



Munich Personal RePEc Archive

## **An Investment and Hedging Strategy by Combining Structured Notes**

Aguilar-Juárez, Isabel Patricia and Venegas-Martínez,  
Francisco

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México,  
Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional

27 September 2014

Online at <https://mpra.ub.uni-muenchen.de/58928/>

MPRA Paper No. 58928, posted 30 Sep 2014 12:18 UTC

# **Una estrategia de inversión y cobertura mediante la combinación de notas estructuradas**

**(An investment and hedging strategy by combining structured notes)**

*Isabel Patricia Aguilar-Juárez*

Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México  
[ipaguilarj@gmail.com](mailto:ipaguilarj@gmail.com)

*Francisco Venegas-Martínez*

Escuela Superior de Economía, Instituto Politécnico Nacional  
[fvenegas1111@yahoo.com.mx](mailto:fvenegas1111@yahoo.com.mx)

## **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 período 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.

**Clasificación JEL:** G13, G11, D92.

**Palabras clave:** notas estructuradas, inversión privada, portafolios.

## **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.

**JEL Classification:** G13, G11, D92

**Keywords:** structured notes, private investment, portfolios.

# 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, 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 períodos 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 períodos, 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 período de vigencia de esta estructura. El precio del cede call spread está dado por:

$$P_V = B + P_D F$$

en donde

$P_V$  : es el valor del cede,

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

$P_D$  : es la prima neta de las opciones involucradas en la estructura,

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

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

$$P_D = c_1 - c_2$$

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

$T - t$  : es el número de días por vencer del cede como proporción del año,

$R(t, T)$  : es la 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)<sup>1</sup>,

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

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

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

---

<sup>1</sup> Esta valuación es bajo el supuesto de mercados completos, véase Venegas-Martínez y González-Aréchiga

## 2.2 Cede put spread

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:

$$P_V = B + P_D F$$

en donde

$P_V$  : es el valor del cede,

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

$P_D$  : es la prima neta de las opciones involucradas en la estructura,

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

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

$$P_D = p_2 - p_1$$

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

$T - t$  : es el número de días por vencer del Cede como proporción del año,

$R(t, T)$  : es la 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 cedos 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.

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 $t$	$S_t > H_L$

Cuadro 1. Pago al vencimiento del cede Knock out down and out

La estructura de los cedos 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. L 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  $K \leq H$ ,

$$B = S_t \Phi(x_2) - K e^{-r(T-t)} \Phi(x_2 - \sigma\sqrt{T-t})$$

$$D = S_t \left( \frac{H_L}{S_t} \right)^{2(\mu+1)} \Phi(y_2) - K e^{-r(T-t)} \left( \frac{H_L}{S_t} \right)^{2\mu} \Phi(y_2 - \sigma\sqrt{T-t})$$

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

y

$$P_D = B - D + F$$

en donde

$$x_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{K}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t}$$

$$y_1 = \frac{\ln\left(\frac{H_L^2}{S_t K}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t}$$

$$x_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_t}{H_L}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t}$$

$$y_2 = \frac{\ln\left(\frac{H_L}{S_t}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t}$$

$$z = \frac{\ln\left(\frac{H_L}{S_t}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + \lambda\sigma\sqrt{T-t}$$

$$\mu = \frac{r - \frac{\sigma^2}{2}}{\sigma\sqrt{T-t}}$$

$$\lambda = \mu^2 + \frac{2r}{\sigma^2}$$

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,  
 $\sigma$  : 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 período, 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 cedos 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 call spread 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.

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 $t \in (T, T_1)$	$S_t > H_L$

Cuadro 2. Pago al vencimiento de la estructura horizontal.

en donde

$S_t$  : valor inicial del subyacente,  
 $N_1 + N_2$  : pago al vencimiento de la estructura vertical, es decir es el  
 $+ (K_2 - K_1)F_C$  : monto 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 período 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

