UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

“INSTRUMENTOS FINANCIEROS MÁS IMPORTANTES EN EL MERCADO DE DINERO Y MERCADO DE DERIVADOS EN MÉXICO CON UNA APLICACIÓN DE SOFTWARE PARA LA CURVA CERO”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

ACTUARIA

P R E S E N T A :

CLAUDIA LIZETH RAMÍREZ CORONADO

JAQUELINE PÉREZ ESPINO

DIRECTOR DE TESIS:
M. EN I. JORGE LUIS SILVA HARO

2012

Hoja de Datos del Jurado de Claudia

1. Datos del alumno
Ramírez
Coronado
Claudia Lizeth
59134961
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Actuaría
300199525

2. Datos del tutor
M en I
Jorge Luis
Silva
Haro

3. Datos del sinodal 1
M en C
Jesús Agustín
Cano
Garcés

4. Datos del sinodal 2
Dra
María del Pilar

Alonso
Reyes

5. Datos del sinodal 3
Act
Enrique
Maturano
Rodríguez

6. Datos del sinodal 4
M en I
José Antonio
Climent
Hernández

7. Datos del trabajo escrito
Instrumentos Financieros más importantes en el Mercado de Dinero y Mercado de Derivados en México con una aplicación de Software para la Curva Cero
299 p
2012

Hoja de Datos del Jurado de Jaqueline

1. Datos del alumno
Pérez
Espino
Jaqueline
22380754
Universidad Nacional Autónoma de México
Facultad de Ciencias
Actuaría
300330092

2. Datos del tutor
M en I
Jorge Luis
Silva
Haro

3. Datos del sinodal 1
M en C
Jesús Agustín
Cano
Garcés

4. Datos del sinodal 2
Dra
María del Pilar

Alonso
Reyes

5. Datos del sinodal 3
Act
Enrique
Maturano
Rodríguez

6. Datos del sinodal 4
M en I
José Antonio
Climent
Hernández

7. Datos del trabajo escrito
Instrumentos Financieros más importantes en el Mercado de Dinero y Mercado de Derivados en México con una aplicación de Software para la Curva Cero
299 p
2012

Agradecimientos de Claudia

A *Dios* por darme todo lo que tengo.

A mis padres, *Irma Coronado Jurado* y *Miguel Ángel Ramírez Santa Cruz*, por brindarme su amor incondicional y porque siempre están cuando más los necesito. En especial a ustedes les dedico esta tesis.

A mis hermanos, *María de los Angeles*, *Miguel de Jesús* y *Diana*, por ser unos hermanos cariñosos y porque siempre me dan amor y su amistad. Sé que siempre puedo contar con ustedes.

A mi esposo, *Ismael Barrón Morgade*, por su amor, tolerancia y apoyo. Gracias por tenerme paciencia para terminar este trabajo.

A mi amiga, *Jaqueline Pérez Espino*, por brindarme su amistad incondicional y porque siempre estaremos en las buenas y en las malas. Gracias por ser mi compañera de tesis.

A mi abuela, *Teresa Jurado Vigueras*, por sus enseñanzas, amor y por ser una segunda madre en los primeros años de mi vida.

A *Ma. Guadalupe Morgade Villar* y *Mercedes Villar Juárez*, por su amor y comprensión en todo momento.

A mis padrinos, *Ma. Auxilio Padilla* y *Alfonso Hernández*, que siempre están al pendiente de mí.

A mis *tías*, *tíos*, *primas*, *primos*, *cuñadas*, *cuñados*, *suegro*, *amigas* y *amigos* que siempre me demuestran su cariño.

A mi tutor, *Jorge Luis Silva Haro*, por su dedicación y tiempo para terminar esta tesis.

A mis sinodales, *Jesús Agustín Cano Garcés*, *María del Pilar Alonso Reyes*, *Enrique Maturano Rodríguez* y *José Antonio Climent Hernández*, por su

dedicación y tiempo en la revisión de este trabajo.

A la *Universidad Nacional Autónoma de México* y a la *Facultad de Ciencias* por darme la oportunidad de estudiar mi carrera.

“No estudio por saber más, sino por ignorar menos”.
Sor Juana Inés de la Cruz

Agradecimientos de Jaqueline

A Dios, el principal autor de mi vida, por todo lo que me ha permitido aprender,lograr y amar. Sin su ayuda no hubiera alcanzado este reto.

A mi madre, Guadalupe Espino Rueda, con todo mi amor agradezco, por ser mi mejor amiga, mi aliada y la mujer que más admiro en esta vida. Ella me impulso a lograr una carrera profesional para demostrarle que todo su esfuerzo valía la pena.

A mi padre, Lázaro Pérez Sánchez, a quién adoro y que con su ejemplo de trabajar y estudiar para lograr una formación profesional, me enseño que todo lo que deseamos se puede lograr con base en nuestro esfuerzo, responsabilidad, honestidad y fe en dios.

A ambos les debo lo que soy, por lo cual les dedico mi tesis. ¡Los amo!

A mis hermanos, Carolina, Daniel, Jesús y Miguel Ángel; gracias por su amor, apoyo y por estar siempre a mi lado en el aprendizaje que nos ha dado la vida. Deseo de todo corazón que sean siempre mejores que yo, que logren grandes cosas y que dios los bendiga. Les regalo mi tesis con mucho cariño.

A mis abuelos, María Rueda Guijosa y Bernardo Espino Camacho por estar siempre en los momentos importantes y por quererme tanto; a María Luisa Sánchez López y Venancio Pérez Santiago por su bondad y cariño.

A mis tíos, agradezco sus consejos, motivaciones y apoyos económicos que me otorgaron en los momentos más difíciles.

A mis padrinos Francisca Pérez y Cristóbal Rodríguez por ser tan amorosos conmigo y guiarme por un buen camino.

A mi prometido, César Núñez Coronado, a quién amo y agradezco su amor incondicional, respeto, comprensión, cuidado y apoyo; con amor, le comparto este triunfo. El primero de muchos que tendremos como esposos.

A Alicia Coronado y Ricardo Núñez por recibirme en su hogar como a una hija y por impulsarme a terminar esta tesis.

A mi gran amiga y compañera de tesis, Claudia Ramírez Coronado, por el tiempo que ha compartido conmigo y por su amistad inmensa.

A Carmen Porcayo Santos a quién considero mi amiga, agradezco su apoyo incondicional para que pudiera terminar esta tesis.

A mi tutor Jorge Luis Silva Haro, por su compromiso con la educación y por su aportación en esta tesis.

A mis sinodales Agustín Cano Garcés, María del Pilar Alonso Reyes, Enrique Maturano Rodriguez y José Antonio Climent Hernández por su detallada revisión de este trabajo.

A la Universidad Nacional Autónoma de México por formarme como una persona con calidad humana y por brindarme la oportunidad de adquirir conocimientos para pulirme como profesional.

Índice general

Índice de tablas

Índice de figuras

Introducción

La importancia de estudiar las tasas de interés radica en la aplicación de éstas sobre las operaciones financieras. Además de que son la base de casi todo análisis de proyectos de inversión, ya que la tasa de interés es el costo de pedir dinero prestado.

El Mercado de Dinero en México ha sufrido cambios a lo largo del tiempo con una serie de dificultades, sin embargo éstas no han impedido un desarrollo importante en los últimos años. Los Certificados de la Tesorería de la Federación (CETES) marcan el inicio de este mercado y al colocar bonos de tasa de interés fija, dan una mayor estabilidad macro-económica al mismo, lo que permite lograr la aparición de inversionistas institucionales (como las Afores).

Uno de los avances más significativos en el proceso de desarrollo e internacionalización del Sistema Financiero en México es la puesta en operación del Mercado Mexicano de Derivados. La importancia de que en México se cuenten con productos derivados reside en promover la estabilidad macro-económica y facilitar el control de riesgos en intermediarios financieros y entidades económicas. Los instrumentos derivados financieros tienen como activos de referencia los títulos representativos de capital o deuda, tasas, índices y otros instrumentos financieros. Por lo que la principal función de los derivados es servir de cobertura ante fluctuaciones de precios en los subyacentes. Se pueden aplicar, por ejemplo, a obligaciones contraídas a tasa variable o a los deudores a tasa variable que busquen protegerse de variaciones adversas en las tasas de interés.

En la actualidad, la Tecnología de la Información (TI) se ha convertido en una de las herramientas más importantes a nivel mundial ya que está cambiando la forma tradicional de hacer las cosas, por ejemplo se utiliza la TI cuando se navega en Internet o se realiza el pago electrónico de la nómina. Utilizando eficientemente la TI se pueden obtener ventajas competitivas, como automatizar procesos y su evolución hacia fuentes importantes de información que sirven de base para la toma de decisiones. Dentro de TI también es importante considerar algunas metodologías o algunos conceptos que merecen estar clasificadas como de alto impacto y que conducen a una mejor organización, por lo que para este trabajo se recurre a la Metodología RUP (*Rational Unified Process*, en inglés; *Proceso Unificado de Rational*, en español).

Los objetivos de esta tesis son:

1. Investigar la parte teórica de las tasas de interés, instrumentos más líquidos del Mercado de Dinero Mexicano (CETES y Bonos) y los más sofisticados del Mercado de Derivados Mexicano (FRAs, swaps y opciones de tasas de interés).

2. Relacionar la tecnología de la información con las finanzas para crear un desarrollo de software que cubra los requerimientos funcionales necesarios para el cálculo de la curva cero mediante bonos determinados por swaps.

3. Manejar la metodología RUP (Proceso Unificado de Rational) para realizar el proyecto de desarrollo de software.

4. Automatizar los cálculos de la curva cero por medio de los Bonos que determinan las tasas swaps utilizando el método Bootstrapping.

5. Obtener la gráfica de la curva cero por medio de los bonos que determinan las tasas swaps utilizando el método Bootstrapping.

6. Plasmar que el ámbito profesional de un actuario es muy amplio ya que se pueden mezclar dos grandes áreas: la informática y las finanzas.

Para lograr los objetivos, este trabajo está seccionado en tres capítulos teóricos que dan los fundamentos necesarios para conocer los instrumentos más líquidos del Mercado de Dinero y los más sofisticados del Mercado de Derivados en México. Con base a dicha teoría se deriva un cuarto capítulo práctico para la creación de una aplicación de software que permite calcular la curva cero por medio de los bonos que determinan las tasas swaps utilizando el método Bootstrapping; y un anexo.

En el *Capítulo I*, se mencionan conceptos básicos de tasas de interés simple y compuesto.

En el *Capítulo II* se estudian algunos instrumentos más líquidos en el Mercado de Dinero Mexicano, comenzando con una breve descripción del Sistema Financiero Mexicano. Más adelante se conocen los títulos del gobierno federal con mayor bursatilidad como son los CETES y los bonos. En el tema de CETES se detalla sus características y sus cálculos básicos. En cuanto a bonos se explica sus características, cálculos y su aplicación en México; principalmente se determina el cálculo de la curva cero mediante bonos utilizando el método Bootstrapping.

En el *Capítulo III* se revisan los principales instrumentos del mercado de derivados con base a los títulos del Mercado de Dinero como son los FRAs, swaps sobre tasas de interés y opciones sobre tasas de interés. En la sección de FRAs se estudia cómo valuarlos debido a que son de gran utilidad para el tema de swaps sobre tasas de interés, en el cual se describe su clasificación, características y valuación. Además se deduce la curva cero mediante swaps de tasas de interés con el método Bootstrapping. En la sección de opciones de tasas de interés se describen los caps, floors y swaptions.

En el *Capítulo IV* se relaciona el estudio de las finanzas con el desarrollo de software, implementando una aplicación para calcular la curva cero y así facilitar la valuación de instrumentos financieros que involucran tasas cero o tasas forward. En dicho capítulo se plasman los fundamentos teóricos como las fases, roles y disciplinas del Proceso Unificado de Rational (RUP)[1], el cual permite desarrollar un proyecto de software para calcular la curva cero por medio de los bonos que determinan las tasas swaps utilizando el método Bootstrapping.

En *Anexos* se enlistan conceptos básicos de la sucesión geométrica, anualidades, paridad put-call, Black and Scholes y el Modelo de Black.

[1]Metodología para el desarrollo de software.

Capítulo I

Tasas de interés

En este capítulo se da a conocer un breve panorama de algunas tasas de interés existentes, con el fin de poder adentrarse en el estudio de los instrumentos financieros sobre tasas de interés más representativos, sofisticados y líquidos que se manejan en México.

Existen dos tipos de interés: *simple* y *compuesto*, que se estudian en las siguientes secciones de este capítulo. En todos los cálculos se utiliza el año comercial, es decir, 360 días.

El lector que domine los conceptos de este capítulo, podrá remitirse al Capítulo II inmediatamente.

I.1. Interés simple

I.1.1. Tasa de interés

El *interés* es el precio que se debe pagar por un dinero tomado en préstamo. La cantidad de dinero tomada en préstamo o invertida se llama capital o principal.

El interés generalmente se calcula como un porcentaje de capital por unidad de tiempo. Este porcentaje recibe el nombre de *tasa de interés*. La unidad de tiempo normalmente utilizada para expresar las tasas de interés es de un año. Sin embargo, las tasas de interés se expresan también en unidades de tiempo menores de un año. Si la tasa de interés se da como un porcentaje, sin especificar la unidad de tiempo, se asume que se trata de una tasa anual. La tasa de interés se representa mediante la letra i.

Ejemplo:

Una tasa de interés del 30% anual significa que por cada \$100.00 prestados, el deudor pagará \$30.00 de interés en un año.

I.1.2. Cálculo del interés simple

El interés es simple cuando se paga al final de un intervalo de tiempo previamente definido sin que el capital original varíe, es decir, el interés simple varia en forma directamente proporcional al capital y al tiempo.

$$I = Cit \tag{I.1}$$

donde I es el interés simple, C es el capital, i es la tasa de interés expresada en forma decimal y t es el periodo de tiempo.

Ejemplo:

Calcular el interés simple obtenido por un préstamo de \$4,000.00 a un plazo de tres meses y con una tasa de interés del 3.5% mensual.

Se sustituyen los valores en la ecuación (I.1):

$$I = (\$4000.00)(0.035)(3) = \$420.00$$

I.1.3. Monto simple

A la suma del capital más el interés simple ganado se le llama *monto simple* o únicamente monto.

$$M = C + I \tag{I.2}$$

Se sustituye la ecuación (I.1) en la (I.2):

$$M = C + Cit$$

$$M = C(1 + it) \tag{I.3}$$

donde M es el monto simple, C es el capital, i es la tasa de interés expresada en forma decimal y t es el periodo de tiempo. Al monto también se le llama *valor futuro*.

Ejemplo:

Calcular el monto de un préstamo de $2,000.00 al 46% de interés simple anual a un plazo de 2 meses.

Se tiene $C = 2,000.00$, $i = 0.46$ y $t = 2$.

Utilizando la fórmula (I.3), se tiene:

$$M = 2,000\left[1 + \left(\frac{0.46}{12}\right)(2)\right] = 2,153.33$$

I.1.4. Valor presente

El *valor presente* de un monto M que se obtiene en fecha futura es la cantidad de dinero que invertida hoy a una tasa de interés dada produce el monto M.

Para obtener el valor presente de un monto dado, se despeja C de la ecuación (I.3):

$$C = VP = \frac{M}{1+it}$$

$$VP = \frac{M}{1+it} \tag{I.4}$$

donde VP es el valor presente, M es el monto simple, C es el capital, i es la tasa de interés expresada en forma decimal y t es el periodo de tiempo.

