciones adquiridas en la estructura, mientras que con la estructura propuesta es posible obtener un rendimiento hasta del 5.35% en el mismo periodo y con la misma inversión, además de que considerando la estructura propuesta completa hay muchas otras oportunidades con rendimientos también superiores a 2.27%.

Por último, al comparar con la información obtenida de Rankia Finanzas México (2013), una inversión en un cede a tasa fija de BBVA Bancomer con el monto de la realizada en esta estructura \$112 782.72 y con el mismo periodo de vigencia, ofrecería un rendimiento de 1.21%, como se muestra en el cuadro 23 tomado del sitio web de Rankia. Como se puede ver el rendimiento ofrecido por la inversión propuesta por BBVA Bancomer, está muy por debajo del que nuestra propuesta de estructura ofrece, por lo que se considera que la propuesta de estrategia puede representar una mejor opción de inversión y que por ellos, podría resultar muy atractiva para los inversionistas, quienes están interesados en obtener el mayor rendimiento posible por su inversión.

La elección de los CEDES de tasa fija de Bancomer implican una inversión a plazo con buenos rendimientos, estos rendimientos dependen del monto inicial, que como mínimo ha de ser de \$5 000 pesos, y del vencimiento seleccionado. Los intereses que ofrece Bancomer por contratar sus CEDES son cobrados mensualmente. En el cuadro 23 siguiente se muestra un comparativo de las distintas ganancias anuales totales (GAT) dependiendo del monto inicial y del vencimiento seleccionado.

Cuadro 23
Comparación de alternativas

BBVA Bancomer CEDE Tasa Fija	Monto para el cálculo*	91 días GAT	180 días GAT
De \$1 a \$9 999	\$5 000	0.95%	0.95%
De \$10 000 a \$99 999	\$10 000	1.11%	1.11%
De \$100 000 a \$499 999	\$100 000	1.21%	1.21%
De \$500 000 a \$999 999	\$500 000	1.26%	1.26%
De \$1 000 000 en adelante	\$1 000 000	1.31%	1.31%

*Montos en moneda nacional. GAT calculada hasta el 31 de diciembre de 2012. Datos de carácter informativo. El cálculo de la GAT es un ejemplo con base en el plazo y monto referenciado de las tasas mínimas vigentes a la fecha de referencia.

Fuente: elaboración propia.

6. Conclusiones

Gracias a los desarrollos tecnológicos la comunicación en tiempo real, además de la posibilidad de realizar inversiones en cualquier fecha y hora, los mercados financieros se han extendido ampliando las posibilidades de inversión. Es así que la administración del riesgo asociado a una inversión se ha vuelto cada vez más complicado y requiere de nuevas formas y estrategias que permitan al inversionista satisfacer sus necesidades de garantía sobre su inversión y mayor rendimiento, a pesar de las complicaciones adicionales que la evaluación y la administración de dichas estrategias pudieran representar.

No obstante, los intermediarios financieros en general y la banca en particular se preocupan constantemente por desarrollar productos que les permitan no solamente mantener a sus clientes inversionistas, sino también atraer cada día mayores capitales para financiar la actividad productiva de su país, así como favorecer el crecimiento del mismo y de la propia institución, mediante la mayor captación de capitales.

Dado que las notas estructuradas son, en sí mismas, medios de inversión que permiten la administración del riesgo del inversionista, son mecanismos cuyo uso se ha generalizado en los distintos países en los años

más recientes. Con el fin de reducir el riesgo asociado a una inversión, es posible el desarrollo de nuevas estrategias, combinando distintos productos estructurados; es decir, combinando en un solo producto, productos financieros tradicionales y productos derivados tales como notas estructuradas. De hecho, Blümke (2009) pone de relieve la importancia y la trascendencia del desarrollo de nuevos productos que respondan a necesidades específicas de los inversionistas. De ahí la importancia de este trabajo cuya principal contribución es el desarrollo de una estructura vertical como portafolio de notas estructuradas que genera un flujo de efectivo libre de riesgo que se puede determinar desde la construcción, combinada con otra nota estructurada conformada en una estructura horizontal, en la que una nota inicia su vigencia al vencimiento de la estructura vertical, y puede ofrecer rendimientos superiores a los que se podrían obtener con otras inversiones en el mercado tales como cedés de renta fija, la TIIIE o aún a la propia estructura vertical propuesta en este trabajo.