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

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

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

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  $K > H_L$

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

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

$$x_1 = \frac{\ln\left(\frac{S_t e^{-r_F(T-t)}}{K}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t} \qquad y_1 = \frac{\ln\left(\frac{H_L^2}{S_t e^{-r_F(T-t)} K}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t}$$

$$x_2 = \frac{\ln\left(\frac{S_t e^{-r_F(T-t)}}{H_L}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t} \qquad y_2 = \frac{\ln\left(\frac{H_L}{S_t e^{-r_F(T-t)}}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + (\mu+1)\sigma\sqrt{T-t}$$

$$z = \frac{\ln\left(\frac{H_L}{S_t e^{-r_F(T-t)}}\right)}{\sigma\sqrt{T-t}} + \lambda\sigma\sqrt{T-t} \qquad \mu = \frac{r_D - r_F - \frac{\sigma^2}{2}}{\sigma\sqrt{T-t}}$$

$$\lambda = \mu^2 + \frac{2(r_D - r_F)}{\sigma^2}$$

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,

$\sigma$  : 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 3 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 valuar las opciones se presentan en los Cuadros 4 y 5. En tanto que en el Cuadro 6 se muestran las primas  $c_1$  y  $c_2$  de las opciones de compra inmersas en el cede.

$S_t$	$r_F$	$r_D$	$\sigma_1$	$K_1$	$\sigma_2$	$K_2$	$T - t$
13.3249	0.25%	4.43%	17.57%	13.5	16.51%	14	0.252777778

Cuadro 3. Parámetros para la valuación de las opciones de compra inmersas en el cede call spread.