I.1.5. Descuento

Descuento es cobrar el interés por adelantado, en lugar de cobrarlo hasta la fecha de vencimiento.

La cantidad de dinero que recibe el solicitante del préstamo, una vez descontados los intereses se llama *valor efectivo*.

La fórmula del descuento se obtiene considerando la ecuación (I.1), como los intereses se cobran de manera anticipada la tasa de interés i cambia de nombre, se llama *tasa de descuento* d:

$$D = Mdt \tag{I.5}$$

donde D es el descuento o intereses cobrados anticipadamente, M es el monto a pagar; esto es, la cantidad solicitada en préstamo y que nunca se recibe completa, d es la tasa de descuento expresada en forma decimal y t es el plazo.

Como el valor efectivo (VE) es el monto a pagar menos el descuento, entonces:

$$VE = M - D = M - Mdt \tag{I.6}$$

$$VE = M(1 - dt) \tag{I.7}$$

donde VE es el valor efectivo, M es el monto, d es la tasa de descuento expresada en forma decimal y t es el plazo.

Ejemplo:

Un cliente solicita un préstamo por \$20,000.00 a un plazo de 90 días, siendo 38% anual la tasa de descuento[1]. Calcular a cuánto asciende el descuento y cuál es el capital realmente recibido.

El descuento se calcula utilizando la ecuación (I.5):

$$D = (20,000.00)(0.38)\left(\frac{90}{360}\right) = 1,900.00$$

El valor efectivo se calcula utilizando la ecuación (I.7):

$$VE = 20,000\left[1 - (0.38)\left(\frac{90}{360}\right)\right] = 18,100.00$$

Lo anterior significa que el cliente pide \$20,000.00 prestados a un plazo de 90 días. Como el préstamo es con base a descuento, el cliente paga de manera anticipada los intereses que son \$1,900.00 y recibe \$18,100.00. El cliente

[1] Esta tasa se convierte a tasa diaria al multiplicarla por $\frac{90}{360}$.

firma un pagaré en el que se compromete a pagar \$20,000.00 al cabo de 90 días.

La práctica del descuento, además de permitir al prestamista disponer de inmediato del dinero correspondiente a los intereses, hace que la tasa de interés que se está pagando con el préstamo sea mayor que la de descuento. Esta tasa de interés recibe el nombre de *tasa de rendimiento* y se representa por r.

Ejemplo:

Calcular la tasa de rendimiento con base en el ejemplo anterior.

El capital recibido por el cliente es de \$18,100.00 y el monto a pagar es de \$20,000.00, como se muestra en la figura (I.1).

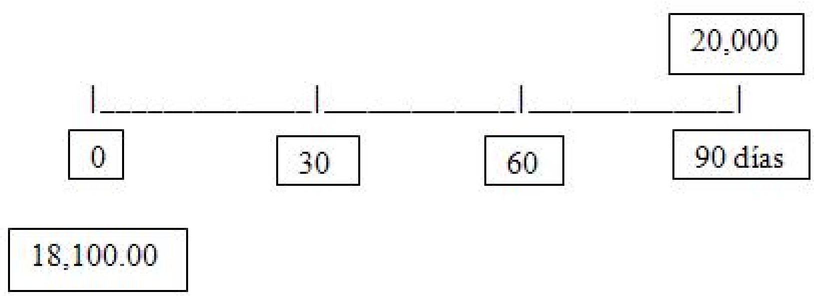


Figura I.1. Diagrama del capital recibido por el cliente y el monto a pagar.

Por lo tanto despejando i de la ecuación (I.3) se tiene:

$$r = i = \frac{M - C}{Ct} = \frac{20,000 - 18,100.00}{(18,100.00)(90)} = 0.0012 \text{ diario}$$

es decir:

$$r\,\% = 0.12\,\% \text{ diario.}$$

La tasa anual[2] es:

$$r\,\% = 43.2\,\% \text{ anual}$$

Generalizando el ejemplo anterior se obtiene la fórmula general para calcular la tasa de rendimiento en un problema de descuento.

$$r = \frac{M - VE}{(VE)(t)} \tag{I.8}$$

donde r es la tasa de rendimiento expresada en forma decimal, M es el monto a pagar, VE es el valor efectivo y t es el plazo.

I.2. Interés compuesto

El *interés compuesto* es la diferencia entre el monto compuesto y el capital original, es decir:

$$I = F - P \tag{I.9}$$

donde I es el interés compuesto, F es el monto compuesto, P es el capital original.

I.2.1. Monto compuesto

El *monto compuesto*[3] es la suma total obtenida al final del siguiente proceso:

[2] Se multiplica la tasa anterior por 360 días.

[3] El monto compuesto derivado de un capital invertido a un año bajo el interés compuesto es igual que el monto obtenido por interés simple a un año de plazo. Sin embargo, si la capitalización se efectúa más de una vez al año, entonces el monto compuesto al final de un año es mayor que el monto obtenido por interés simple.

El interés simple generado al final del primer periodo se suma al capital original, formando un nuevo capital; con este nuevo capital, en el segundo periodo, se calcula el interés simple y se suma al capital anterior y así sucesivamente.

El monto compuesto se calcula de la siguiente manera:

Sea P un capital invertido a la tasa de interés compuesto i por periodo de capitalización. En la tabla (I.1) se deduce el monto compuesto F obtenido al final de n periodos de capitalización.

Periodo de capitalización	Capital al principio del periodo	Interés en el periodo	Monto compuesto al final del periodo
1	P	$I = P(i)(1) = Pi$	$P + Pi = P(1+i)$
2	$P(1+i)$	$I = [P(1+i)](i)(1)$ $= P(1+i)i$	$P(1+i) + P(1+i)i$ $= P(1+i)^2$
.	.	.	.
.	.	.	.
.	.	.	.
n	$P(1+i)^{n-1}$	$I = P(1+i)^{n-1}i$	$P(1+i)^{n-1} + P((1+i)^{n-1})i$ $= P(1+i)^n$

Tabla I.1. Deducción del monto compuesto

Por lo tanto, se obtiene la fórmula general del monto compuesto al final de n periodos:

$$F = P(1+i)^n \tag{I.10}$$

donde F es el monto compuesto o valor futuro, P es el capital original, i es la tasa de interés en forma decimal por periodo de capitalización, n es el número de periodos de capitalización.

Ejemplo:

Obtener el monto compuesto y el interés compuesto al final de 6 años de \$10,000.00 invertidos a una tasa del 8.5% trimestral.

El tiempo es igual a 6 años y es el equivalente a 24 trimestres, por lo que se tiene $n = 24$.

Sustituyendo valores en la ecuación (I.10), se tiene:

$$F = 10,000.00(1 + 0.085)^{24} = 70,845.74$$

Para calcular el interés compuesto se utiliza la fórmula (I.9):

$$I = 70,845.74 - 10,000.00 = 60,845.74$$

I.2.2. Valor presente

El *valor presente* es el capital que invertido ahora, a una tasa de interés dada, alcanza un cierto monto después de un número determinado de periodos de capitalización.

Se obtiene el valor presente a interés compuesto despejando P de la ecuación (I.10):

$$VP = P = \frac{F}{(1+i)^n}$$

$$VP = \frac{F}{(1+i)^n} \tag{I.11}$$

donde VP es el valor presente en interés compuesto, F es el monto compuesto o valor futuro, i es la tasa de interés en forma decimal y n son los periodos de capitalización.

Ejemplo:

Obtener el valor presente de \$10,000 a pagar dentro de 2 años, con una tasa de interés de 9.2% bimestral y los intereses se capitalizan cada bimestre.

Se tiene $F = 10,000$ y $n = (2 \text{ años})\left(\frac{6 \text{ bimestres}}{\text{años}}\right) = 12$ bimestres. Por lo tanto, al sustituir en la ecuación (I.11):

$$VP = \frac{10,000}{(1+0.092)^{12}} = 3,477.99$$

De acuerdo a lo anterior, se puede decir que al invertir \$3,477.99 en este momento, al 9.2% bimestral, al final de 2 años se tendrá acumulado \$10,000.

I.2.3. Interés compuesto con periodos de capitalización fraccionarios

La fórmula de interés compuesto se dedujo bajo la suposición de un número de periodos de capitalización entero. Sin embargo, la fórmula también se utiliza si se presentan fracciones de periodo como por ejemplo:

¿Qué interés puede producir un capital de \$50,000.00 invertido al 15% anual compuesto cada 28 días, en 2 años?

La frase *compuesto cada 28 días significa capitalizable cada 28 días.* La tasa de interés por periodo de capitalización se obtiene de la siguiente forma:

Un año tiene $\frac{360}{28} = 12.86$ periodos de 28 días. Por lo tanto, si divide la tasa de interés entre el número de periodos de capitalización es $\left(\frac{0.15}{12.86}\right) = 0.0117$ por periodo (de 28 días)[4].

Dos años de inversión, son equivalentes a $(2)(12.86) = 25.72$[5] periodos de capitalización. Se sustituyen los valores en la ecuación (I.10):

$$F = 50,000.00(1+0.0117)^{25.72} = \$67,437.43$$

Se utiliza la ecuación (I.9):

$$I = 67,437.43 - 50,000.00 = \$17,437.43$$

[4] Esta tasa se puede ver como una tasa efectiva por periodo.

[5] Se puede llamar $n = 25.72$ como el número de capitalizaciones en un año y $t = 2$ como la cantidad de años.

I.2.4. Tasa nominal de interés

La tasa de interés anual aplicable a una inversión o a un préstamo a interés compuesto se llama *tasa de interés nominal* o simplemente tasa nominal. La tasa nominal es la tasa de interés convenida en la operación financiera. Por ejemplo, la tasa del 15% dada en el ejemplo anterior es una tasa nominal. Por lo tanto, se considera la siguiente notación:

$i^{(m)}$ es la tasa nominal de interés pagadera m veces al año en forma decimal[6].

I.2.5. Tasa efectiva de interés

La *tasa efectiva por periodo* es la tasa de interés que efectivamente se aplica en cada periodo de capitalización. Ésta se obtiene multiplicando la tasa nominal anual ($i^{(m)}$) por el periodo de tiempo $\left(\frac{1}{m}\right)$, es decir, $i_{ep} = i^{(m)}\frac{1}{m}$, donde m es igual a $\frac{360}{\text{el número de días que conforman el periodo}}$. Por lo tanto, la tasa efectiva correspondiente al ejemplo anterior es:

$$i_{ep} = (0.15)\left(\frac{1}{12.86}\right) = 0.0117 \text{ cada 28 días.}$$

Ejemplo:

Para la tasa nominal del 30% anual capitalizable cada 91 días, calcular la tasa efectiva por periodo.

$m = \frac{360}{91} = 3.96$ periodos de capitalización en el año

$i_{ep} = (0.30)\left(\frac{1}{3.96}\right) = 0.0758$ cada 91 días.

[6] Se entiende que $i^{(m)}$ esta expresada anualmente.

I.2.6. Relación entre la tasa nominal y efectiva

Es posible obtener la tasa de interés efectiva anual i_e equivalente a la tasa de interés nominal del $i^{(m)}$ anual capitalizable m veces en un año. Sea \$P el capital que se invierte a una tasa nominal al $i^{(m)}$ anual y el interés se capitaliza m veces en un año, se utiliza la fórmula (I.10):

$$F = P\left(1 + \frac{i^{(m)}}{m}\right)^m \tag{I.12}$$

donde $i^{(m)}$ es la tasa nominal anual capitalizable m veces al año en forma decimal[7].

Por otra parte, se define i_e como la tasa de interés simple en forma decimal, al utilizar la ecuación (I.3) se obtiene el monto simple en un año:

$$F = P[1 + (i_e)(1)] \tag{I.13}$$

Debido a que i_e es la tasa equivalente a $i^{(m)}$ capitalizable m veces al año, i_e es la tasa de interés efectiva anual en forma decimal, por lo tanto[8]:

$$P\left(1 + \frac{i^{(m)}}{m}\right)^m = P(1 + i_e)$$

Despejando i_e:

$$i_e = \left(1 + \frac{i^{(m)}}{m}\right)^m - 1 \tag{I.14}$$

[7]En la ecuación (I.12) se considera el exponente mt cuando se tiene t años. En dicha fórmula $t = 1$.

[8]La deducción de esta ecuación se realiza con $t = 1$ año, m como el número de capitalizaciones en un año y $n = 1$ donde n es el número de veces que se paga la tasa efectiva en un año en la ecuación $P\left(1 + \frac{i^{(m)}}{m}\right)^{mt} = P(1 + i_e)^{nt}$.

donde i_e es la tasa efectiva anual equivalente a la tasa nominal $i^{(m)}$ capitalizable m veces al año y m número de veces en que se capitaliza en un año la tasa nominal.

Ejemplo 1:

Calcular la tasa efectiva anual de la tasa nominal del 15% semestral capitalizable cada mes.

Se tiene $i^{(6)} = 0.15$ por semestre, es decir, $i^{(12)} = 0.30$ anual y $m = 12$ periodos de capitalización en el año.

Sustituyendo valores en la fórmula (I.14):

$$i_e = \left(1 + \frac{0.30}{12}\right)^{12} - 1 = 0.3449.$$

Por lo tanto, la tasa de interés efectiva es 34.49% anual.

Ejemplo 2:

Obtener la tasa efectiva anual de la tasa nominal del 32% anual capitalizable cada 28 días.

Se tiene $i^{(12.86)} = 0.32$ y $m = \frac{360}{28} = 12.86$ periodos de capitalización en el año.

Por lo que:

$$i_e = \left(1 + \frac{0.32}{12.86}\right)^{12.86} - 1 = 0.3717$$

Entonces, la tasa de interés efectiva es 37.17% anual.

I.2.7. Relación entre la tasa nominal y equivalente

Se dice que dos tasas de interés anuales con diferentes periodos de capitalización son equivalentes si producen el mismo monto compuesto al final de un plazo dado.

Por ejemplo, al invertir \$1,000.00 al 25% capitalizable cada trimestre, el monto obtenido al final de 2 años es \$1,624.17. Si el dinero se invierte al 24.37% con capitalización quincenal, al final de 2 años se obtiene un monto de \$1,624.17. Se observa que el monto compuesto es el mismo en ambos casos por lo que las tasas de interés son equivalentes.

Sea $i^{(m)}$ la tasa de interés anual nominal capitalizable m veces en un año y sea $i_{eq}^{(q)}$ la tasa de interés anual nominal equivalente capitalizable q veces en un año. Utilizando la ecuación (I.10) con una inversión de \$P a la tasa $i^{(m)}$, el monto al cabo de t años es:

$$F_1 = P\left(1 + \frac{i^{(m)}}{m}\right)^{mt}$$

Ahora se invierte \$P a una tasa $i_{eq}^{(q)}$ se obtiene al cabo de t años un monto de:

$$F_2 = P\left(1 + \frac{i_{eq}^{(q)}}{q}\right)^{qt}$$

Por definición de tasa equivalente $F_1 = F_2$. Por lo tanto,

$$P\left(1 + \frac{i^{(m)}}{m}\right)^{mt} = P\left(1 + \frac{i_{eq}^{(q)}}{q}\right)^{qt} \tag{I.15}$$

Despejando $i_{eq}^{(q)}$ se obtiene:

$$i_{eq}^{(q)} = \left[\left(1 + \frac{i^{(m)}}{m} \right)^{\frac{m}{q}} - 1 \right] q \tag{I.16}$$

donde $i^{(m)}$ la tasa de interés anual nominal capitalizable m veces en un año e $i_{eq}^{(q)}$ la tasa de interés anual nominal equivalente capitalizable q veces en un año.