El presente trabajo muestra la conformación de una estructura formada por tres notas estructuradas, la cual garantiza al inversionista la recuperación de su inversión además de un rendimiento mínimo igual al proporcionado por la estructura vertical. Es decir, se establece una cuota mínima a la tasa de rendimiento, pero no una cuota máxima, sin que esto signifique que el rendimiento puede crecer de manera indefinida. Una ventaja adicional de la propuesta es que la valuación es relativamente sencilla, ya que se restringe a la valuación de los CEDES involucrados: un CEDE *call spread*, uno *put spread* y otro *knock out down and out*, valuación que se puede mecanizar por ejemplo en una hoja de cálculo electrónica, tal como se implementó para el desarrollo de los cálculos en este trabajo.

A partir de los resultados obtenidos para el caso particular mostrado como aplicación, se puede comentar lo siguiente:

1. Mediante la aplicación de la estrategia de inversión que se desarrolló en este trabajo, existe la posibilidad de obtener rendimientos superiores a los que se obtendrían con otras formas de inversión disponibles en el mercado, y con riesgo similar. Por lo tanto, nuestra propuesta puede ser atractiva para el inversionista.
2. Independientemente del precio de ejercicio que se establezca para la opción y del nivel de barrera inferior, la mejor opción es no incluir reembolso alguno. Aparentemente, aunque el reembolso incrementa

el flujo de efectivo en los casos en los que la opción no se cancele, el beneficio adicional que ofrece dicho reembolso no es suficiente para cubrir el aumento en la prima ocasionado por su incorporación en la nota.

3. El nivel de la barrera conviene que sea, por supuesto, inferior al tipo de cambio más bajo en el periodo de vigencia de la opción para evitar la cancelación de la opción y lo más cercano posible a dicho valor mínimo.
4. Los precios de ejercicio que permiten tener un beneficio por la inversión en la estructura, superior al del mercado son aquellos inferiores al valor del subyacente al inicio de la segunda etapa de la estructura. Sin embargo, aquellos tipos de cambio muy cercanos al inicial parecen ofrecer una utilidad solamente cuando el valor de la barrera está muy cercano al mínimo tipo de cambio en el período de vigencia de la opción barrera. Establecer un precio de ejercicio bajo, ofrece más posibilidades de utilidad para diferentes niveles de barrera, aunque no se pudo establecer una forma para determinar el precio de ejercicio que garantice la mayor ganancia posible.
5. Se observa también que al crecimiento de la barrera, la prima de la opción se vuelve significativamente menos sensible a los cambios en el precio de ejercicio establecido para la misma opción.

Referencias

- Black, F. y M. Scholes (1973). "The pricing of options and corporate liabilities". *Journal of Political Economy*, vol. 81, pp. 637-654.
- Blümke, A. (2009). *How to invest in structured products: a guide for investors and asset managers*, John Wiley & Sons, UK, pp. 215-250.
- Hens, T. y M. Rieger (2009). *The dark side of the moon: structured products from the customer's perspective*. SSRN e-Library, pp. 47-250.
- Knop, R. (2002). *Structured Products. A complete toolkit to face changing financial markets*, John Wiley & Sons, UK., pp. 98-109.
- Lamothe-Fernández, P. y M. Pérez-Somalo (2003). *Opciones Financieras y Productos Estructurados*, 2ª ed., McGraw-Hill, España.
- McCann, K y J. Cilia (1994). *Structured Notes*. Federal Reserve Bank of Chicago. Financial Markets Unit., pp. 215-242.
- Rubinstein, M. y E. Reiner (1991). "Breaking down the barriers". *Risk*, vol. 2, pp. 28-35.
- Venegas-Martínez, F. y B. González-Aréchiga (2000). "Mercados financieros incompletos y su impacto en los programas de estabilización de precios: el caso mexicano". *Momento Económico*, México, núm. 111, pp. 20-27.
- Venegas-Martínez, F. (2007). "Mercados de Notas Estructuradas: Un análisis descriptivo y métodos de evaluación". *El trimestre económico*, vol. LXXIV (3), núm. 295, pp. 615- 661.
- Venegas-Martínez, F. (2008). *Riesgos Financieros y Económicos*, 2ª ed., Cengage Learning. México.