$d_1$	$\phi(d_1)$	$d_2$	$\phi(d_2)$
0.01599084	0.50637915	-0.07234587	0.47116333

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

$d_1$	$\phi(d_1)$	$d_2$	$\phi(d_2)$
-0.42660856	0.33483223	-0.5096159	0.30516029

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

$c_1$	$c_2$	$P_D$
0.4533141	0.2341173	0.2191968

Cuadro 6. Valuación de las opciones del cede call spread

De esta manera,

$$F_C = \frac{N-B}{P_D} = 2,526.0514$$

Por lo tanto, la prima del cede call spread asciende a

$$P_V = B + P_D F = 50,000.00,$$

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,

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

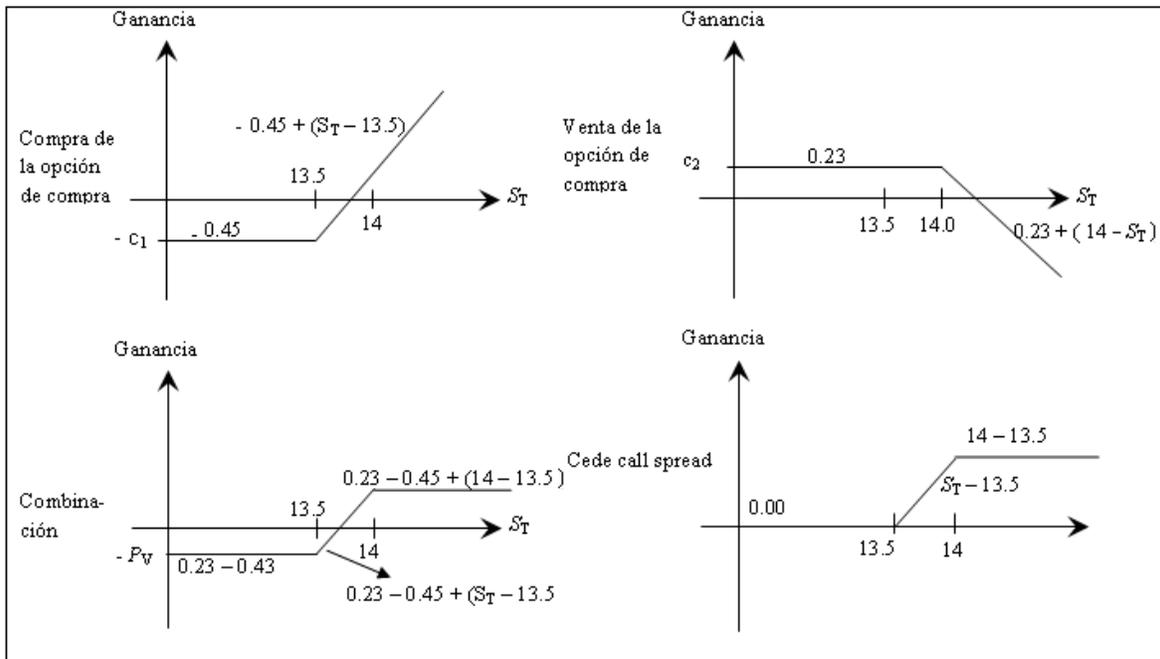


Figura 1. Ganancia al vencimiento del cede call spread

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

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

$St$	$r_F$	$r_D$	$\sigma_1$	$K_1$	$\sigma_2$	$K_2$	$T - t$
13.3249	0.25%	4.43%	17.57%	13.5	16.51%	14	0.252777778

Cuadro 7. Parámetros para la valuación de las opciones de venta inmersas en el cede put spread.

$d_1$	$\phi(-d_1)$	$d_2$	$\phi(-d_2)$
0.01599084	0.49362085	-0.07234587	0.52883667

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

$d_1$	$\phi(-d_1)$	$d_2$	$\phi(-d_2)$
-0.42660856	0.66516777	-0.5096159	0.69483971

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

$p_2$	$p_1$	$P_D$
0.76173697	0.48650156	0.27523541

Cuadro 10. Valuación de las opciones del cede put spread

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 cedes 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 3 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 3 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:

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

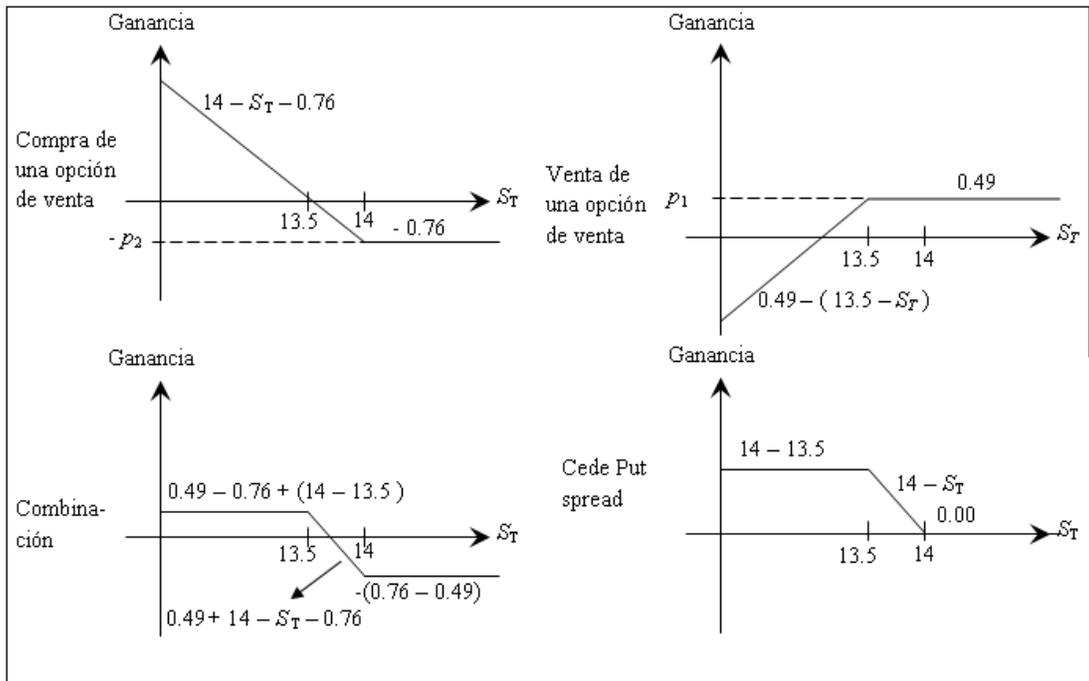


Figura 2. Ganancia al vencimiento del cede put spread

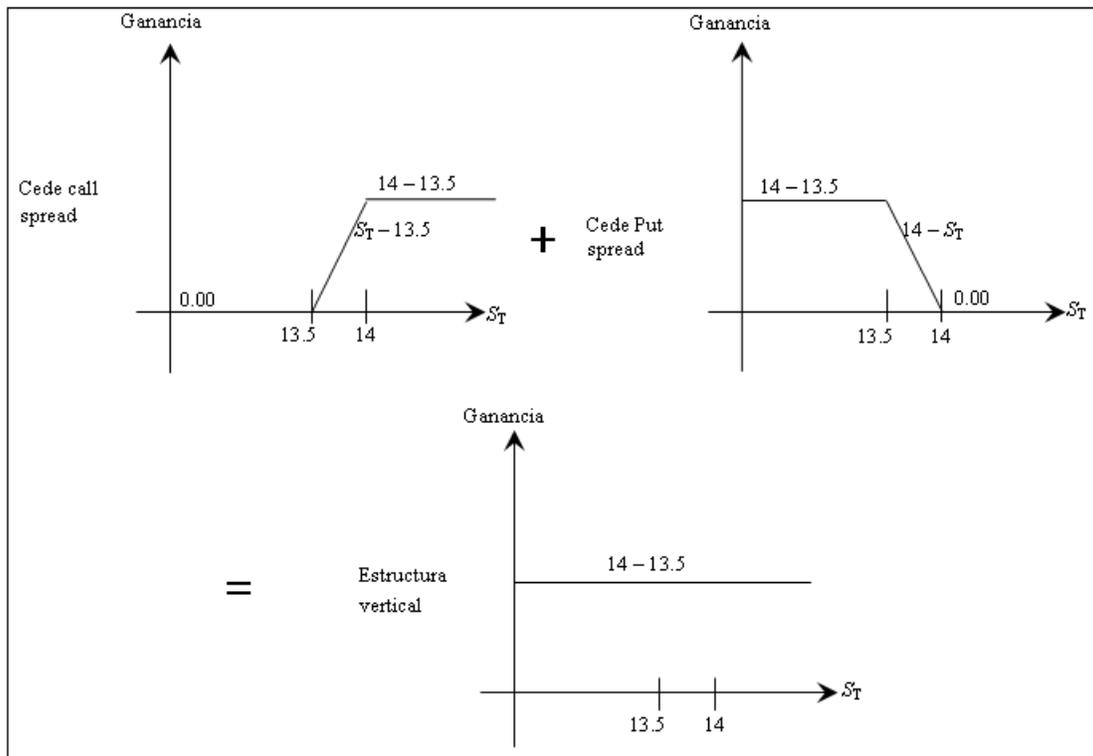


Figura 3. Ganancia al final de la estructura vertical

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.

$H_L$	12.5
$K$	12.5
$S_T$	12.8167
$r_F$	0.25%
$r_D$	4.25%
$\sigma$	19.14%
$T_1 - T$	0.2528
$R$	0.128167

$\mu$	0.591883051
$\lambda$	1.591883051
$x_2$	0.406625537
$y_2$	-0.100251095
$z$	-0.100251095
$B$	0.735938105
$D$	0.381106814
$F$	0.100841684

$x_1$	0.4066255
$y_1$	-0.100251

$A$	0.7359381
$C$	0.3811068

$P_D = 0.455673$
------------------

Cuadro 11. Cálculo de la prima  $P_D$  de la opción barrera

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:

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%

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

En realidad la cotización del dólar más baja en el período 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 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 período 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 período 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 período. 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.