Se observa que si $q = 1$ se obtiene la fórmula de la tasa de interés efectiva anual equivalente a la tasa nominal (I.14):

$$i_e = \left[\left(1 + \frac{i^{(m)}}{m} \right)^{m} - 1 \right].$$

I.2.8. Tasa efectiva para un periodo diferente a un año

Para conocer la tasa efectiva para un periodo diferente a un año, se debe modificar la fórmula (I.14), en lugar de elevar el binomio a la potencia m (número de periodos de capitalización en un año), se eleva a la potencia N, con lo que se obtiene la tasa efectiva en un periodo específico diferente al anual, conformado por N periodos de capitalización.

Es decir,

$$i_{ep} = \left[\left(1 + \frac{i^{(m)}}{m} \right)^{N} - 1 \right] \tag{I.17}$$

donde i_{ep} es la tasa efectiva para un periodo diferente a un año en forma decimal y N es el número de periodos de capitalización en el periodo especificado[9], y $i^{(m)}$ la tasa de interés anual nominal capitalizable m veces en un año.

[9]Se puede ver la fórmula (I.17) como $i_{ep} = \left[\left(1 + \frac{i^{(m)}}{m} \right)^{\frac{m}{n}} - 1 \right]$.

Ejemplo:

Se invierte $100.00 a una tasa nominal del 20% capitalizable cada mes, durante 10 meses. Se requiere calcular:

1. La tasa efectiva anual.

   Se usa la ecuación (I.14):

   $$i_e = \left(1 + \frac{0.20}{12}\right)^{12} - 1 = 0.2194$$

   La tasa efectiva anual 21.94% anual.

2. La tasa efectiva en el periodo de 10 meses.

   Utilizando al ecuación (I.17), con $N = 10$:

   $$i_{ep} = \left(1 + \frac{0.20}{12}\right)^{10} - 1 = 0.1797$$

   La tasa efectiva es 17.97% en el periodo de 10 meses[10].

I.2.9. Tasa de descuento

Algunas veces se requiere calcular el valor descontado con base a una cierta tasa de descuento. Por lo anterior, se define *descuento* como la diferencia de la suma de dinero en el año uno y su valor en el momento 0, es decir:

[10] En este ejemplo se considera $m = 12$ y $n = \frac{12}{10}$ para la fórmula $i_{ep} = \left[\left(1 + \frac{i^{(m)}}{m}\right)^{\frac{m}{n}} - 1\right]$.

$$D = F - P \tag{I.18}$$

donde D es el descuento, F es el monto al año 1 y P es el valor descontado en el momento 0[11].

I.2.10. Tasa efectiva de descuento

La tasa efectiva de descuento se obtiene al dividir el descuento por unidad de tiempo entre F:

$$d = \frac{F - P}{F}$$

$$d = 1 - \frac{P}{F} \tag{I.19}$$

donde d es la tasa de descuento por unidad de tiempo y por unidad de capital que se recibirá, F es el monto al año 1 y P es el valor descontado en el momento 0.

I.2.11. Interés compuesto a capitalización continua

Se sabe que si la tasa de interés nominal permanece constante y la capitalización es más frecuente, el monto compuesto crece. Por lo anterior, surge la pregunta: ¿Qué sucede con el monto compuesto al final de un cierto tiempo cuando la frecuencia con la que el interés se capitaliza crece sin límite; es decir, cuando el número de periodos de capitalización tiende a infinito? Se puede pensar que el monto tenderá a infinito; sin embargo, esto no es así como se muestra a continuación.

[11] Se recuerda que en el tema de descuento $D = M - VE$.

Se muestra que existe un punto más allá del cual el monto compuesto no aumentará ya, sin importar la frecuencia con que se capitalice el interés. Este valor recibe el nombre de monto compuesto a capitalización continua. Capitalización continua quiere decir que el interés se capitaliza a cada instante.

De manera general, sea $i^{(m)}$ la tasa de interés anual capitalizable m veces en un año. Si P es el capital inicial, se tiene que el monto compuesto a t años será:

$$F = P\left(1 + \frac{i^{(m)}}{m}\right)^{mt} \tag{I.20}$$

donde $\frac{i^{(m)}}{m}$ es la tasa de interés por periodo de capitalización y mt es el número total de periodos de capitalización en t años.

Sea $v = \frac{m}{i^{(m)}}$, entonces $m = vi^{(m)}$ por lo que la ecuación (I.20) se escribe como:

$$F = P\left(1 + \frac{1}{v}\right)^{vi^{(m)}t} = P\left[\left(1 + \frac{1}{v}\right)^{v}\right]^{i^{(m)}t}$$

Si el número de periodos de capitalización aumenta en forma indefinida se logra la capitalización continua, es decir, cuando $m \to \infty$.

Si $m \to \infty$ entonces $v \to \infty$ y por lo tanto el monto compuesto F está dado por:

$$F = \lim_{v\to\infty} P\left[\left(1+\frac{1}{v}\right)^{v}\right]^{i^{(m)}t} = P\lim_{v\to\infty}\left[\left(1+\frac{1}{v}\right)^{v}\right]^{i^{(m)}t} = P\left[\lim_{v\to\infty}\left(1+\frac{1}{v}\right)^{v}\right]^{i^{(m)}t}$$

En cálculo diferencial se demuestra que $\lim_{v\to\infty}(1 + \frac{1}{v})^{v} = e$, donde e es la base de los logaritmos naturales, por lo tanto la fórmula general para obtener el monto compuesto cuando el interés se capitaliza continuamente, durante t años es[12]:

$$F = Pe^{r_c t} \tag{I.23}$$

Para una tasa nominal capitalizada continuamente existe una tasa efectiva. La *tasa efectiva anual* r es la tasa de interés capitalizable una vez al año que produce el mismo monto compuesto en un año que la tasa nominal r_c capitalizada continuamente.

Si se invierte P a una tasa r_c capitalizada continuamente, al final de un año se tiene el monto:

$$F_1 = Pe^{r_c}$$

Se considera r como la tasa de interés anual capitalizable una vez al año para obtener el monto que produce en un año un capital P, dicho capital es:

$$F_2 = P(1 + r)$$

Debido a que $F_1 = F_2$, se tiene:

$$Pe^{r_c} = P(1 + r)$$

Se despeja r:

[12]En algunos casos es practico utilizar la relación:

$$\left(1 + \frac{r_n}{n}\right)^n = e^{r_c} \tag{I.21}$$

Se despeja la fórmula (I.21):

$$r_c = Ln\left[\left(1 + \frac{r_n}{n}\right)^n\right] \tag{I.22}$$

$$r = e^{r_c} - 1 \quad \text{(I.24)}$$

donde r es la tasa de interés anual capitalizable una vez al año y r_c es la tasa continua.

I.2.12. Tasas de interés de referencia en el Mercado de Dinero Mexicano

Por tasa de referencia se entiende toda aquella tasa de rendimiento que permite medir el costo de oportunidad del dinero. Las más utilizadas en México son la Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE), la Tasa de Fondeo Bancario y la Mexican Inter Bank Offer Rate (Mexibor).

Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE)

La Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE) surge el 23 de marzo de 1995, los plazos más comunes son 28 y 91 días[13]. En abril de 2011 surge TIIE a 182 días.

El objetivo de la TIIE es dar a conocer las condiciones del Mercado de Dinero en moneda nacional. La TIIE se utiliza como tasa de referencia para contratos múltiples, por ejemplo para los futuros de tasas de interés en México y en Chicago (CME), para los créditos comerciales en el mercado bancario y para emisiones corporativas.

El cálculo de la TIIE se hace cada semana por medio de subasta interbancaria y es calculada por Banco de México (Banxico) en función del comportamiento de la oferta y la demanda de liquidez en el Mercado de Dinero. En 1995 Banxico estableció un procedimiento mediante el cual se establece la TIIE con las cotizaciones de al menos seis instituciones de crédito.

[13] La TIIE a 91 días surge en enero de 1997.

La publicación de la TIIE la da a conocer Banxico. Los resultado de la TIIE a 28 días se publican todos los días hábiles bancarios a más tardar a las 13:15 horas, la TIIE a 91 días el día hábil bancario inmediato siguiente a aquél que se realicen subastas de valores gubernamentales en el mercado primario y la TIIE a 182 días se publicará los miércoles, un día después de la subasta primaria de valores gubernamentales.

Tasa de Fondeo Bancario

La Tasa de Fondeo Bancario es la tasa de referencia que representa las operaciones de mayoreo realizadas por la banca y casas de bolsa sobre las operaciones en directo y en reporto de un día hábil bancario con certificados de depósito, pagarés bancarios y aceptaciones bancarias que hayan sido liquidadas en el sistema de entrega contra pago del S.D Indeval.

Esta tasa de interés es calculada por Banco de México mediante el promedio ponderado por el volumen de todas las operaciones a un día de deuda bancaria, registrados en el S.D Indeval. Se excluyen de este cálculo las operaciones realizadas entre instituciones que pertenecen a un mismo grupo financiero y con la clientela.

La publicación de la Tasa de Fondeo Bancario la da a conocer Banxico a través de su página de internet (www.banxico.org.mx) a las 17:30 horas el mismo día.

Tasa de Fondeo Gubernamental

La Tasa de Fondeo Gubernamental es la tasa representativa de las operaciones de mayoreo realizadas por la banca y casas de bolsa en el mercado interbancario sobre títulos de deuda pública a un día. Se incluyen las operaciones en reporto con títulos de deuda gubernamental registrados en el S.D Indeval.

Esta tasa de interés es calculada por Banco de México mediante el promedio ponderado por el volumen de todas las operaciones a un día de deuda gubernamental. Se excluyen de este cálculo las operaciones realizadas entre instituciones que pertenecen a un mismo Grupo Financiero y con la clientela.

La publicación de la Tasa de Fondeo Gubernamental la da a conocer Banxico a través de su página de internet (www.banxico.org.mx) a las 17:30 horas el mismo día.

Tasa Mexicana Interbancaria de Referencia (Mexibor)

Ante la necesidad de contar con una tasa para un plazo mayor a 28 días que cotizan diario, la Asociación de Banqueros de México (ABM) presentó la Tasa Mexicana Interbancaria de Referencia (Mexibor, *Mexican Inter Bank Offer Rate* en inglés) a plazo de 91 días, determinada diariamente en un sistema de cotización designado por AMB, que realiza la recopilación de las posturas de los diferentes intermediarios bancarios. Esta tasa se empezó a cotizar oficialmente el 2 de julio de 2001.

Los objetivos fundamentales para empezar a cotizar la Mexibor son los siguientes:

- Dar mayor certidumbre para la toma de decisiones de inversión.
- Estimular la liquidez en los mercados financieros.
- Promover la emisión de instrumentos privados.
- Impulsar el financiamiento de proyectos de largo plazo.
- Mejorar la competitividad de la banca.

El algoritmo utilizado para calcular la Mexibor es el mismo que se utiliza para determinar la tasa LIBOR. Se ordenan de mayor a menor las cotizaciones de los bancos participantes, y se toma el promedio aritmético de la muestra eliminando los datos extremos.

El Sistema de Cotización (el sistema de Cotización designado para llevar a cabo la recopilación y el cálculo inicialmente es Reuters) asignado para la determinación de la Mexibor, toma de lo bancos participantes, sus estimaciones para los papeles bancarios en los plazos de 3, 6, 9 y 12 meses antes de las 11:00 horas; realiza el cálculo conforme al algoritmo establecido y emitirá los resultados en un medio electrónico.

La publicación de la Mexibor la emite el Sistema de Cotización a las 12:00 horas por los medios informativos interesados (Reuters, SIF (Servicios de Integración Financiera), Infosel, etc.).

I.2.13. Tasa LIBOR

La tasa *London Interbank Offer Rate* (LIBOR) es la tasa de interés ofrecida por los bancos en depósitos realizados por otros bancos en mercados de Euromonedas. La tasa LIBOR mensual es la tasa ofrecida a depósitos mensuales, la LIBOR trimestral es la tasa ofrecida en depósitos trimestrales y así sucesivamente. Las tasas LIBOR se determinan mediante acuerdos entre bancos y cambian frecuentemente, de manera que la oferta de fondos en el mercado intercambiario iguale la demanda de los fondos en ese mercado. Comúnmente la tasa LIBOR es tomada como referencia para los préstamos a tasa variable en el mercado financiero doméstico y es una tasa de interés de referencia para préstamos en en mercados financieros internacionales.

I.2.14. Tasa repo

Los dealers financian sus actividades con un repo o acuerdo de recompra (repurchase agreement). Éste es un contrato en el que el dealer acuerda vender los activos de una empresa a otra empresa hoy y recomprarlos más tarde a un precio ligeramente superior. La empresa le está haciendo un préstamo al dealer, la diferencia entre el precio al que se venden los activos y su precio de recompra es el interés que la empresa obtiene por haberle prestado al dealer; la tasa de interés es llamada *Tasa Repo.*

I.2.15. Tasa FRA

La tasa FRA es aquella que se pacta sobre una inversión o préstamo a un cierto capital, en un contrato *Forward Rate Agreement (FRA)*, durante un periodo de tiempo futuro específico[14].

I.2.16. Tasa cero

La tasa cero a n años es la tasa de interés ganado sobre una inversión que empieza hoy y dura n años. Todo el interés y el capital son recuperados al final de los n años. No hay pagos intermedios. La tasa cero para n años a veces es llamada *tasa spot* (al contado).

Ejemplo:

Suponga la tasa cero continua del 5% anual a 5 años. Esto significa que si se invierte $100.00 pesos a la tasa continua anual a 5 años, se obtiene:

$$(100)\left(e^{(0.05)(5)}\right) = 128.40$$

En el caso de que se cuente con la tasa compuesta continua y se requiera obtener el cálculo del monto a 5 años con una tasa capitalizable anualmente se utiliza la ecuación (I.24) como sigue:

$$r = e^{0.05} - 1 = 0.05127$$

Por lo anterior, se obtiene el siguiente monto:

$$(100)(1 + 0.05127)^5 = 128.40$$

[14] En Capítulo III se detalla la valuación de los FRAs.

Año (n)	Tasas de interés cero para una inversión a n años (% por año)	Tasa forward para el año n (% por año)
1	10.00	
2	10.50	11.00
3	10.80	11.40
4	11.00	11.60
5	11.20	12.00

Tabla I.2. Cálculo de las tasas de interés forward.

I.2.17. Tasa forward

Una *tasa de interés forward* es la tasa de interés implícita por las tasas de interés cero actuales para periodos de tiempo en el futuro.

Ejemplo:

Se supone que las tasas se comportan como en la tabla (I.2).

Entonces si se tiene una tasa de interés del 10% anual para un año significa que, en rendimiento para una inversión de \$100 hoy, el inversionista recibirá $(100)\left(e^{(0.1)(1)}\right) = \$110.52$; la tasa del 10.5% anual para dos años significa que, en rendimiento para una inversión de \$100 hoy, el inversionista recibirá $(100)\left(e^{(0.105)(2)}\right) = \$123.37$ en dos años; y así sucesivamente.