Cuadro 13
Determinación de la prima, el pago y el rendimiento de la opción barrera ($K = 12.3$)

	$R(t,T)$	4.25%									
	Rendimiento sin riesgo en seis meses (cetes 182 días)			0.0227		Rendimiento en seis meses usando Tille				2.41%	
	Inversión inicial			112 782.72							
	Inversión en la segunda etapa			114 045.74		Segunda etapa P_n				112 833.56	
	Tipo de cambio más bajo en el periodo			12.6987							
	Tipo de cambio al final del periodo			12.9658							
$\sigma =$	19.41%										
K	12.3			Opción barrera sobre dólar (oct-dic, 2012)							
		% reembolso	0%	0.50%	0.75%	0.80%	0.90%	0.95%	0.99%	1%	2%
		R	0.0000	0.0641	0.0961	0.1025	0.1154	0.1218	0.1269	0.1282	0.2563
H	12.5	P_n	0.3955	0.4461	0.4714	0.4765	0.4866	0.4917	0.4957	0.4968	0.5980
		Pago al venc.	116 086.40	116 028.92	116 004.81	116 000.29	115 991.55	115 987.31	115 983.98	115 983.16	115 192.60
		Rendimiento	2.93%	2.88%	2.86%	2.85%	2.85%	2.84%	2.84%	2.84%	2.14%
		Rendim adic.	0.52%	0.47%	0.45%	0.44%	0.44%	0.43%	0.43%	0.43%	-0.27%
H	12.59	P_n	0.2952	0.3497	0.3770	0.3824	0.3933	0.3988	0.4031	0.4042	0.5132
		Pago al venc.	116 779.45	116 575.57	116 495.74	116 481.13	116 453.15	116 439.73	116 429.25	116 426.67	115 382.11
		Rendimiento	3.54%	3.36%	3.29%	3.28%	3.25%	3.24%	3.23%	3.23%	2.30%
		Rendim adic.	1.13%	0.95%	0.88%	0.87%	0.85%	0.83%	0.82%	0.82%	-0.10%
H	12.69	P_n	0.1693	0.2282	0.2576	0.2635	0.2753	0.2812	0.2859	0.2871	0.4048
		Pago al venc.	118 811.73	117 922.86	117 630.73	117 580.14	117 485.44	117 441.06	117 406.88	117,398.50	115 440.68
		Rendimiento	5.35%	4.56%	4.30%	4.25%	4.17%	4.13%	4.10%	4.09%	2.36%
		Rendim adic.	2.94%	2.15%	1.89%	1.84%	1.76%	1.72%	1.69%	1.68%	-0.05%
H	12.8	P_n	0.0130	0.0767	0.1086	0.1149	0.1277	0.1341	0.1391	0.1404	0.2678
		Pago al venc.	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 046.00
		Rendimiento	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%
		Rendim adic.	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 14
Determinación de la prima, el pago y el rendimiento de la opción barrera ($K = 12.4$)