$R(t,T)$	4.25%											
Rendimiento sin riesgo en 6 meses (cetes 182 días)				0.0227				Rendimiento en 6 meses usando TIIE	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 período:				12.6987								
Tipo de cambio al final del período:				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	$P_D$	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		
	<b>Rendimiento</b>	<b>2.93%</b>	<b>2.88%</b>	<b>2.86%</b>	<b>2.85%</b>	<b>2.85%</b>	<b>2.84%</b>	<b>2.84%</b>	<b>2.84%</b>	2.14%		
	<b>Rendim adic.</b>	<b>0.52%</b>	<b>0.47%</b>	<b>0.45%</b>	<b>0.44%</b>	<b>0.44%</b>	<b>0.43%</b>	<b>0.43%</b>	<b>0.43%</b>	-0.27%		
$H$	12.59	$P_D$	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		
	<b>Rendimiento</b>	<b>3.54%</b>	<b>3.36%</b>	<b>3.29%</b>	<b>3.28%</b>	<b>3.25%</b>	<b>3.24%</b>	<b>3.23%</b>	<b>3.23%</b>	2.30%		
	<b>Rendim adic.</b>	<b>1.13%</b>	<b>0.95%</b>	<b>0.88%</b>	<b>0.87%</b>	<b>0.85%</b>	<b>0.83%</b>	<b>0.82%</b>	<b>0.82%</b>	-0.10%		
$H$	12.69	$P_D$	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		
	<b>Rendimiento</b>	<b>5.35%</b>	<b>4.56%</b>	<b>4.30%</b>	<b>4.25%</b>	<b>4.17%</b>	<b>4.13%</b>	<b>4.10%</b>	<b>4.09%</b>	2.36%		
	<b>Rendim adic.</b>	<b>2.94%</b>	<b>2.15%</b>	<b>1.89%</b>	<b>1.84%</b>	<b>1.76%</b>	<b>1.72%</b>	<b>1.69%</b>	<b>1.68%</b>	-0.05%		
$H$	12.8	$P_D$	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%		

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

En el cuadro 14 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 período 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.

	$R(t,T)$	4.25%									
	Rendimiento sin riesgo en 6 meses (cetes 182 días)		0.0227		Rendimiento en 6 meses usando TIIE		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 período:		12.6987								
	Tipo de cambio al final del período:		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	$P_D$	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
		<b>Rendimiento</b>	<b>2.74%</b>	<b>2.71%</b>	<b>2.70%</b>	<b>2.69%</b>	<b>2.69%</b>	<b>2.69%</b>	<b>2.69%</b>	<b>2.69%</b>	<b>2.65%</b>
		<b>Rendim adic.</b>	<b>0.33%</b>	<b>0.30%</b>	<b>0.29%</b>	<b>0.29%</b>	<b>0.28%</b>	<b>0.28%</b>	<b>0.28%</b>	<b>0.28%</b>	<b>0.24%</b>
$H$	12.59	$P_D$	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
		<b>Rendimiento</b>	<b>3.28%</b>	<b>3.14%</b>	<b>3.08%</b>	<b>3.07%</b>	<b>3.05%</b>	<b>3.04%</b>	<b>3.04%</b>	<b>3.03%</b>	<b>2.89%</b>
		<b>Rendim adic.</b>	<b>0.87%</b>	<b>0.73%</b>	<b>0.67%</b>	<b>0.66%</b>	<b>0.64%</b>	<b>0.63%</b>	<b>0.63%</b>	<b>0.62%</b>	<b>0.48%</b>
$H$	12.69	$P_D$	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
		<b>Rendimiento</b>	<b>4.88%</b>	<b>4.19%</b>	<b>3.97%</b>	<b>3.93%</b>	<b>3.86%</b>	<b>3.82%</b>	<b>3.80%</b>	<b>3.79%</b>	<b>3.35%</b>
		<b>Rendim adic.</b>	<b>2.47%</b>	<b>1.78%</b>	<b>1.56%</b>	<b>1.52%</b>	<b>1.45%</b>	<b>1.41%</b>	<b>1.39%</b>	<b>1.38%</b>	<b>0.94%</b>
$H$	12.8	$P_D$	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%

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

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 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.