La tasa de interés forward para el año dos es 11% anual. Esto es, la tasa de interés que es implícita por las tasas cero para el periodo de tiempo entre el fin del primer año y el fin del segundo año. Esto puede ser calculado mediante la tasa de interés cero del 10% anual y la tasa cero a dos años de 10.5% anual. La tasa de interés forward a dos años, cuando se combina con el 10% anual para un año, da el 10.5% global para los dos años. Para mostrar que la respuesta correcta es el 11% anual, suponga que se invierte \$100, con una tasa del 10% para el primer año y 11% para el segundo año.

$$(100)\left(e^{0.1}\right)\left(e^{0.11}\right) = \$123.37 \text{ al final del segundo año}$$

Ahora se considera una tasa del 10.5% anual para dos años:

$$(100)\left(e^{(0.105)(2)}\right) = \$123.37$$

Se tiene como resultado final que cuando las tasas de interés son compuestas continuas y se combinan intereses en sucesivos periodos de tiempo, el interés total equivalente es simplemente la media aritmética de las tasas (10.5% es la media de 10% y 11%). El promedio solo es un resultado aproximado cuando las tasas no son compuestas continuas.

La tasa forward para el tercer año es la tasa de interés que es implícita por una tasa cero a dos años de 10.5% anual y una tasa cero a tres años de 10.8%. Esto es 11.4% anual. La razón es que la inversión a 2 años al 10.5% anual combinada con la inversión a un año del 11.4% anual da como rendimiento global 10.8% anual para 3 años.

Estas otras tasas pueden ser calculadas similarmente y se muestran en la tercera columna de la tabla (I.2).

De manera general, sean r_1 y r_2 las tasas cero compuestas continuas que maduran en t_1 y t_2 años respectivamente, y r_f es la tasa de interés forward para el periodo de tiempo entre t_1 y t_2:

Para deducir la tasa forward se utiliza el argumento de no arbitraje para concluir que:

Una empresa tiene dos alternativas de inversión:

1. Invertir un capital P con una tasa cero r_2 para el plazo t_2.

2. Que invertir un capital P con una tasa cero r_1 para el plazo t_1 y al vencerse reinvertirlo con una tasa r_f para el plazo $t_2 - t_1$.

Por lo que la empresa es indiferente entre las dos alternativas si ambas producen el mismo rendimiento o si rinden la misma cantidad de dinero por cada peso invertido sobre t_2 años de inversión.

La empresa conoce las tasas de interés a t_1 años y a t_2 años, pero no conoce la tasa de interés que pagará la alternativa de inversión para los siguientes $t_2 - t_1$ años en los t_1 años, dicha tasa es conocida como *tasa forward* r_f.

Entonces se determina la siguiente igualdad:

$$Pe^{r_1t_1}e^{r_f(t_2-t_1)} = Pe^{r_2t_2}$$

Se despeja en la ecuación anterior la tasa forward r_f:

$$e^{r_f(t_2-t_1)} = \frac{e^{r_2t_2}}{e^{r_1t_1}}$$

$$e^{r_f(t_2-t_1)} = e^{r_2t_2-r_1t_1}$$

$$r_f(t_2-t_1) = r_2t_2 - r_1t_1$$

$$r_f = \frac{r_2t_2 - r_1t_1}{t_2 - t_1} \tag{I.25}$$

donde r_1 y r_2 son tasas cero compuestas continuas que maduran en t_1 y t_2 años respectivamente, r_f es la tasa de interés forward para el periodo de tiempo entre t_1 y t_2.

De manera similar se obtiene la *tasa forward con capitalización fraccionaria*[15]. Sea r_1 y r_2 las tasas cero que maduran en n_1 y n_2 días respectivamente, y r_f es la tasa de interés forward para el periodo de tiempo entre n_1 y n_2 días, como se observa en la figura (I.2).

Para deducir la fórmula de tasa forward, se utiliza el argumento de no arbitraje para concluir que:

Una empresa tiene dos alternativas de inversión:

1. Invertir un capital P con una tasa cero r_2 para el plazo n_2.

[15] Ver tema Interés Compuesto con Periodos de Capitalización fraccionarios.

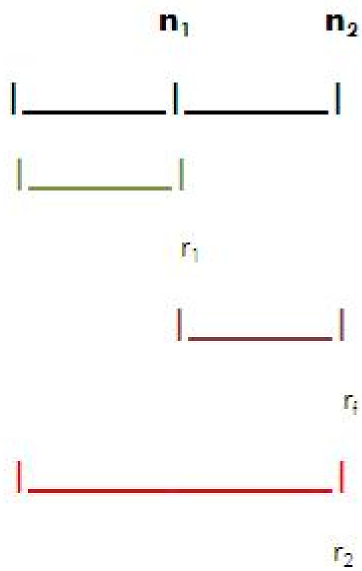


Figura I.2. Diagrama de relación de la tasa forward r_f y dos tasas cero r_1 y r_2.

2. Que invertir un capital P con una tasa cero r_1 para el plazo n_1 y al vencerse reinvertirlo con una tasa r_f para el plazo $n_2 - n_1$.

Por lo que la empresa será indiferente entre las dos alternativas si ambas producen el mismo rendimiento o si rinden la misma cantidad de dinero por cada peso invertido sobre n_2 días de inversión.

La empresa conoce las tasas de interés a n_1 días y a n_2 días, pero no conoce la tasa de interés que pagará la alternativa de inversión para los siguientes $n_2 - n_1$ días en los n_1 días, dicha tasa es conocida como *tasa forward* r_f.

Entonces se determina la siguiente igualdad:

$$P\left(1 + r_1 \frac{n_1}{360}\right)\left(1 + r_f \frac{n_2 - n_1}{360}\right) = P\left(1 + r_2 \frac{n_2}{360}\right) \tag{I.26}$$

donde P es el capital invertido.

Se despeja r_f de la ecuación (I.26):

$$r_f = \left[\frac{\left(1 + r_2 \frac{n_2}{360}\right)}{\left(1 + r_1 \frac{n_1}{360}\right)} - 1 \right] \left[\frac{360}{n_2 - n_1} \right] \tag{I.27}$$

donde r_1 y r_2 las tasas cero que maduran en n_1 y n_2, n_1 y n_2 están expresados en días, r_f es la tasa de interés forward para el periodo de tiempo entre n_1 y n_2 días.

Capítulo II

Instrumentos más líquidos en el Mercado de Dinero Mexicano

II.1. Introducción al Sistema Financiero Mexicano

El Sistema Financiero Mexicano es el conjunto de personas y organizaciones tanto públicas como privadas, por medio de las cuales se captan, administran, regulan y dirigen los recursos financieros que se negocian entre los diversos agentes económicos, dentro del marco de la legislación correspondiente.

El Sistema Financiero Mexicano se integra por los siguientes mercados financieros[1]:

- *Mercado de Dinero o Mercado de Deuda.*

  En el mercado de dinero se reúnen oferentes y demandantes de dinero, conciliando las necesidades de los ahorradores con los requerimientos de financiamiento para proyectos de inversión o capital de trabajo

[1]Es importante mencionar que el mercado de valores se conforma por el mercado de dinero y el mercado de capitales.

por parte del gobierno, empresas privadas y paraestatales. En este mercado son negociados instrumentos financieros líquidos de corto plazo. Actualmente los instrumentos a mediano y largo plazo están aumentando su participación.

La compraventa de valores se puede llevar a cabo mediante mercados primarios, es decir, cuando el valor transado es emitido por primera vez; o mediante mercados secundarios lo que implica la comercialización de un título adquirido previamente; o mediante ofertas públicas y privadas.

- *Mercado Accionario o Mercado de Capitales.*

  Espacios físicos o virtuales y conjunto de reglas que permiten a inversionistas, emisores e intermediarios realizar operaciones de emisión, colocación, distribución e intermediación de títulos accionarios inscritos en el Registro Nacional de Valores.

  La compraventa de acciones se puede llevar a cabo a través de mercados primarios o a través de mercados secundarios. Los títulos que se comercializan en el mercado accionario pueden clasificarse por:

  - *Emisor*: Empresas privadas o sociedades de inversión.
  - *Tipo*: Preferentes o comunes.

- *Mercado de Derivados.*

  Es el mercado en el cual las partes celebran contratos con instrumentos cuyo valor depende o es contingente del valor de otro(s) activo(s), denominado(s) activo(s) subyacente(s). La función primordial del mercado de derivados consiste en proveer instrumentos financieros de cobertura o inversión para fomentar una adecuada administración de riesgos.

  El mercado de derivados se divide en:

  - *Mercado Bursátil*: Es aquel en el que las transacciones se realizan en una bolsa reconocida. En México la bolsa de derivados se denomina: Mercado Mexicano de Derivados (MexDer). Actualmente MexDer opera contratos de futuros y de opciones sobre los siguientes activos financieros: dólar, euro, bonos, acciones, índices y tasas de interés.

- *Mercado Extrabursátil*: Es aquel en el cual se pactan las operaciones directamente entre compradores y vendedores, sin que exista una contraparte central para disminuir el riesgo de crédito.

- *Mercado Cambiario.*

  Lugar en que concurren oferentes y demandantes de monedas de curso extranjero. El volumen de transacciones con monedas extranjeras determina los precios diarios de unas monedas en función de otras, o el tipo de cambio con respecto a la moneda nacional.

II.1.1. Antecedentes del Mercado de Dinero Mexicano

En el año de 1978 nace el Mercado de Dinero Mexicano con la introducción de los Certificados de la Tesorería de la Federación (CETES). Para esta fecha dicho mercado se considero muy elemental.

Para la década de 1980 el mercado de dinero comienza a crecer de una manera considerable junto con las casas de bolsa, esto debido a la crisis de la deuda externa que se vivía en ese momento, la nacionalización de la banca y la incertidumbre del futuro económico de México.

Durante la década de 1990 aparecen instrumentos de financiamiento del Gobierno Federal como los Petrobonos, los Pagafes (pagarés de la federación) que después se sustituyeron por Tesobonos y Ajustabonos. A mediados de esta década desaparecieron todos estos instrumentos financieros.

Poco a poco se transforma la deuda a corto plazo en dólares (Tesobonos) por deuda a mediano plazo y para facilitar su colocación se emiten instrumentos con tasa revisable como los Bondes con pago de interés cada 28 o 91 días.

El 27 de enero de 2000 se colocaron por primera vez los bonos de tasa fija (Bonos M) a un plazo de 3 años y tiempo después a 5, 10, 20 y 30 años con intereses pagaderos cada 182 días.

Para las empresas privadas también se manejaron opciones financieras como son el papel comercial, las obligaciones tradicionales, los certificados de participación (CPO's) para el financiamiento de largo plazo y los pagares de mediano plazo.

Actualmente los títulos del gobierno federal con mayor bursatilidad son:

- CETES.
- Bondes.
- Bonos.

Como se muestra en este trabajo el mercado de dinero mexicano ha sufrido cambios a lo largo del tiempo lo cual genera mejores perspectivas en su desarrollo. Por lo anterior, se estudian los instrumentos financieros más líquidos que existen en este mercado.

II.2. CETES

Los *Certificados de la Tesorería de la Federación* (CETES) son títulos de crédito al portador en los cuales se consigna la obligación del gobierno federal a pagar su valor nominal a la fecha de su vencimiento. Estos son emitidos por la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP), siendo el Banco de México el agente financiero (intermediario) exclusivo para su colocación y redención.

Los CETES no contienen estipulación sobre pago de intereses, sino que se venden a los inversionistas abajo de su valor nominal. Esto es, son colocados mediante una tasa de descuento. La ganancia que recibe el inversionista es la diferencia entre el precio de compra y el valor nominal. Por tanto el rendimiento obtenido es en realidad una ganancia de capital, no un interés.

Sin embargo, en la práctica se refiere a los CETES como un instrumento que paga intereses.

La tasa de descuento aplicable a los CETES es variable; es la que corresponde a las condiciones que prevalecen en el momento dentro del mercado de crédito y es determinada mediante subasta, donde el Banco de México participa como vendedor y las casas de bolsas, instituciones de crédito, instituciones financieras y otras personas expresamente autorizadas participan como postores.

II.2.1. Características de los CETES

Las principales características de los CETES son:

- Son títulos de deuda del gobierno federal al portador y su valor nominal es de $10. Es decir, el gobierno federal se compromete a pagar $10 por cada CETE en la fecha de su vencimiento.

- Están garantizados por el gobierno federal, por lo que su seguridad es prácticamente total.

- Es una inversión de alta liquidez debido a que los CETES se pueden comprar y vender en cualquier día hábil en lo que se llama mercado secundario.

- El precio de los CETES se calcula a siete decimales.

- Los CETES pertenecen al mercado de dinero ya que son a corto plazo. Los plazos pueden ser de 28, 91, 182 y 364 días; sin embargo, en algunas ocasiones se ofrecen emisiones con otros vencimientos. El plazo máximo es de 364 días.

- El rendimiento obtenido por las personas físicas por compra-venta de CETES está exento del impuesto sobre la renta, ya que se trata de una ganancia de capital; en tanto que las personas morales deben acumular dicha ganancia a su base gravable.

- En todos los cálculos sobre CETES se considera el año comercial, es decir, el año de 360 días.

- Se emiten semanalmente los días jueves, excepto cuando el día jueves es día de descanso obligatorio. Así mismo, ese día se publica un anuncio de colocación de los CETES en los principales diarios del país. El anuncio muestra los siguientes datos:

    - Número de la emisión.
    - Monto de la emisión.
    - Fecha de la emisión.
    - Fecha de vencimiento.
    - Plazo.
    - Valor Nominal.
    - Tasa de descuento promedio ponderado a la que se coloca la emisión.
    - Tasa de rendimiento ponderado equivalente a la tasa de descuento.

- Los CETES son colocados por el Banco de México a través de subasta pública a tasa única o múltiple.

- Cualquier emisión de CETES está identificada a través de una clave, la cual se forma con la letra "B", que identifica el título, seguida, de un espacio en blanco y seis caracteres más, los cuales hacen referencia al año, mes y día de vencimiento. Sin embargo, cuando se difunden a través de la prensa escrita, es común que en lugar de un espacio en blanco aparezca una barra vertical.

La figura (II.1) muestra un anuncio de colocación de CETES.

EL GOBIERNO FEDERAL, POR CONDUCTO DE LA SECRETARIA DE HACIENDA Y CRÉDITO PÚBLICO

CERTIFICADOS DE LA TESORERIA DE LA FEDERACION

EMITE
BI090430
con valor de
$100,000,000,000.
(CIEN MIL MILLONES DE PESOS)

COLOCA
BI090226

Fecha de colocación	29 de enero de 2009
Fecha de vencimiento	26 de febrero de 2009
Plazo	28 días
Valor nominal	$10.00
Tasa de descuento	7.27%
Tasa de rendimiento	7.31%

Fecha de colocación	29 de enero de 2009
Fecha de vencimiento	30 de abril de 2009
Plazo	91 días
Valor nominal	$10.00
Tasa de descuento	7.15%
Tasa de rendimiento	7.28%

COLOCA
BI090730

Fecha de colocación	29 de enero de 2009
Fecha de vencimiento	26 de julio de 2009
Plazo	182 días
Valor nominal	$10.00
Tasa de descuento	6.79%
Tasa de rendimiento	7.03%

BANCO DE MEXICO

Este mensaje aparece con fines informativos

Figura II.1. Colocación de CETES.