	$R(t, T)$	4.25%									
	Rendimiento sin riesgo en seis meses (cetes 182 días)				0.0227	Rendimiento en seis meses usando Tlle				2.41%	
	Inversión inicial				112 782.72						
	Inversión en la segunda etapa				114 045.74	Segunda etapa P_n				112 833.56	
	Tipo de cambio más bajo en el periodo				12.6987						
	Tipo de cambio al final del periodo				12.9658						
$\sigma =$	19.28%										
K	12.4				Opción Barrera sobre dólar (oct-dic, 2012)						
		% reembolso	0%	0.50%	0.75%	0.80%	0.90%	0.95%	0.99%	1%	2%
		R	0.0000	0.0641	0.0961	0.1025	0.1154	0.1218	0.1269	0.1282	0.2563
H	12.5	P_n	0.3753	0.4258	0.4511	0.4562	0.4663	0.4713	0.4754	0.4764	0.5774
		Pago al venc.	115 873.18	115 838.75	115 824.43	115 821.76	115 816.58	115 814.08	115 812.11	115 811.63	115 771.62
		Rendimiento	2.74%	2.71%	2.70%	2.69%	2.69%	2.69%	2.69%	2.69%	2.65%
		Rendim adic.	0.33%	0.30%	0.29%	0.29%	0.28%	0.28%	0.28%	0.28%	0.24%
H	12.59	P_n	0.2810	0.3354	0.3626	0.3681	0.3789	0.3844	0.3887	0.3898	0.4987
		Pago al venc.	116 486.68	116 322.20	116 258.48	116 246.86	116 224.64	116 214.00	116 205.70	116 203.65	116 044.18
		Rendimiento	3.28%	3.14%	3.08%	3.07%	3.05%	3.04%	3.04%	3.03%	2.89%
		Rendim adic.	0.87%	0.73%	0.67%	0.66%	0.64%	0.63%	0.63%	0.62%	0.48%
H	12.69	P_n	0.1617	0.2205	0.2499	0.2558	0.2675	0.2734	0.2781	0.2793	0.3969
		Pago al venc.	118 288.38	117 508.87	117 256.73	117 213.26	117 132.06	117 094.07	117 064.84	117 057.69	116 556.47
		Rendimiento	4.88%	4.19%	3.97%	3.93%	3.86%	3.82%	3.80%	3.79%	3.35%
		Rendim adic.	2.47%	1.78%	1.56%	1.52%	1.45%	1.41%	1.39%	1.38%	0.94%
H	12.8	P_n	0.0125	0.0762	0.1080	0.1144	0.1271	0.1335	0.1386	0.1399	0.2673
		Pago al venc.	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74
		Rendimiento	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%
		Rendim adic.	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 15
Determinación de la prima, el pago y el rendimiento de la opción barrera ($K = 12.5$)