	$R(t,T)$	4.25%									
	Rendimiento sin riesgo en 6 meses (cetes 182 días)			0.0227			Rendimiento en 6 meses usando THIE			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 período:			12.6987							
	Tipo de cambio al final del período:			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
	$H$	$P_D$	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
		<b>Rendimiento</b>	<b>2.53%</b>	<b>2.53%</b>	<b>2.52%</b>	<b>2.52%</b>	<b>2.52%</b>	<b>2.52%</b>	<b>2.52%</b>	<b>2.52%</b>	<b>2.51%</b>
		<b>Rendim adic.</b>	<b>0.12%</b>	<b>0.12%</b>	<b>0.11%</b>	<b>0.11%</b>	<b>0.11%</b>	<b>0.11%</b>	<b>0.11%</b>	<b>0.11%</b>	<b>0.11%</b>
	$H$	$P_D$	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
		<b>Rendimiento</b>	<b>3.00%</b>	<b>2.89%</b>	<b>2.86%</b>	<b>2.85%</b>	<b>2.83%</b>	<b>2.83%</b>	<b>2.82%</b>	<b>2.82%</b>	<b>2.72%</b>
		<b>Rendim adic.</b>	<b>0.59%</b>	<b>0.49%</b>	<b>0.45%</b>	<b>0.44%</b>	<b>0.43%</b>	<b>0.42%</b>	<b>0.41%</b>	<b>0.41%</b>	<b>0.31%</b>
	$H$	$P_D$	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
		<b>Rendimiento</b>	<b>4.37%</b>	<b>3.80%</b>	<b>3.62%</b>	<b>3.58%</b>	<b>3.53%</b>	<b>3.50%</b>	<b>3.48%</b>	<b>3.47%</b>	<b>3.12%</b>
		<b>Rendim adic.</b>	<b>1.96%</b>	<b>1.39%</b>	<b>1.21%</b>	<b>1.17%</b>	<b>1.12%</b>	<b>1.09%</b>	<b>1.07%</b>	<b>1.06%</b>	<b>0.71%</b>
	$H$	$P_D$	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%

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

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 período 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, 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 TIE que es el rendimiento que se está tomando como base de comparación.

$R(t,T)$	4.25%										
	Rendimiento sin riesgo en 6 meses (cetes 182 días)			2.27%			Rendimiento en 6 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 período:			12.6987							
	Tipo de cambio al final del período:			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	
$H$	$P_D$	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%	
$H$	$P_D$	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	
	<b>Rendimiento</b>	<b>2.68%</b>	<b>2.63%</b>	<b>2.61%</b>	<b>2.61%</b>	<b>2.60%</b>	<b>2.60%</b>	<b>2.59%</b>	<b>2.59%</b>	<b>2.55%</b>	
	<b>Rendim adic.</b>	<b>0.27%</b>	<b>0.22%</b>	<b>0.20%</b>	<b>0.20%</b>	<b>0.19%</b>	<b>0.19%</b>	<b>0.18%</b>	<b>0.18%</b>	<b>0.14%</b>	
$H$	$P_D$	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	
	<b>Rendimiento</b>	<b>3.81%</b>	<b>3.38%</b>	<b>3.24%</b>	<b>3.22%</b>	<b>3.17%</b>	<b>3.15%</b>	<b>3.14%</b>	<b>3.14%</b>	<b>2.88%</b>	
	<b>Rendim adic.</b>	<b>1.40%</b>	<b>0.97%</b>	<b>0.83%</b>	<b>0.81%</b>	<b>0.77%</b>	<b>0.75%</b>	<b>0.73%</b>	<b>0.73%</b>	<b>0.47%</b>	
$H$	$P_D$	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%	

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

En el Cuadro 17 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.

	$R(t,T)$	4.25%									
	Rendimiento sin riesgo en 6 meses (cetes 182 días)			0.0227			Rendimiento en 6 meses usando TIIE			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 período:			12.6987							
	Tipo de cambio al final del período:			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	
$H$	$P_D$	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%	
$H$	$P_D$	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%	
$H$	$P_D$	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	
	<b>Rendimiento</b>	<b>3.19%</b>	<b>2.92%</b>	<b>2.84%</b>	<b>2.83%</b>	<b>2.80%</b>	<b>2.79%</b>	<b>2.78%</b>	<b>2.78%</b>	<b>2.63%</b>	
	<b>Rendim adic.</b>	<b>0.78%</b>	<b>0.51%</b>	<b>0.43%</b>	<b>0.42%</b>	<b>0.39%</b>	<b>0.38%</b>	<b>0.37%</b>	<b>0.37%</b>	<b>0.22%</b>	
$H$	$P_D$	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%	

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

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. 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.