II.2.2. Cálculos básicos de los CETES

Hay cuatro cálculos básicos que se llevan a cabo con los CETES:

- Cálculo del precio de compra de los CETES.
- Cálculo de la tasa de rendimiento.
- Cálculo del precio de los CETES cuando se venden anticipadamente.

- Cálculo de la tasa de rendimiento de los CETES con venta antes de su vencimiento.

Cálculo del precio de compra de los CETES

Se utiliza la ecuación (I.5) para obtener el descuento:

$$D = (VN)(d)\left(\frac{T}{360}\right) \tag{II.1}$$

Sea P el precio del CETE, por definición de valor efectivo se utiliza la ecuación (I.6) y se obtiene la siguiente ecuación:

$$P = VN - D \tag{II.2}$$

Sustituyendo la ecuación (II.1) en (II.2), se obtiene el precio de compra de los CETES:

$$P = VN\left(1 - d\frac{T}{360}\right) \tag{II.3}$$

donde D es el descuento, VN es el valor nominal, d es la tasa de descuento anual, T es el plazo en días y P es el precio de compra del CETE.

Cálculo de la tasa de rendimiento

La practica del descuento hace que la tasa de interés que se está pagando por el préstamo sea mayor que la indicada en el anuncio de los CETES[2]. Esta tasa de interés recibe el nombre de tasa de rendimiento y se representa por la letra r.

[2]Tasa de rendimiento ponderado equivalente a la tasa de descuento.

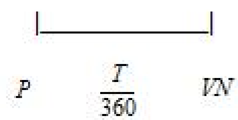


Figura II.2. Valor nominal de un CETE.

Como se observa en la figura (II.2), se puede obtener el valor nominal del CETE utilizando la fórmula del monto simple (I.3):

$$VN = P\left(1 + r\frac{T}{360}\right) \tag{II.4}$$

donde r es la tasa de rendimiento.

Para obtener el precio del CETE, se despeja P de la ecuación (II.4):

$$P = \frac{VN}{1 + r\frac{T}{360}} \tag{II.5}$$

Se iguala las ecuaciones (II.3) y (II.5):

$$VN\left(1 - d\frac{T}{360}\right) = \frac{VN}{1 + r\frac{T}{360}}$$

Para obtener la tasa de rendimiento, se despeja r:

$$r = \frac{d}{1 - d\frac{T}{360}} \tag{II.6}$$

donde r es la tasa de rendimiento, d es la tasa de descuento anual y T es el plazo en días.

Cálculo del precio de los CETES con venta antes de su vencimiento

Se calcula el precio de un CETE que se vende antes de su vencimiento. Sea d' la tasa de descuento para la venta de CETES antes de la fecha de vencimiento, usando la ecuación (II.3):

$$P' = VN\left(1 - d'\left(\frac{T-t}{360}\right)\right) \tag{II.7}$$

donde P' es el precio de los CETES para la venta antes de la fecha de su vencimiento, VN es el valor nominal, d' es la tasa de descuento anual para la venta de los CETES antes de la fecha de vencimiento, t son los días que han transcurrido hasta la fecha de compra anticipada donde $t < T$ y T es el plazo en días.

Cálculo de la tasa de rendimiento de los CETES cuando se vende anticipadamente

El vendedor del CETE pagó el precio P al tiempo inicial por lo que su inversión (P) debe de proveer un rendimiento r' durante t días. Adicionalmente se sabe que venderá el CETE al tiempo t por que le pagaran el precio del CETE con vencimiento anticipado (P'), por lo anterior se obtiene una ganancia $P' - P$.

Por definición de interés simple:

$$Pr'\frac{t}{360} = P' - P \tag{II.8}$$

Despejando r' de la ecuación (II.8), se obtiene la tasa de rendimiento cuando los CETES se venden anticipadamente:

$$r' = \frac{P' - P}{P\frac{t}{360}} \tag{II.9}$$

donde r' es la tasa de rendimiento cuando los CETES se venden anticipadamente, P' es el precio de los CETES para la venta antes de la fecha de su vencimiento, P es el precio de los CETES a la fecha de su vencimiento y t son los días transcurridos hasta la fecha del vencimiento anticipado.

Aplicación de los cálculos básicos de los CETES

El 21 de enero de 2009 se lanza una emisión de CETES con fecha de vencimiento al 18 de febrero de 2009, la tasa de descuento es del 31.24% anual y un plazo de 28 días. Una persona desea invertir $860,000.00 en CETES de esta emisión.

Calcular:

a) El precio de los CETES

Usando la fórmula (II.3) se obtiene:

$$P = 10\left[1 - (0.3124)\left(\frac{28}{360}\right)\right] = \$9.7570222$$

b) Número de CETES comprados

$$\frac{\$860,000.00}{\$9.7570222} = 88141.6461307$$

Por lo tanto se pueden adquirir 88141 CETES.

c) La utilidad total obtenida:

$$\$10 - \$9.7570222 = \$0.2429778$$

$$(88141)(0.2429778) = \$21416.3043111$$

d) La tasa de rendimiento:

Usando la fórmula (II.6) se obtiene:

$$r = \frac{0.3124}{1 - (0.3124)\left(\frac{28}{360}\right)} = 0.3201$$

e) Calcular el precio de los CETES suponiendo que se vende anticipadamente a los 15 días de ser adquirido, con una tasa de descuento anticipado del 35 % anual y 25 % anual. Calcular la tasa del rendimiento para ambos casos.

Usando la fórmula (II.7) se obtiene:

Para la tasa de descuento anticipada del 35 %:

$$P' = 10\left[1 - (0.35)\left(\frac{13}{360}\right)\right] = \$9.8736111$$

Para la tasa de descuento anticipada del 25%:

$$P' = 10\left[1 - (0.25)\left(\frac{13}{360}\right)\right] = \$9.9097222$$

Usando la fórmula (II.9) se tiene:

Para 35%:

$$r' = \frac{0.1165889}{(9.7570222)\left(\frac{15}{360}\right)} = 0.2867815$$

Para 25%:

$$r' = \frac{0.1527000}{(9.7570222)\left(\frac{15}{360}\right)} = 0.3756064$$

II.3. BONOS

Cuando una empresa privada o un gobierno necesitan financiar sus proyectos a largo plazo y la cantidad requerida para esto es tan elevada que sería difícil obtenerla de un solo banco o inversionista, el problema se puede resolver emitiendo *obligaciones* o *bonos* que pueden ser comprados tanto por personas físicas como morales. La empresa o gobierno emisor de las obligaciones o bonos recolectan el dinero proveniente de los inversionistas obligándose a pagarles un interés periódico y a reintegrar el capital al cabo de cierto tiempo.

Cuando el documento se emite por parte de una empresa privada, se le llama obligación. Cuando lo emite el gobierno se le llama bono. Sin embargo, esta nomenclatura no es estricta. En términos generales se usa la palabra bono para indicar tanto obligaciones como bonos.

Los precios de los bonos disminuyen cuando aumentan las tasas de interés y aumentan cuando éstas disminuyen.

II.3.1. Clasificación de los bonos

Los bonos se clasifican de la siguiente manera:

- Por propietario.
    - *Bono normativo.* Son aquellos que tienen el nombre de su propietario, pueden transferirse por endoso y con consentimiento del emisor. A estos bonos se les conoce también como registrados.

- *Bono al portador*. No tiene el nombre de su propietario por lo que pueden ser transferidos libremente y cambiar de dueño por simple venta. Pueden ser llamados bonos no registrados.

- Por tipo de garantía que los respalda.

  - *Bono fiduciario*. Se refiere a aquella garantía que está constituida en un fideicomiso.

  - *Bono hipotecario*. Es aquel que está garantizado por hipotecas sobre bienes, propiedad de la empresa emisora.

  - *Bono prendario*. Este bono está garantizado por diversos bienes.

  - *Bono quirografario*. Está garantizado por la buena reputación de la empresa emisora en cuanto a su cumplimiento con las obligaciones contraídas.

Los bonos son emitidos generalmente con cupones para el pago de los intereses.

El *cupón* es un pagaré que está impreso en serie, unido al bono y tiene impresa la fecha de su vencimiento.

Para el cobro del interés ganado en un determinado periodo, el tenedor del bono desprende el cupón correspondiente y lo presenta en el banco para cobrarlo. Algunos bonos carecen de cupones (no pagan intereses periódicamente; en este caso el interés que se genera se capitaliza y se paga al vencimiento del bono). También existen bonos que no pagan ningún interés debido a que se vendieron en una cantidad muy inferior a su valor nominal; es decir, se venden aplicando una tasa de descuento. Este tipo de bono es llamado *bono cupón cero*.

II.3.2. Características de los bonos

Las principales características de los bonos son:

- *Fecha de emisión.* Es aquella en la cual la institución emisora coloca sus bonos en el mercado de valores.

- *Valor nominal.* Es el valor marcado en el documento y constituye el capital o valor de referencia que el inversionista inicial proporciona al emisor del mismo, excepto cuando el documento es colocado con descuento. También se le conoce como valor de carátula.

- *Valor de redención.* Es la cantidad que el emisor del bono tiene que entregar al tenedor del documento al finalizar el plazo pactado para la vigencia de la emisión. Regularmente, el valor de redención es igual al valor nominal y en este caso se dice que el bono se redime a la par (par yield). Se tiene una emisión bajo la par o con descuento cuando el valor de redención es menor que el valor nominal. Cuando el valor de redención es mayor que el valor nominal, la emisión se redime sobre la par o con premio.
  Como se dijo anteriormente, la redención de un bono se lleva a cabo en la fecha de vencimiento, la cual es llamada fecha de redención y estipulada en el bono mismo. El emisor puede redimir un bono antes de su fecha de vencimiento, para que suceda esto el documento debe contener una cláusula de redención anticipada.
  Con la redención anticipada se tienen varias ventajas. Por ejemplo, si las tasas de interés bajan, la cláusula de redención anticipada le permite a la institución emisora retirar los bonos que están en circulación en ese momento, remplazándolos por bonos que paguen una tasa de interés más baja.
  Es común que el tenedor de un bono lo transfiera (lo venda) a otro inversionista antes de la fecha de vencimiento. Cuando esto ocurre, el bono se puede transferir a la par (si el precio de compra-venta del bono es igual al de redención), bajo la par (cuando el precio de compra-venta es menor que el de redención) o sobre la par (si el precio de compra-venta es mayor que el de redención).

- *Tasa de interés nominal.* Es la tasa utilizada por el emisor del bono para el pago de los intereses, también se conoce como tasa de cupón.
  Según las características del mercado financiero la tasa de interés puede ser:

  - *Fija:* La tasa de interés no varia con respecto a las condiciones del mercado. La tasa es establecida al momento de la emisión y está vigente durante la vida del bono. Este tipo de bonos protegen al inversionista contra una caída en las tasas de interés

- *Variable:* Los intereses son ajustados periódicamente para reflejar las condiciones del mercado prevalecientes en ese momento y están ligados a una tasa de referencia como pueden ser CETES, TIIE, etc. Este bono protege al inversionista contra alzas en las tasas de interés

- *Real:* El valor nominal se ajusta periódicamente con la inflación y sobre este valor ajustado se calculan los interés con la tasa de cupón pactada al momento de la emisión. Este tipo de bono protege al inversionista contra la perdida de poder adquisitivo de su inversión

- *Tasa de rendimiento.* También llamada tasa de retorno, es la tasa deseada por el inversionista.

- Los bonos pueden ser negociados en el mercado de valores, es decir, pueden ser comprados o vendidos en cualquier momento antes de la fecha de redención por personas diferentes al beneficiario original del bono.

II.3.3. Cálculos básicos de los bonos

Los principales cálculos de los bonos son:

- Cálculo del precio de un bono cupón tasa fija.

- Cálculo del precio del bono cupón tasa fija entre fechas de pago de cupones.

- Cálculo del precio de un bono cupón tasa variable.

- Cálculo de la tasa de rendimiento de un bono cupón tasa fija y bono cupón tasa variable.

Cálculo del precio de un bono cupón tasa fija

El *precio de mercado* es aquel que paga un inversionista interesado en la compra de los bonos. Este precio puede ser a la par cuando el precio del mercado es igual al valor de redención; sobre la par (con premio), si se paga un precio superior al valor de redención; bajo la par (con descuento), si se paga un precio menor al valor de redención.

El precio que se fija para un bono depende básicamente de los siguientes factores:

- Tasa de interés nominal.
- La tasa de interés deseada por el inversionista.
- El tipo de garantía del bono.
- El intervalo de tiempo para el pago de los intereses.
- El valor de redención.
- El tiempo que debe transcurrir hasta la fecha de redención.
- Las condiciones económicas prevalecientes en el país.

De acuerdo a los factores anteriores, un inversionista interesado en la compra de bonos debe determinar cuánto está dispuesto a pagar por ellos.

Cálculo del precio de un bono cupón tasa fija con tasa de rendimiento fija

Sea PM el precio de mercado o precio de compra del bono, F el valor de redención, I el interés que recibe el inversionista periódicamente (interés del cupón) y r la tasa anual de rendimiento fija, se define el diagrama (II.3) para determinar el valor presente de un bono cupón tasa fija.

Sea $B(0,t)$ el valor en el tiempo inicial de un peso pagado al tiempo t,

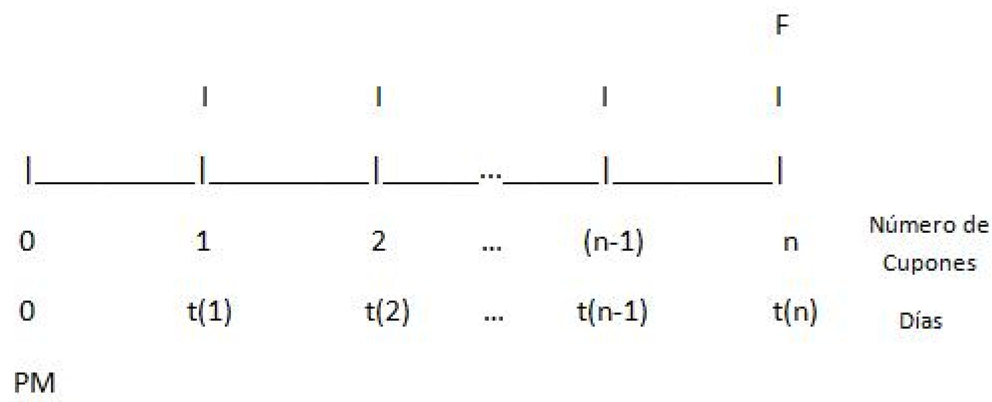


Figura II.3. Valor presente de un bono cupón tasa fija.

donde t está dado en días, por lo tanto[3]:

$$B(0,t) = \frac{1}{1 + r\frac{t}{360}} \tag{II.10}$$

donde r es la tasa anual de rendimiento y t es el plazo en días del cupón.

Observando la figura (II.3), se nota que el precio a pagar por un bono (precio de mercado) se determina sumando el valor presente del valor de redención y el valor presente de los intereses periódicos, en base a una tasa de interés deseada por el inversionista, llamada tasa de retorno o *tasa de rendimiento* de la inversión.

Es decir[4],

$$\begin{aligned} PM = & \frac{I}{(1+r\frac{t}{360})^1} + \frac{I}{(1+r\frac{t}{360})^2} + \frac{I}{(1+r\frac{t}{360})^3} + ... + \\ & \frac{I}{(1+r\frac{t}{360})^{n-1}} + \frac{I}{(1+r\frac{t}{360})^n} + \frac{F}{(1+r\frac{t}{360})^n} \end{aligned} \tag{II.11}$$

[3]Se utiliza el año comercial de 360 días.