	$R(t, T)$	4.25%									
	Rendimiento sin riesgo en seis meses (cetes 182 días)			0.0227	Rendimiento en seis meses usando Tlle			2.41%			
	Inversión inicial			112 782.72							
	Inversión en la segunda etapa			114 045.74	Segunda etapa P_0			112 833.56			
	Tipo de cambio más bajo en el periodo			12.6987							
	Tipo de cambio al final del periodo			12.9658							
$\sigma =$	19.14%										
K	12.5	Opción barrera sobre dólar (oct-dic, 2012)									
		% reembolso	0%	0.50%	0.75%	0.80%	0.90%	0.95%	0.99%	1%	2%
		R	0.0000	0.0641	0.0961	0.1025	0.1154	0.1218	0.1269	0.1282	0.2563
H	12.5	P_n	0.3548	0.4053	0.4305	0.4355	0.4456	0.4506	0.4547	0.4557	0.5565
		Pago al venc.	115 637.01	115 630.71	115 628.12	115 627.63	115 626.70	115 626.25	115 625.89	115 625.81	115 618.66
		Rendimiento	2.53%	2.53%	2.52%	2.52%	2.52%	2.52%	2.52%	2.52%	2.51%
		Rendim adic.	0.12%	0.12%	0.11%	0.11%	0.11%	0.11%	0.11%	0.11%	0.11%
H	12.59	P_n	0.2665	0.3209	0.3480	0.3535	0.3643	0.3698	0.3741	0.3752	0.4839
		Pago al venc.	116 164.19	116 047.50	116 002.81	115 994.70	115 979.20	115 971.80	115 966.03	115 964.60	115 854.67
		Rendimiento	3.00%	2.89%	2.86%	2.85%	2.83%	2.83%	2.82%	2.82%	2.72%
		Rendim adic.	0.59%	0.49%	0.45%	0.44%	0.43%	0.42%	0.41%	0.41%	0.31%
H	12.69	P_n	0.1539	0.2126	0.2420	0.2479	0.2597	0.2655	0.2702	0.2714	0.3890
		Pago al venc.	117 715.23	117 066.33	116 860.06	116 824.68	116 758.71	116 727.92	116 704.25	116 698.46	116 296.23
		Rendimiento	4.37%	3.80%	3.62%	3.58%	3.53%	3.50%	3.48%	3.47%	3.12%
		Rendim adic.	1.96%	1.39%	1.21%	1.17%	1.12%	1.09%	1.07%	1.06%	0.71%
H	12.8	P_n	0.0119	0.0756	0.1075	0.1138	0.1266	0.1329	0.1380	0.1393	0.2667
		Pago al venc.	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74
		Rendimiento	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%
		Rendim adic.	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 16
Determinación de la prima, el pago y el rendimiento de la opción barrera ($K = 12.6$)

	$R(t, T)$	4.25%									
	Rendimiento sin riesgo en seis meses (cetes 182 días)			0.0227		Rendimiento en seis meses usando TIE				2.41%	
	Inversión inicial			112 782.72							
	Inversión en la segunda etapa			114 045.74		Segunda etapa P_D		112 833.56			
	Tipo de cambio más bajo en el periodo			12.6987							
	Tipo de cambio al final del periodo			12.9658							
$\sigma =$	18.99%										
K	12.6			Opción barrera sobre dólar (oct-dic, 2012)							
		% reembolso	0%	0.50%	0.75%	0.80%	0.90%	0.95%	0.99%	1%	2%
		R	0.0000	0.0641	0.0961	0.1025	0.1154	0.1218	0.1269	0.1282	0.2563
H	12.5	P_D	0.3340	0.3843	0.4095	0.4145	0.4246	0.4296	0.4336	0.4346	0.5352
		Pago al venc.	115 373.15	115 401.54	115 413.12	115 415.26	115 419.41	115 421.40	115 422.97	115 423.36	115 454.69
		Rendimiento	2.30%	2.32%	2.33%	2.33%	2.34%	2.34%	2.34%	2.34%	2.37%
		Rendim adic.	-0.11%	-0.09%	-0.08%	-0.08%	-0.07%	-0.07%	-0.07%	-0.07%	-0.04%
H	12.59	P_D	0.2519	0.3061	0.3332	0.3387	0.3495	0.3549	0.3593	0.3604	0.4689
		Pago al venc.	115 806.33	115 748.04	115 726.01	115 722.03	115 714.44	115 710.82	115 708.00	115 707.30	115 654.11
		Rendimiento	2.68%	2.63%	2.61%	2.61%	2.60%	2.60%	2.59%	2.59%	2.55%
		Rendim adic.	0.27%	0.22%	0.20%	0.20%	0.19%	0.19%	0.18%	0.18%	0.14%
H	12.69	P_D	0.1460	0.2047	0.2341	0.2399	0.2517	0.2575	0.2622	0.2634	0.3809
		Pago al venc.	117 083.47	116 591.48	116 438.07	116 411.89	116 363.20	116 340.52	116 323.11	116 318.85	116 025.81
		Rendimiento	3.81%	3.38%	3.24%	3.22%	3.17%	3.15%	3.14%	3.14%	2.88%
		Rendim adic.	1.40%	0.97%	0.83%	0.81%	0.77%	0.75%	0.73%	0.73%	0.47%
H	12.8	P_D	0.0113	0.0750	0.1069	0.1132	0.1260	0.1324	0.1375	0.1387	0.2661
		Pago al venc.	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74
		Rendimiento	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%
		Rendim adic.	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 17
Determinación de la prima, el pago y el rendimiento de la opción barrera ($K = 12.7$)