	$R(t,T)$	4.25%									
	Rendimiento sin riesgo en 6 meses (cetes 182 días)		0.0227			Rendimiento en 6 meses usando TIEE		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 período:		12.6987								
	Tipo de cambio al final del período:		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	$P_D$	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	$P_D$	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	$P_D$	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
		<b>Rendimiento</b>	<b>2.49%</b>	<b>2.43%</b>	<b>2.41%</b>	<b>2.41%</b>	<b>2.40%</b>	<b>2.40%</b>	<b>2.40%</b>	<b>2.40%</b>	<b>2.37%</b>
		<b>Rendim adic.</b>	<b>0.08%</b>	<b>0.02%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>0.00%</b>	<b>-0.01%</b>	<b>-0.01%</b>	<b>-0.01%</b>	<b>-0.04%</b>
$H$	12.8	$P_D$	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%

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

En 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 y como se puede observar, no existe una opción de inversión con mayor rentabilidad que la del mercado.

<sup>2</sup> Por sus siglas en inglés.

	$R(t,T)$	4.25%									
	Rendimiento sin riesgo en 6 meses (cetes 182 días)				0.0227		Rendimiento en 6 meses usando TIII				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 período:				12.6987						
	Tipo de cambio al final del período:				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	$P_D$	0.2884	0.3385	0.3635	0.3685	0.3785	0.3835	0.3875	0.3885	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	$P_D$	0.2193	0.2734	0.3004	0.3058	0.3167	0.3221	0.3264	0.3275	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	$P_D$	0.1283	0.1870	0.2163	0.2221	0.2339	0.2397	0.2444	0.2456	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	$P_D$	0.0101	0.0738	0.1056	0.1120	0.1247	0.1311	0.1362	0.1374	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%

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

La misma situación que en la opción con  $K=12.8167$  se presenta en el cuadro Cuadro 20 en el que se calculan los rendimientos usando  $K = 13$ , aunque las pérdidas son mayores en este último caso. Definitivamente estas 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.

	$R(t,T)$	4.25%									
	Rendimiento sin riesgo en 6 meses (cetes 182 días)				0.0227		Rendimiento en 6 meses usando TIIIE				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 período:				12.6987						
	Tipo de cambio al final del período:				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	$P_D$	0.2500	0.2999	0.3248	0.3298	0.3397	0.3447	0.3487	0.3497	0.4494
		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	$P_D$	0.1916	0.2455	0.2725	0.2779	0.2887	0.2941	0.2984	0.2995	0.4073
		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	$P_D$	0.1131	0.1717	0.2009	0.2068	0.2185	0.2243	0.2290	0.2302	0.3473
		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	$P_D$	0.0090	0.0726	0.1045	0.1109	0.1236	0.1300	0.1351	0.1363	0.2637
		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%

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

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 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 período 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 período 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 período de 6 meses los nominales  $N_1$  y  $N_2$  serían los que a continuación se calculan:

$$N_1 + N_2 = 112,782.72$$

$$F_C = \frac{N_1 - \frac{N_1}{1 + R(t, T)(T-t)}}{P_{DC}} = \frac{N_2 - \frac{N_2}{1 + R(t, T)(T-t)}}{P_{DP}}$$

$$\frac{N_1(1 + R(t, T)(T-t)) - N_1}{P_{DC}(1 + R(t, T)(T-t))} = \frac{N_2(1 + R(t, T)(T-t)) - N_2}{P_{DP}(1 + R(t, T)(T-t))}$$

$$(N_1 P_{Dp} - N_2 P_{Dc})(1 + R(t, T)(T - t)) - (N_1 P_{Dp} - N_2 P_{Dc}) = 0$$

$$(N_1 P_{Dp} - N_2 P_{Dc}) R(t, T)(T - t) = 0$$

$$N_1 P_{Dp} - N_2 P_{Dc} = 0$$

$$112,782.72 P_{Dp} - N_2 (P_{Dp} + P_{Dc}) = 0$$

$$N_2 = \frac{112,782.72 P_{Dp}}{P_{Dp} + P_{Dc}} = 53,680.2748$$

$$N_1 = 112,782.72 - N_2 = 59,102.4452$$

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 cedés 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 Cuadro 21 y Cuadro 22, en donde se muestra que el rendimiento de esta inversión sería 2.271% y el flujo de efectivo final \$ 115,343.54.