[4]Debido a que la r es fija, r es anual capitalizable cada t días.

$$PM = \sum_{i=1}^{n} \frac{I}{(1+r\frac{t}{360})^i} + \frac{F}{(1+r\frac{t}{360})^n} \tag{II.12}$$

donde PM es el precio del bono cupón fijo, I es el interés del cupón del bono cupón fijo, t es el plazo en días del pago del cupón fijo, r es la tasa de rendimiento anual[5] y F es el valor nominal.

Utilizando la ecuación (II.10) se puede expresar la fórmula (II.12) como sigue:

$$PM = \sum_{i=1}^{n} I[B(0,t)]^i + F[B(0,t)]^n \tag{II.13}$$

donde PM es el precio del bono cupón fijo, I es el interés del cupón del bono cupón fijo, $B(0,t)$ es el valor en el tiempo inicial de un peso pagado al tiempo t, t es el plazo en días del pago del cupón fijo y F es el valor nominal.

Utilizando nuevamente la ecuación (II.11), se factoriza I:

$$\begin{aligned} PM =& I\left[\left(1+r\frac{t}{360}\right)^{-1} + \left(1+r\frac{t}{360}\right)^{-2} + ... + \left(1+r\frac{t}{360}\right)^{-n}\right] \\ &+ F\left(1+r\frac{t}{360}\right)^{-n} \end{aligned} \tag{II.14}$$

Se observa que al factorizar I se tiene una progresión geométrica[6], por lo que se obtiene:

$$PM = I\left[\frac{1-(1+r\frac{t}{360})^{-n}}{r\frac{t}{360}}\right] + F\left(1+r\frac{t}{360}\right)^{-n} \tag{II.15}$$

[5] Capitalizable $\frac{360}{t}$ veces al año.

[6] Ver tema de Progresión Geométrica en Anexos.

donde[7] PM es el precio del bono cupón fijo, I es el interés del cupón del bono cupón fijo, t es el plazo en días del pago del cupón fijo, r es la tasa de rendimiento anual y F es el valor nominal.

Utilizando la fórmula del interés simple (I.1) se puede calcular el interés periódico que se obtiene a través de los cupones, considerando como capital el valor nominal de bono.

$$I = Fk\frac{t}{360} \tag{II.16}$$

donde I es el interés del cupón del bono cupón fijo, F es el valor nominal, k es la tasa de interés anual del cupón fijo y t es el plazo en días del pago del cupón fijo.

Usando tasas de interés continuas se puede escribir la ecuación (II.12) como sigue utilizando la fórmula (I.21) del Capítulo I:

$$PM = \sum_{i=1}^{n} Ie^{-r_c\frac{t}{360}i} + Fe^{-r_c\frac{t}{360}n} \tag{II.17}$$

donde PM es el precio del bono cupón fijo, I es el interés del cupón del bono cupón fijo, F es el valor nominal, t es el plazo en días del pago del cupón fijo y r_c es la tasa de interés continua anual.

Cálculo del precio de un bono cupón tasa fija con tasa de rendimiento variable

Cuando la *tasa de rendimiento está sujeta a la ley de la oferta y demanda* que presenta el mercado[8] y observando el diagrama (II.3)[9], se puede escribir la fórmula (II.11) como sigue:

[7]Se nota que el primer término de la fórmula (II.15) es el valor presente de una anualidad vencida como en la fórmula (IV.12) que se encuentra en los Anexos en el tema de Anualidades.

[8]Como por ejemplo las tasas cero del CETE, la TIIE o la LIBOR.

[9]Se observa que $t(1) = t_1$, $t(2) = t_2$ y así sucesivamente hasta $t(n) = t_n$, por lo que r_i se capitaliza $t(i) = t_i$ días, entonces $r_i\frac{t(i)}{360} = r_i\frac{t_i}{360}$ es la tasa de interés por periodo de capitalización, donde $i = 1, 2, .., n$.

$$PM = \frac{I}{1+r_1\frac{t_1}{360}} + \frac{I}{1+r_2\frac{t_2}{360}} + \frac{I}{1+r_3\frac{t_3}{360}} + ...+ \frac{I}{1+r_{n-1}\frac{t_{n-1}}{360}} + \frac{I}{1+r_n\frac{t_n}{360}} + \frac{F}{1+r_n\frac{t_n}{360}} \tag{II.18}$$

$$PM = \sum_{i=1}^{n} \frac{I}{1+r_i\frac{t_i}{360}} + \frac{F}{1+r_n\frac{t_n}{360}} \tag{II.19}$$

$$PM = \sum_{i=1}^{n} IB(0,t_i) + FB(0,t_n) \tag{II.20}$$

donde PM es el precio del bono cupón fijo, F es el valor nominal y r_i es la tasa de rendimiento que corresponde en el tiempo t_i donde t_i está expresado en días.

Además $B(0,t_i)$ es:

$$B(0,t_i) = \frac{1}{1+r_i\frac{t_i}{360}} \tag{II.21}$$

e I es el interés del cupón fijo que se calcula de la siguiente manera:

$$I = Fk\frac{t}{360} \tag{II.22}$$

donde k es la tasa de interés anual del cupón fijo y t es el plazo en días del cupón.

Cuando las tasas son compuestas continuas el precio del bono es:

$$PM = \sum_{i=1}^{n} Ie^{-r_{ci}\left(\frac{t_i}{360}\right)} + Fe^{-r_{ci}\left(\frac{t_i}{360}\right)} \tag{II.23}$$

Se puede considerar:

$$B(0, t_i) = e^{-r_{ci}\left(\frac{t_i}{360}\right)} \tag{II.24}$$

donde PM es el precio del bono cupón fijo, F es el valor nominal, r_{ci} es la tasa de interés continua anual del cupón i que corresponde en el tiempo t_i[10] e I es el interés del cupón fijo que se calcula de la siguiente manera:

$$I = Fk\frac{t}{360}$$

donde k es la tasa de interés anual del cupón fijo y t es el plazo en días del cupón.

Ejemplo:

Una compañía emite bonos con valor nominal de \$100 cada uno, redimibles a la par a un plazo de 2 años. La tasa de interés que ofrece es del 8% anual pagadero semestralmente. ¿Qué precio se debe pagar por cada bono si se adquieren al final del vencimiento de cupón y se desea un rendimiento del 8.01% anual?

Utilizando como capital el valor nominal del bono y la fórmula (II.16), se obtiene el interés semestral de cada cupón:

$$I = (100)(0.08)\left(\frac{182}{360}\right) = \$4.04$$

Usando la ecuación (II.10) se obtiene la $B(0, t)$.

$$B(0, t) = \frac{1}{1 + 0.0801\left(\frac{182}{360}\right)} = 0.9611$$

Concentrando los resultados en la tabla (II.1).

[10] Donde t_i esta expresado en días.

i	Plazo en meses	I	$[B(0,t)]^i$
1	6	4.04	0.9611
2	12	4.04	0.9237
3	18	4.04	0.8877
4	24	4.04	0.8532

Tabla II.1. Cálculo de $[B(0,t)]^i$.

Por lo tanto, utilizando la fórmula (II.13):

$$PM = \sum_{i=1}^{4} 4.04[B(0,t)]^i + 100[B(0,t)]^4 = \$99.97$$

Ahora se calcula el precio del bono cupón tasa fija utilizando la fórmula (II.15):

$$PM = 4.04\left[\frac{1-(1+0.0801\left(\frac{182}{360}\right))^{-4}}{0.0801\left(\frac{182}{360}\right)}\right]+100\left(1+0.0801\left(\frac{182}{360}\right)\right)^{-4} = \$99.96$$

Se calcula de diferente forma el precio del bono usando la fórmula (II.17):

Mediante la fórmula (I.21) obtiene la tasa continua anual:

$$r_c = Ln\left[\left(1+\frac{0.0801}{\frac{360}{182}}\right)^{\frac{360}{182}}\right] = 0.0785$$

Por lo tanto,

$$PM = \sum_{i=1}^{4} 4.04e^{-0.0785\left(\frac{182}{360}\right)i} + 100e^{-0.0785\left(\frac{182}{360}\right)4} = \$99.97$$

Cálculo del precio del bono cupón tasa fija entre fechas de pago de cupones

El ejemplo anterior se realizó bajo el supuesto de que el bono fue comprado el día de la fecha del vencimiento de un cupón. Ahora se considera que el calculo del bono entre fechas de cupón, por lo que el interés del cupón inmediato a vencerse (conformado por la parte proporcional del cupón correspondiente a los intereses devengados e intereses por devengarse) pertenece, una parte de él, al vendedor del bono y la otra pertenece al comprador. El precio de dicho bono es llamado *precio neto* y debe calcularse como la suma del precio de mercado más la parte proporcional de los intereses del cupón que está por vencerse y que le corresponde al vendedor del título[11].

Se puede calcular el precio de mercado en la fecha de compra, mediante el valor presente del bono en dicha fecha, sin incluir el interés devengado del cupón próximo a vencerse.

Ejemplo:

El gobierno emite un bono en el año 2007, con valor nominal de \$100 con tasa de interés nominal del 13% anual pagadero el 11 de marzo y el 11 de septiembre de cada año, vence a la par el 11 de marzo de 2012. Si dicho bono se compra el 15 de julio de 2007, determinar el precio de mercado utilizando una tasa de rendimiento del 16% anual capitalizable cada semestre.

Aplicando la fórmula (I.1), el interés semestral del cupón es:

$$I = (100)(0.13)\left(\frac{182}{360}\right) = \$6.57 \tag{II.25}$$

Se observa la figura (II.4) del diagrama de tiempo.

Primero se determinan los precios de mercado del bono en la fechas de pago de cupón antes y después de la fecha de compra utilizando la fórmula (II.15)[12].

[11] Al precio neto también se le conoce como precio sucio del bono.

[12] El precio del bono se puede calcular utilizando las diferentes fórmulas obtenidas en

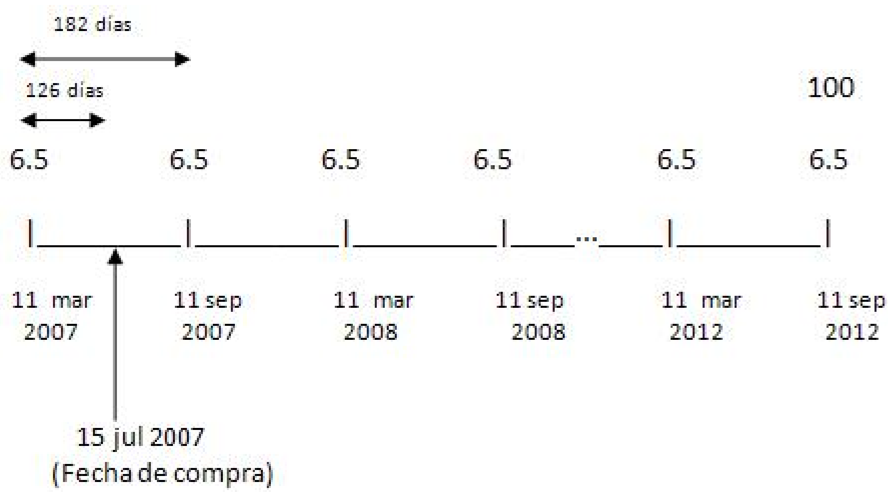


Figura II.4. Diagrama de tiempo.

Sea PM_0 el precio de mercado del bono en la fecha de cupón que se encuentra antes de la fecha de compra, es decir el precio del bono en la fecha del 11 de marzo de 2007.

$$PM_0 = 6.57\left[\frac{1-(1+0.16\left(\frac{182}{360}\right))^{-10}}{0.16\left(\frac{182}{360}\right)}\right]+100\left(1+0.16\left(\frac{182}{360}\right)\right)^{-10} = \$89.85$$

Sea PM_1 el precio de mercado del bono en la fecha de cupón que se encuentra después de la fecha de compra, es decir el precio del bono en la fecha del 11 de septiembre de 2007.

$$PM_1 = 6.57\left[\frac{1-(1+0.16\left(\frac{182}{360}\right))^{-9}}{0.16\left(\frac{182}{360}\right)}\right]+100\left(1+0.16\left(\frac{182}{360}\right)\right)^{-9} = \$90.55$$

Entonces:

$PM_0 = \$89.85$

el tema anterior dependiendo del problema.

$PM_1 = \$90.55$

Se nota que el precio de mercado del bono en la fecha de compra se calcula suponiendo que éste aumenta en forma lineal entre las dos fechas. De forma general, las fórmulas para obtener PM_0 y PM_1 son las siguientes:

$$PM_0 = I\left[\frac{1-(1+r\frac{t}{360})^{-n}}{r\frac{t}{360}}\right] + F\left(1+r\frac{t}{360}\right)^{-n} \tag{II.26}$$

$$PM_1 = I\left[\frac{1-(1+\frac{t}{360})^{-(n-1)}}{r\frac{t}{360}}\right] + F\left(1+r\frac{t}{360}\right)^{-(n-1)} \tag{II.27}$$

donde PM_0 es el precio de mercado del bono en la fecha de cupón que se encuentra inmediatamente antes de la fecha de compra, PM_1 es el precio de mercado del bono en la fecha de cupón que se encuentra inmediatamente después de la fecha de compra, F es el valor nominal del título, I es el interés del cupón, el cual se obtiene de la siguiente manera:

$$I = Fk\frac{t}{360} \tag{II.28}$$

donde k es la tasa de interés anual del cupón, r es la tasa de rendimiento a vencimiento anual expresada en decimales, t es el plazo del cupón y n es el número de cupones por liquidar incluyendo el vigente.

Entonces, al suponer que el crecimiento es lineal, se puede obtener el aumento de precio por día, es decir calculando la pendiente de la línea recta:

$$\frac{\Delta PM}{\Delta t} = \frac{PM_1 - PM_0}{t_1 - t_0} \tag{II.29}$$

donde ΔPM es el incremento en el precio del mercado, Δt es el incremento en el tiempo, PM_0 es el precio de mercado del bono en la fecha de cupón que se encuentra inmediatamente antes de la fecha de compra, PM_1 es el precio de mercado del bono en la fecha de cupón que se encuentra inmediatamente después de la fecha de compra, t_0 es el plazo del cupón antes de la fecha de compra y t_1 es el plazo del cupón después de la fecha de compra.

Utilizando la fórmula (II.29) se obtiene:

$$\frac{\Delta PM}{\Delta t} = \frac{\$90.55 - \$89.85}{182} = 0.0038 \text{ pesos/día}$$

Ahora como el bono se vendió 126 días después del 11 de marzo de 2007 el precio de mercado aumenta en:

$$(0.0038 \text{ pesos/día})(126 \text{ días}) = \$0.4778$$

Generalizando, se considera que el bono se vendió m días después de la fecha de emisión, se obtiene el incremento del precio de mercado para los m días transcurridos :

$$\left(\frac{\Delta PM}{\Delta t} \text{ pesos/día}\right)(m \text{ días}) \tag{II.30}$$

donde ΔPM es el incremento en el precio del mercado, Δt es el incremento en el tiempo y m es número de días transcurridos del cupón vigente.

La expresión $\frac{\Delta PM}{\Delta t}$ se calcula como en la fórmula (II.29).