	$R(t,T)$	4.25%									
	Rendimiento sin riesgo en seis meses (cetes 182 días)			0.0227		Rendimiento en seis meses usando TIE			2.41%		
	Inversión inicial			112 782.72							
	Inversión en la segunda etapa			114 045.74		Segunda etapa P_0			112,833.56		
	Tipo de cambio más bajo en el periodo			12.6987							
	Tipo de cambio al final del periodo			12.9658							
$\sigma =$	18.83%										
K	12.7			Opción barrera sobre dólar (oct-dic, 2012)							
		% reembolso	0%	0.50%	0.75%	0.80%	0.90%	0.95%	0.99%	1%	2%
		R	0.0000	0.0641	0.0961	0.1025	0.1154	0.1218	0.1269	0.1282	0.2563
H	12.5	P_p	0.3130	0.3632	0.3883	0.3933	0.4033	0.4083	0.4123	0.4134	0.5137
		Pago al venc.	115 075.08	115 146.78	115 175.68	115 181.01	115 191.29	115 196.24	115 200.11	115 201.07	115 277.83
		Rendimiento	2.03%	2.10%	2.12%	2.13%	2.14%	2.14%	2.14%	2.14%	2.21%
		Rendim adic.	-0.38%	-0.31%	-0.29%	-0.28%	-0.27%	-0.27%	-0.27%	-0.26%	-0.20%
H	12.59	P_p	0.2369	0.2911	0.3182	0.3236	0.3344	0.3398	0.3442	0.3453	0.4536
		Pago al venc.	115 405.57	115 419.42	115 424.57	115 425.50	115 427.26	115 428.10	115 428.76	115 428.92	115 441.11
		Rendimiento	2.33%	2.34%	2.34%	2.34%	2.34%	2.35%	2.35%	2.35%	2.36%
		Rendim adic.	-0.08%	-0.07%	-0.07%	-0.07%	-0.06%	-0.06%	-0.06%	-0.06%	-0.05%
H	12.69	P_p	0.1379	0.1966	0.2259	0.2318	0.2435	0.2494	0.2541	0.2553	0.3726
		Pago al venc.	116 381.71	116 079.71	115 987.53	115 971.89	115 942.88	115 929.40	115 919.06	115 916.53	115 744.34
		Rendimiento	3.19%	2.92%	2.84%	2.83%	2.80%	2.79%	2.78%	2.78%	2.63%
		Rendim adic.	0.78%	0.51%	0.43%	0.42%	0.39%	0.38%	0.37%	0.37%	0.22%
H	12.8	P_p	0.0108	0.0745	0.1063	0.1127	0.1254	0.1318	0.1369	0.1381	0.2655
		Pago al venc.	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74
		Rendimiento	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%
		Rendim adic.	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 18
Determinación de la prima, el pago y el rendimiento de la opción barrera ($K = 12.8$)