Valuación de una opción de compra de tipo de cambio																
$St$	$r_F$	$r_D$	$\sigma_1$	$K_1$	$\sigma_2$	$K_2$	$T - t$									
13.3249	0.25%	4.54%	17.57%	13.5	16.51%	14	0.5									
$d_{11}$	$\phi(d_{11})$		$d_{21}$	$\phi(d_{21})$	Parámetros $d_1$ y $d_2$ para la opción con precio de ejercicio $K_1$											
0.12968912	0.5515938		0.00545046	0.50217441												
$d_{12}$	$\phi(d_{12})$		$d_{22}$	$\phi(d_{22})$	Parámetros $d_1$ y $d_2$ para la opción con precio de ejercicio $K_2$											
-0.18123829	0.42809027		-0.29798162	0.38285859												
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Valuación del Cede call spread</th> </tr> <tr> <th><math>c_1</math></th> <th><math>c_2</math></th> <th><math>P_D</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.71355393</td> <td>0.4574157</td> <td>0.25613823</td> </tr> </tbody> </table>								Valuación del Cede call spread			$c_1$	$c_2$	$P_D$	0.71355393	0.4574157	0.25613823
Valuación del Cede call spread																
$c_1$	$c_2$	$P_D$														
0.71355393	0.4574157	0.25613823														
$R(t, T) =$	4.54%															
$N_1$	$B$	$F_C$														
59,102.4452	57,790.5986	5,121.6352														

Cuadro 21. Prima del cede call spread a 6 meses

Valuación de una opción de venta de tipo de cambio																
$S_t$	$r_F$	$r_D$	$\sigma_1$	$K_1$	$\sigma_2$	$K_2$	$T - t$									
13.3249	0.25%	4.54%	17.57%	13.5	16.51%	14	0.5									
$d_{11}$	$\phi(-d_{11})$		$d_{21}$	$\phi(-d_{21})$	Parámetros $d_1$ y $d_2$ para la opción con precio de ejercicio $K_1$											
0.12968912	0.4484062		0.00545046	0.49782559												
$d_{12}$	$\phi(-d_{12})$		$d_{22}$	$\phi(-d_{22})$	Parámetros $d_1$ y $d_2$ para la opción con precio de ejercicio $K_2$											
-0.18123829	0.57190973		-0.29798162	0.61714141												
<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <thead> <tr> <th colspan="3">Valuación del Cede call spread</th> </tr> <tr> <th><math>p_2</math></th> <th><math>p_1</math></th> <th><math>P_D</math></th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0.83494131</td> <td>0.60230169</td> <td>0.23263962</td> </tr> </tbody> </table>								Valuación del Cede call spread			$p_2$	$p_1$	$P_D$	0.83494131	0.60230169	0.23263962
Valuación del Cede call spread																
$p_2$	$p_1$	$P_D$														
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														

Cuadro 22. Prima del cede put spread a 6 meses

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

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 6 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 período 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 período 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 la tabla siguiente se muestra una comparativa de las distintas Ganancias Anuales Totales (GAT) dependiendo del monto inicial y del vencimiento seleccionados.

<b>BBVA Bancomer CEDE Tasa Fija</b>	<b>Monto para el cálculo*</b>	<b>91 días GAT</b>	<b>180 días GAT</b>
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%

Cuadro 23. Comparación de alternativas

\*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.

## 6. Conclusiones

Los desarrollos tecnológicos no solamente la comunicación en tiempo real, sino también la posibilidad de realizar inversiones en cualquier fecha y hora. Por lo tanto, 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, instrumentos de inversión que permiten la administración del riesgo del inversionista, son instrumentos 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 sólo 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 cota mínima a la tasa de rendimiento, pero no una cota 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 cedés involucrados: un cedé 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 desarrollo 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 incremente 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 período 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.

## **Bibliografía**

- Black, F. and 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 , U.K.
- Hens, T. y Rieger, M. (2009). The dark side of the moon: structured products from the customer's perspective. SSRN e-Library.
- Knop, R (2002). Structured Products. A complete toolkit to face changing financial markets, John Wiley & Sons, UK.
- Lamothe Fernández, P. y Pérez Somalo, M (2003). Opciones Financieras y Productos Estructurados, 2ª edición, Mc Graw Hill, España.
- McCann, K., y Cilia, J (1994). Structured Notes. Federal Reserve Bank of Chicago. Financial Markets Unit.
- Rubinstein, M, and 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*, No. 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 edición, Cengage Learning. México.