Por lo tanto, el precio de mercado del bono en la fecha de compra (15 de julio de 2007) es:

$$PM_{compra} = PM_0 + \$0.4778 = \$89.85 + \$0.4778 = \$90.33$$

De forma general,

El precio de mercado del bono en la fecha de compra o precio limpio del bono se calcula de la siguiente manera:

$$PM_{compra} = PM_0 + \left(\frac{\Delta PM}{\Delta t} \text{ pesos/día} \right) (m \text{ días}) \qquad \text{(II.31)}$$

donde PM_{compra} es el precio de mercado en la fecha de compra o precio limpio, PM_0 es el precio de mercado del bono en la fecha de cupón que se encuentra inmediatamente antes de la fecha de compra, ΔPM es el incremento en el precio del mercado, Δt es el incremento en el tiempo y m es número de días transcurridos del cupón vigente.

Como se menciona anteriormente el precio de mercado en la fecha de compra no incluye los intereses devengados del cupón próximo a vencerse, por lo que se calcula el precio neto[13].

Se utiliza la fórmula de interés simple (I.1) para calcular el interés devengado del cupón próximo a vencerse:

$$X = Fk\frac{m}{360} \qquad \text{(II.32)}$$

donde F es el valor nominal, k es la tasa de interés anual del cupón y m es el número de días transcurridos del cupón vigente.

Por lo que,

$$X = (100)(0.13)\left(\frac{126}{360}\right) = \$4.55$$

Por lo tanto, el precio neto a pagar y de acuerdo a la definición es:

$$PN = PM_{compra} + X = \$90.33 + \$4.55 = \$94.88$$

donde X representa la parte proporcional del interés del cupón que vence el 11 de septiembre de 2007 y que pertenece al vendedor del bono.

[13]Este precio contiene los intereses devengados que el comprador debe pagar al vendedor.

Generalizando, se obtiene la siguiente fórmula para obtener el precio neto:

$$PN = PM_{compra} + X \tag{II.33}$$

donde PN es el precio neto o precio sucio del bono, PM_{compra} es el precio de mercado en la fecha de compra o precio limpio, X es la parte proporcional del interés del cupón que está por vencerse y que pertenecen al vendedor o intereses devengados.

Cálculo del precio de un bono cupón tasa variable

El cálculo de este tipo de bonos es muy similar al cálculo del precio de un bono cupón tasa fija, los pagos de cupón son ajustables, dichos ajustes se vinculan con un índice de la tasa de interés, como por ejemplo los CETES o la TIIE.

Sea PM_{var} el precio de mercado o precio de compra de un bono cupón tasa variable, F el valor de redención[14] e I_i el interés que recibe el inversionista al tiempo t_i donde $i = 1, ..., n$ expresado en días (interés del cupón), se define el diagrama (II.5)[15].

Entonces[16]:

$$\begin{aligned} PM_{var} = & \frac{I_1}{(1 + r_1 \frac{t_1}{360})} + \frac{I_2}{(1 + r_2 \frac{t_2}{360})} + \frac{I_3}{(1 + r_3 \frac{t_3}{360})} + ... + \\ & \frac{I_{n-1}}{(1 + r_{n-1} \frac{t_{n-1}}{360})} + \frac{I_n}{(1 + r_n \frac{t_n}{360})} + \frac{F}{(1 + r_n \frac{t_n}{360})} \end{aligned}$$

Por lo tanto,

[14] Valor nominal cuando se redime a la par.

[15] En el diagrama se nota que $t(1) = t_1$, $t(2) = t_2$, ..., $t(n-1) = t_{n-1}$, $t(n) = t_n$.

[16] Como $t(1) = t_1$, $t(2) = t_2$ y así sucesivamente hasta $t(n) = t_n$, por lo que r_i se capitaliza $t(i) = t_i$ días, entonces $r_i \frac{t(i)}{360} = r_i \frac{t_i}{360}$ es la tasa de interés por periodo de capitalización, donde $i = 1, 2, .., n$.

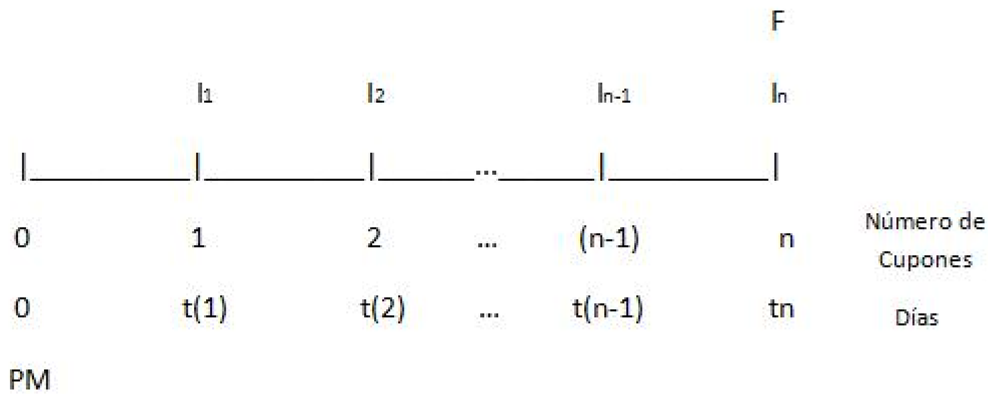


Figura II.5. Valor presente de un bono cupón tasa variable.

$$PM_{var} = \sum_{i=1}^{n} \frac{I_i}{(1 + r_i \frac{t_i}{360})} + \frac{F}{(1 + r_n \frac{t_n}{360})} \tag{II.34}$$

donde PM_{var} es el precio del bono cupón variable, I_i es el interés del cupón i, r_i es la tasa de rendimiento que corresponde en el tiempo t_i[17] y t_i es el tiempo al que se realiza el pago del cupón i en días.

$$PM_{var} = \sum_{i=1}^{n} I_i \frac{1}{(1 + r_i \frac{t_i}{360})} + \frac{F}{(1 + r_n \frac{t_n}{360})} \tag{II.35}$$

Sea $B(0, t_i)$ el valor en el tiempo inicial de un peso pagado en t_i, por lo que:

$$B(0, t_i) = \frac{1}{(1 + r_i \frac{t_i}{360})} \tag{II.36}$$

donde r_i es la tasa de rendimiento anual nominal que corresponde en el tiempo t_i.

[17]Esta tasa es variable y se referencia por la TIIE o los CETES. Dichas tasas son conocidas al tiempo inicial por lo que cada r_i es una tasa cero que aplica del día 0 al día t_i.

Lo cual implica que se puede escribir la fórmula (II.35) como sigue,

$$PM_{var} = \sum_{i=1}^{n} I_i B(0,t_i) + FB(0,t_n) \tag{II.37}$$

donde PM_{var} es el precio del bono cupón variable, I_i es el interés del cupón i, F es el valor nominal, $B(0,t_i)$ es el valor en el tiempo inicial de un peso pagado al tiempo t_i y $B(0,t_n)$ es el valor en el tiempo inicial de un peso pagado en t_n.

Utilizando la fórmula del interés simple (I.1) se puede calcular el interés periódico al tiempo t_i del cupón i que se obtiene a través de los cupones, considerando como capital el valor nominal del bono, con una tasa variable k_i, por lo que se obtiene la siguiente fórmula:

$$I_i = Fk_i \left(\frac{t_i - t_{i-1}}{360} \right) \tag{II.38}$$

donde I_i es el interés del cupón i, F es el valor nominal, k_i es la tasa de interés anual del cupón i, t_i es el tiempo al que se realiza el pago del cupón i en días y t_{i-1} es el tiempo al que se realiza el pago del cupón $i-1$ en días.

La tasa k_i puede ser calculada mediante la fórmula de la tasa forward (I.27), debido a que permite obtener la tasa que aplica entre el periodo t_{i-1} y t_i por medio de las tasas cero que aplican del día 0 al día t_i como pueden ser la TIIE o los CETES, utilizando la fórmula (II.38) se obtiene:

$$I_i = Fk_{f_i} \left(\frac{t_i - t_{i-1}}{360} \right) \tag{II.39}$$

donde I_i es el interés del cupón i, F es el valor nominal, k_{f_i} es la tasa de interés forward anual del cupón i entre el tiempo t_{i-1} y t_i, t_i es el tiempo al que se realiza el pago del cupón i en días y t_{i-1} es el tiempo al que se realiza el pago del cupón $i-1$ en días.

i	Plazos en días	$TIIE_{28}\,\%$	$B(0,t_i)$
1	28	4.9300	0.9962
2	56	4.9200	0.9924
3	84	4.9200	0.9887
4	112	4.9350	0.9849
5	140	4.9300	0.9812
6	166	4.9150	0.9776
7	196	4.9200	0.9739
8	224	4.9150	0.9703
9	252	4.9050	0.9668
10	280	4.9000	0.9633
11	308	4.9100	0.9597
12	336	4.9200	0.9561
13	364	4.9200	0.9526

Tabla II.2. Tabla de la TIIE a 28 días y cálculo de $B(0,t_i)$.

La fórmula (II.34) se puede escribir, utilizando la ecuación (I.24) del Capítulo I, como sigue:

$$PM_{var} = \sum_{i=1}^{n} I_i e^{-r_{ci}\left(\frac{t_i}{360}\right)} + Fe^{-r_{cn}\left(\frac{t_n}{360}\right)} \tag{II.40}$$

donde PM_{var} es el precio del bono cupón variable, I_i es el interés del cupón i, r_{ci} es la tasa de interés continua anual del cupón i que corresponde en el tiempo t_i y t_i es el tiempo al que se realiza el pago del cupón i en días.

Ejemplo:

El gobierno emite bonos con valor de \$100, redimibles a la par a un plazo de 1 año, y paga cupón cada 28 días referenciados en la $TIIE$ a 28 días[18] de la tabla (II.2).

Se obtiene el primer interés de cupón I_1 debido a que se conoce la tasa al tiempo 0:

[18] Se tomó como referencia la TIIE a 28 días de marzo de 2010.

$$I_1 = (100)(0.0493)\left(\frac{28}{360}\right) = 0.38$$

Para los siguientes pagos de cupones $i = 2, ..., 13$ no se sabe cuál es la tasa, por lo que se utiliza la tasa forward (I.27).

$$k_{f_2} = \left[\frac{\left(1 + 0.0492\left(\frac{56}{360}\right)\right)}{\left(1 + 0.0493\left(\frac{28}{360}\right)\right)} - 1\right]\left[\frac{360}{56 - 28}\right] = 0.0489$$

Por lo que el segundo interés de cupón I_2 es:

$$I_2 = (100)(0.0489)\left(\frac{28}{360}\right) = 0.38$$

A los 84 días la tasa forward es:

$$k_{f_3} = \left[\frac{\left(1 + 0.0492\left(\frac{84}{360}\right)\right)}{\left(1 + 0.0492\left(\frac{56}{360}\right)\right)} - 1\right]\left[\frac{360}{84 - 56}\right] = 0.0488$$

Lo que implica que el tercer cupón I_3 es:

$$I_3 = (100)(0.0488)\left(\frac{28}{360}\right) = 0.38$$

Y así sucesivamente. Se concentran los datos obtenidos en la tabla (II.3).

Se agrupan los resultados de I_i y $B(0, t_i)$ en la tabla (II.4).

Utilizando la fórmula (II.37) y la tabla (II.4) se obtiene:

$$PM_{var} = \sum_{i=1}^{13} I_i B(0, t_i) + 100(0.9526) = 100.01$$

i	Plazo en días	Tasa forward $k_{f_i}\%$	Interés del cupón I_i
1	28	4.93	0.38
2	56	4.89	0.38
3	84	4.88	0.38
4	112	4.92	0.38
5	140	4.84	0.38
6	166	4.74	0.37
7	196	4.84	0.38
8	224	4.75	0.37
9	252	4.68	0.36
10	280	4.69	0.37
11	308	4.83	0.38
12	336	4.83	0.38
13	364	4.70	0.37

Tabla II.3. Cálculo de la tasa forward e interés del cupón.

i	Plazos en días	I_i	$B(0,t_i)$
1	28	0.38	0.9962
2	56	0.38	0.9924
3	84	0.38	0.9886
4	112	0.38	0.9849
5	140	0.38	0.9812
6	166	0.37	0.9778
7	196	0.38	0.9739
8	224	0.37	0.9703
9	252	0.36	0.9668
10	280	0.37	0.9633
11	308	0.38	0.9597
12	336	0.38	0.9561
13	364	0.37	0.9526

Tabla II.4. Resultados de I_i y $B(0,t_i)$.

Se puede demostrar que el precio del bono cupón tasa variable es igual al valor nominal, bajo el argumento de no arbitraje que se utiliza en la deducción de la tasa forward, la cual se uso para calcular el interés del cupón.

Se sabe que:

$$I_i = Fk_{f_i}\left(\frac{t_i - t_{i-1}}{360}\right)$$

Como se muestra se puede calcular k_i con la tasa forward por lo que:

$$I_i = F\left[\frac{\left(1 + r_i \frac{t_i}{360}\right)}{\left(1 + r_{i-1}\frac{t_{i-1}}{360}\right)} - 1\right]\left[\frac{360}{t_i - t_{i-1}}\right]\left[\frac{t_i - t_{i-1}}{360}\right] \tag{II.41}$$

Se recuerda que:

$$B(0, t_i) = \frac{1}{(1 + r_i \frac{t_i}{360})}$$

Por lo tanto,

$$I_i = F\left[\frac{B(0, t_{i-1})}{B(0, t_i)} - 1\right] \tag{II.42}$$

Sustituyendo (II.42) en la fórmula (II.37) se obtiene:

$$
\begin{aligned}
PM_{var} &= \sum_{i=1}^{n} F\left[\frac{B(0,t_{i-1})}{B(0,t_i)} - 1\right]B(0,t_i) + FB(0,t_n) \\
&= \sum_{i=1}^{n} F[B(0,t_{i-1}) - B(0,t_i)] + FB(0,t_n) \\
&= F\{[B(0,t_0) + B(0,t_1) + B(0,t_2) + ... + B(0,t_{n-1})] \\
&\quad - [B(0,t_1) + B(0,t_2) + ... + B(0,t_{n-1}) + B(0,t_n)]\} + FB(0,t_n) \\
&= F[B(0,t_0) - B(0,t_n)] + FB(0,t_n) \\
&= FB(0,t_0) \\
&= F
\end{aligned}
$$

Por lo tanto, se demuestra que el precio de un bono cupón tasa variable es igual a su valor nominal[19]:

$$PM_{var} = F \tag{II.43}$$

donde PM_{var} es el precio del bono cupón tasa variable y F es el valor nominal.

Cálculo de la tasa de rendimiento de un bono cupón tasa fija y bono cupón tasa variable.

En la práctica es común que al inversionista sólo se le diga el precio que debe pagar por un bono sin que en ningún momento se le de a conocer la tasa de rendimiento que puede obtener de su inversión.

El rendimiento de un bono que paga cupón es la tasa de interés de descuento que iguala los flujos de efectivo sobre el bono con el valor de mercado, por lo que el *rendimiento r para un bono cupón tasa fija o variable* está dado por la siguiente ecuación:

[19]Recuerda que $B(0,t_i)$ es el valor en el tiempo inicial de un peso pagado al tiempo t_i lo que implica $B(0,t_0) = 1$.

$$PM_{actual} = \sum_{i=1}^{n} \frac{I}{(1+r)^i} + \frac{F}{(1+r)^n} \qquad \text{(II.44)}$$

donde PM_{actual} es el precio del bono actual, I es el interés del cupón donde la tasa de interés anual puede ser fija o variable dependiendo de la tasa cupón, r es la tasa de rendimiento anual fija y F es el valor nominal.