	$R(t, T)$	4.25%									
	Rendimiento sin riesgo en seis meses (cetes 182 días)				0.0227	Rendimiento en seis meses usando Tlile				2.41%	
	Inversión inicial				112 782.72						
	Inversión en la segunda etapa				114 045.74	Segunda etapa P_n				112,833.56	
	Tipo de cambio más bajo en el periodo				12.6987						
	Tipo de cambio al final del periodo				12.9658						
$\sigma =$	18.70%										
K	12.8	Opción barrera sobre dólar (oct-dic, 2012)									
		% reembolso	0%	0.50%	0.75%	0.80%	0.90%	0.95%	0.99%	1%	2%
		R	0.0000	0.0641	0.0961	0.1025	0.1154	0.1218	0.1269	0.1282	0.2563
H	12.5	P_n	0.2919	0.3420	0.3670	0.3720	0.3820	0.3870	0.3910	0.3920	0.4921
		Pago al venc.	114 734.29	114 860.65	114 910.90	114 920.14	114 937.89	114 946.43	114 953.09	114 954.74	115 085.49
		Rendimiento	1.73%	1.84%	1.89%	1.90%	1.91%	1.92%	1.92%	1.93%	2.04%
		Rendim adic.	-0.68%	-0.57%	-0.52%	-0.51%	-0.50%	-0.49%	-0.48%	-0.48%	-0.37%
H	12.59	P_n	0.2218	0.2759	0.3030	0.3084	0.3192	0.3246	0.3289	0.3300	0.4382
		Pago al venc.	114 951.73	115 055.68	115 093.74	115 100.55	115 113.48	115 119.62	115 124.39	115 125.56	115 213.57
		Rendimiento	1.92%	2.02%	2.05%	2.06%	2.07%	2.07%	2.08%	2.08%	2.16%
		Rendim adic.	-0.49%	-0.39%	-0.36%	-0.35%	-0.34%	-0.34%	-0.33%	-0.33%	-0.25%
H	12.69	P_n	0.1297	0.1883	0.2177	0.2235	0.2352	0.2411	0.2458	0.2470	0.3642
		Pago al venc.	115 595.06	115 525.24	115 504.43	115 500.92	115 494.43	115 491.43	115 489.12	115 488.56	115 450.63
		Rendimiento	2.49%	2.43%	2.41%	2.41%	2.40%	2.40%	2.40%	2.40%	2.37%
		Rendim adic.	0.08%	0.02%	0.00%	0.00%	0.00%	-0.01%	-0.01%	-0.01%	-0.04%
H	12.8	P_n	0.0102	0.0739	0.1057	0.1121	0.1248	0.1312	0.1363	0.1375	0.2649
		Pago al venc.	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74
		Rendimiento	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%
		Rendim adic.	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 19
Determinación de la prima, el pago y el rendimiento de la opción barrera ($K = 12.8167$) opción ATM

	$R(t,T)$	4.25%								
	Rendimiento sin riesgo en seis meses (cetes 182 días)			0.0227		Rendimiento en seis meses usando TIE			2.41%	
	Inversión inicial			112 782.72						
	Inversión en la segunda etapa			114 045.74		Segunda etapa P_n			112 833.56	
	Tipo de cambio más bajo en el periodo			12.6987						
	Tipo de cambio al final del periodo			12.9658						
$\sigma =$	18.70%									
K	12.8167	Opción barrera sobre dólar (oct-dic, 2012)								
	% reembolso	0%	0.50%	0.75%	0.80%	0.90%	0.95%	0.99%	1%	2%
	R	0.0000	0.0641	0.0961	0.1025	0.1154	0.1218	0.1269	0.1282	0.2563
H	12.5	P_n	0.2884	0.3385	0.3635	0.3685	0.3785	0.3835	0.3875	0.4887
	Pago al venc.	114 672.42	114 809.24	114 863.51	114 873.48	114 892.63	114 901.83	114 909.02	114 910.80	115 051.48
	Rendimiento	1.68%	1.80%	1.84%	1.85%	1.87%	1.88%	1.89%	1.89%	2.01%
	Rendim adic.	-0.73%	-0.61%	-0.56%	-0.56%	-0.54%	-0.53%	-0.52%	-0.52%	-0.40%
H	12.59	P_n	0.2193	0.2734	0.3004	0.3058	0.3167	0.3221	0.3264	0.4356
	Pago al venc.	114 869.85	114 990.96	115 035.16	115 043.06	115 058.06	115 065.18	115 070.70	115 072.06	115 173.86
	Rendimiento	1.85%	1.96%	2.00%	2.00%	2.02%	2.02%	2.03%	2.03%	2.12%
	Rendim adic.	-0.56%	-0.45%	-0.41%	-0.41%	-0.39%	-0.39%	-0.38%	-0.38%	-0.29%
H	12.69	P_n	0.1283	0.1870	0.2163	0.2221	0.2339	0.2397	0.2444	0.3628
	Pago al venc.	115 454.10	115 427.96	115 420.20	115 418.90	115 416.48	115 415.36	115 414.51	115 414.30	115 400.22
	Rendimiento	2.37%	2.35%	2.34%	2.34%	2.34%	2.33%	2.33%	2.33%	2.32%
	Rendim adic.	-0.04%	-0.06%	-0.07%	-0.07%	-0.07%	-0.07%	-0.08%	-0.08%	-0.09%
H	12.8	P_n	0.0101	0.0738	0.1056	0.1120	0.1247	0.1311	0.1362	0.2648
	Pago al venc.	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74
	Rendimiento	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%
	Rendim adic.	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%

Fuente: elaboración propia.

Cuadro 20
Determinación de la prima, el pago y el rendimiento de la opción barrera ($K = 13$)

	R(t,T)	4.25%								
	Rendimiento sin riesgo en seis meses (cetes 182 días)			0.0227		Rendimiento en seis meses usando Tlle			2.41%	
	Inversión inicial			112 782.72						
	Inversión en la segunda etapa			114 045.74		Segunda etapa P_n			112,833.56	
	Tipo de cambio más bajo en el periodo			12.6987						
	Tipo de cambio al final del periodo			12.9658						
$\sigma =$	18.44%									
K	13			Opción barrera sobre dólar (oct-dic, 2012)						
	% reembolso	0%	0.50%	0.75%	0.80%	0.90%	0.95%	0.99%	1%	2%
	R	0.0000	0.0641	0.0961	0.1025	0.1154	0.1218	0.1269	0.1282	0.2563
H	12.5	P_n	0.2500	0.2999	0.3248	0.3298	0.3397	0.3447	0.3487	0.3497
	Pago al venc.	114 045.74	114 304.80	114 404.51	114 422.64	114 457.31	114 473.90	114 486.82	114 490.01	114 737.17
	Rendimiento	1.12%	1.35%	1.44%	1.45%	1.48%	1.50%	1.51%	1.51%	1.73%
	Rendim adic.	-1.29%	-1.06%	-0.97%	-0.96%	-0.92%	-0.91%	-0.90%	-0.90%	-0.68%
H	12.59	P_n	0.1916	0.2455	0.2725	0.2779	0.2887	0.2941	0.2984	0.2995
	Pago al venc.	114 045.74	114 362.12	114 473.35	114 493.01	114 530.12	114 547.65	114 561.22	114 564.55	114 808.62
	Rendimiento	1.12%	1.40%	1.50%	1.52%	1.55%	1.56%	1.58%	1.58%	1.80%
	Rendim adic.	-1.29%	-1.01%	-0.91%	-0.89%	-0.86%	-0.84%	-0.83%	-0.83%	-0.61%
H	12.69	P_n	0.1131	0.1717	0.2009	0.2068	0.2185	0.2243	0.2290	0.2302
	Pago al venc.	114 045.74	114 498.26	114 625.65	114 646.80	114 685.70	114 703.63	114 717.31	114 720.64	114 940.49
	Rendimiento	1.12%	1.52%	1.63%	1.65%	1.69%	1.70%	1.72%	1.72%	1.91%
	Rendim adic.	-1.29%	-0.89%	-0.78%	-0.76%	-0.72%	-0.71%	-0.69%	-0.69%	-0.50%
H	12.8	P_n	0.0090	0.0726	0.1045	0.1109	0.1236	0.1300	0.1351	0.1363
	Pago al venc.	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74	114 045.74
	Rendimiento	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%	1.12%
	Rendim adic.	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%	-1.29%

Fuente: elaboración propia.