Es imposible obtener una fórmula para calcular la tasa de rendimiento, por lo que se obtiene a 'prueba y error' igualando los flujos de efectivo sobre el bono con el valor de mercado[20]. Se puede iniciar utilizando un valor cercano a la tasa de interés de los cupones.

Cuando *la tasa de rendimiento r está sujeta a la ley de oferta y demanda* que presenta el mercado y el bono es cupón tasa fija o variable se pueden calcular mediante el método Bootstrapping (ver sección (II.3.4)).

Ejemplo:

Un bono cupón tasa fija con valor nominal de \$400 se redime a la par dentro de un año y medio. Los intereses se pagan mediante cupones trimestrales a la tasa del 7% anual. Si el bono se cotiza en este momento a \$385, calcular la tasa anual de rendimiento.

Se calcula primero el interés de cupón:

$$I = (\$400)(0.07)\left(\frac{91}{360}\right) = \$7.08$$

Se sabe que el precio actual del bono es de \$385, se utiliza la ecuación (II.15):

$$385 = 7.08\left[\frac{1-(1+r)^{-6}}{r}\right] + 400(1+r)^{-6} \qquad \text{(II.45)}$$

[20]La tasa de rendimiento también se puede obtener utilizando una calculadora programable, una calculadora financiera o una computadora.

La incógnita a resolver es r que es la tasa de rendimiento trimestral. Por lo que se calcula el lado derecho de la ecuación (II.45).

Se supone un valor de 9% anual:

$$7.08\left[\frac{1-\left(1+(0.09)\left(\frac{91}{360}\right)\right)^{-6}}{(0.09)\left(\frac{91}{360}\right)}\right]+400\left(1+(0.09)\left(\frac{91}{360}\right)\right)^{-6}=388.79$$

$$385 \neq 388.79$$

Ahora se supone un valor de 10%:

$$7.08\left[\frac{1-\left(1+(0.10)\left(\frac{91}{360}\right)\right)^{-6}}{(0.10)\left(\frac{91}{360}\right)}\right]+400\left(1+(0.10)\left(\frac{91}{360}\right)\right)^{-6}=383.32$$

$$385 \neq 383.32$$

Se observa que la tasa de rendimiento se encuentra entre 9% y 10%. Por lo que se supone una tasa de 9.5%:

$$7.08\left[\frac{1-\left(1+(0.095)\left(\frac{91}{360}\right)\right)^{-6}}{(0.095)\left(\frac{91}{360}\right)}\right]+400\left(1+(0.095)\left(\frac{91}{360}\right)\right)^{-6}=386.04$$

$$385 \neq 386.04$$

Se toma ahora el valor de 9.7%:

$$7.08\left[\frac{1-\left(1+(0.097)\left(\frac{91}{360}\right)\right)^{-6}}{(0.097)\left(\frac{91}{360}\right)}\right]+400\left(1+(0.097)\left(\frac{91}{360}\right)\right)^{-6}=384.95$$

$$385 \approx 384.95$$

Por último, se considera el valor de 9.69%:

$$7.08\left[\frac{1-\left(1+(0.0969)\left(\frac{91}{360}\right)\right)^{-6}}{(0.0969)\left(\frac{91}{360}\right)}\right]+400\left(1+(0.0969)\left(\frac{91}{360}\right)\right)^{-6}=385$$

$$385 = 385$$

Por lo anterior, se puede decir que la tasa anual de rendimiento es 9.69% nominal cada trimestre.

II.3.4. Determinación de la curva cero mediante bonos

En los últimos años la determinación de la curva cero ha tomado mayor relevancia debido a que tiene varios usos; como los más importantes se citan los siguientes:

- Cálculo del valor presente de flujos futuros de fondos.
- Valuación de instrumentos de renta fija.
- Cálculo de tasas forward.
- Análisis de riesgo.

La *curva cero* también es conocida como curva cupón cero.

En primera instancia es importante definir una *curva de rendimientos* como una función $r(t_i)$ donde una inversión, con un único pago al inicio durante un periodo de tiempo t_i, se incrementa una tasa $r(t_i)$. En otras palabras se puede decir que por cada peso invertido se recibe $1 + r(t_i)$ al final del periodo t_i.

El tipo de inversión descrito anteriormente es equivalente a instrumentos cupón cero donde no existe riesgo de reinversión. Este conjunto de rendimientos en función de los plazos, para instrumentos cupón cero, es lo que se conoce como Estructura Temporal de Tasas de Interés (ETTI).

Se pueden calcular varias curvas de rendimientos como son:

- *Curva Benchmark:* Esta curva se construye mediante el uso de activos financieros que son referentes del mercado (o "Benchmark"), típicamente títulos de deuda. La curva Benchmark más usual es la curva construida a partir del rendimiento de los títulos de deuda considerados como los más representativos (en términos de líquidez y monto emitido) del mercado en cuestión.

- *Curva par:* La curva par representa los rendimientos que tendrían los títulos de deuda incluidos en la curva si se negociaran a la par. Dado que cuando el título de deuda negocia a la par su rendimiento es igual a la tasa cupón, la curva par es a veces llamada curva cupón.

- *Curva Cupón Cero (Spot):* Representa el conjunto de rendimientos al vencimiento de una serie de inversiones cupón cero que no presentan riesgo de reinversión. De este modo, los rendimientos cupón cero pueden considerarse como la representación de la estructura temporal de tasas de interés.

La *Curva Cupón Cero* se puede determinar utilizando los instrumentos más líquidos para cada plazo. Se puede calcular la tasas cupón cero a partir de instrumentos que se negocian, como son los bonos cupón cero o bonos cuponados, mediante el llamado *Método Bootstrapping.*

El Bootstrapping es el acto de derivar el rendimiento del ingreso fijo del cupón cero de un conjunto de productos de cupón devengado. Usando estos productos de cupón cero se puede derivar tasas swaps a la par (forward y spot) para todos los tiempos de vencimiento del mercado utilizando suposiciones (incluyendo la interpolación lineal).

Debido a que en general se carece de puntos de datos en la curva de rendimiento (solo hay un número finito de productos en el mercado) y que además éstos tienen frecuencias de cupón que varia; se hace importante

Bono	Valor nominal del bono ($)	Tiempo de vencimiento (días)	Interés del cupón anual ($)	Precio del bono actual ($)
1	100	91	0	97.5
2	100	182	0	94.9
3	100	364	0	90.0
4	100	546	8	96.0
5	100	728	12	101.6

Tabla II.5. Datos para el método Bootstrapping.

construir una curva de instrumentos de cupón cero con la cual se puede poner un precio para cualquier rendimiento, o forward o spot, sin la necesidad de más información externa.

Método general:

1. Definir el conjunto de productos de rendimiento.

2. Derivar factores de descuento para todos los términos.

3. Establecer la curva cupón cero 'Bootstrapping' paso a paso.

En cada etapa del proceso iterativo, interesa obtener el rendimiento del bono a una tasa cupón cero en n años, también conocida como Tasa Interna de Retorno (TIR) del bono. Cuando no hay pagos intermedios del bono (es decir el interés y el principal son recuperados al final de los n años) esta tasa es también llamada la tasa spot (tasa cero) a n años. Para calcular esta tasa, se puede basar en que el precio del bono teórico es calculado sacando el valor presente de todos los flujos de efectivo que se reciben en un futuro. En el caso de tasas swaps, se requiere la tasa del bono a la par (los swaps son valorados a la par cuando son creados), por lo tanto se necesita que el valor presente de los flujos de efectivo futuros y el principal, sea igual al precio de mercado actual del bono.

Se considera el siguiente ejemplo y la tabla (II.5) para ilustrar la naturaleza del método Bootstrapping. El interés del cupón se paga semestralmente.

Como los primeros tres bonos no pagan cupón, la tasa cero correspondiente al vencimiento de estos bonos puede ser calculada fácilmente como sigue:

$$PM_{actual} = \frac{F}{(1 + r_n \frac{t_n}{360})}$$

Despejando r_n se obtiene:

$$r_n = \left[\left(\frac{F}{PM_{actual}}\right) - 1\right]\left[\frac{360}{t_n}\right] \qquad \text{(II.46)}$$

donde r_n es la tasa de interés cupón cero anual para el periodo de tiempo t_n del bono que no paga cupones, F es el valor nominal del bono, PM_{actual} es el precio de mercado del bono cupón fijo y t_n es el periodo de tiempo en días para el pago de cupón n.

Las tasas que se calculan son tasas cero anuales capitalizables $\frac{360}{t_i}$ veces al año.

A los 91 días se obtiene[21]:

$$r_1 = \left[\left(\frac{100}{97.5}\right) - 1\right]\left[\frac{360}{91}\right] = 0.1014$$

A los 182 días:

$$r_2 = \left[\left(\frac{100}{94.9}\right) - 1\right]\left[\frac{360}{182}\right] = 0.1063$$

A los 364 días, se obtiene:

$$r_3 = \left[\left(\frac{100}{90.0}\right) - 1\right]\left[\frac{360}{364}\right] = 0.1098$$

[21]Para calcular la tasa con composición continua se usa la fórmula (I.22) por lo cual se obtiene 10.01% anual. Para los demás periodos se calcula de forma similar.

A partir de los 546 días el bono ya paga cupón. Por otro lado se conocen las tasas al medio año y al primer año, se usa la ecuación (II.19) para calcular el precio teórico del bono:

$$96.0 = \frac{4}{\left(1 + 0.1063\left(\frac{182}{360}\right)\right)} + \frac{4}{\left(1 + 0.1098\left(\frac{364}{360}\right)\right)} + \frac{104}{\left(1 + r_4\left(\frac{546}{360}\right)\right)}$$

Despejando r_4 se obtiene la tasa cero a 546 días:

$$r_4 = \left[\frac{104}{\left(96.0 - \frac{4}{(1+0.1063\left(\frac{182}{360}\right))} - \frac{4}{(1+0.1098\left(\frac{364}{360}\right))}\right)} - 1\right]\left[\frac{360}{546}\right] = 0.1145$$

La tasa cero a los 728 se calcula de la misma forma:

$$101.6 = \frac{6}{\left(1 + 0.1063\left(\frac{182}{360}\right)\right)} + \frac{6}{\left(1 + 0.1098\left(\frac{364}{360}\right)\right)} + \frac{6}{\left(1 + 0.1145\left(\frac{546}{360}\right)\right)} + \frac{106}{\left(1 + r_5\left(\frac{728}{360}\right)\right)}$$

Despejando r_5 se obtiene:

$$r_5 = \left[\frac{106}{\left(101.6 - \frac{6}{(1+0.1063\left(\frac{182}{360}\right))} - \frac{6}{(1+0.1098\left(\frac{364}{360}\right))} - \frac{6}{(1+0.1145\left(\frac{546}{360}\right))}\right)} - 1\right]\left[\frac{360}{728}\right]$$
$$= 0.1193$$

Es importante mencionar que se puede deducir la fórmula general para calcular las tasas cero mediante los bonos que pagan cupón:

$$r_n = \left[\left(\frac{I + F}{PM_{actual} - I\sum_{i=1}^{n-1} B(0,t_i)}\right) - 1\right]\left(\frac{360}{t_n}\right) \qquad \text{(II.47)}$$

Vencimiento (días)	Vencimiento (años)	Tasa cero (%)
0	0	10.14
91	0.25	10.14
182	0.50	10.63
364	1.00	10.98
546	1.50	11.45
728	2.00	11.93

Tabla II.6. Tasas cero determinadas en base a la tabla (II.5).

donde $B(0, t_i) = \frac{1}{1+r_i \frac{t_i}{360}}$, PM_{actual} es el precio de mercado del bono cupón fijo, F es el valor nominal, r_i es la tasa cero que corresponde en el tiempo t_i, r_n es la tasa cero que corresponde en el tiempo t_n cuando el bono paga cupones, t_i es el tiempo del pago del cupón i (expresado en días), t es el plazo para el pago de cupón a tasa fija en días[22], k es la tasa del cupón fijo, F es el valor nominal e I es el interés del cupón que se calcula de la siguiente manera:

$$I = Fk\left(\frac{t}{360}\right) \tag{II.48}$$

Las tasas cero que se han calculado se encuentran concentradas en la tabla (II.6).

Se grafica la tasa cero en función del vencimiento en años y así se construye la curva cero. Ver figura (II.6).

Es común suponer que la curva cero es lineal entre los puntos determinados por el Bootstrapping. Por ejemplo, si se desea conocer la tasa cupón cero a 0.75 años sacando el promedio entre las tasas cero al medio año y al año:

$$\frac{10.63 + 10.98}{2} = 10.81\,\%$$

También se asume que la curva cero es horizontal antes del primer punto y horizontal más allá del último punto. Esto se observa en la figura (II.6), la

[22]Por ejemplo si el pago del cupón a tasa fija es semestral $t = 182$ días.

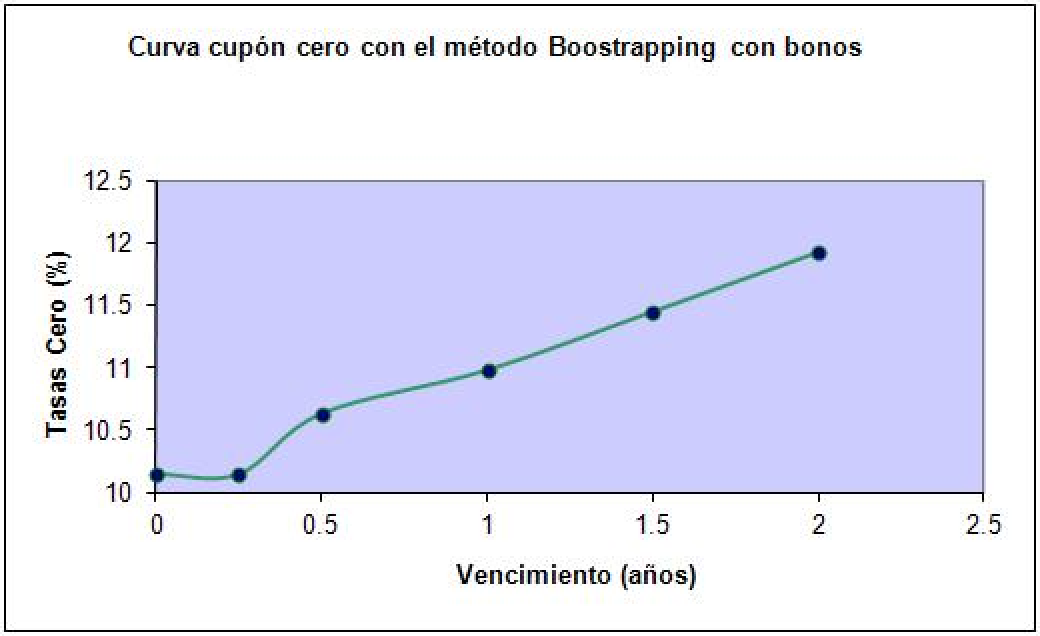


Figura II.6. Tasas cupón cero con el método Bootstrapping.

cual muestra la curva cero para los datos. Para bonos de vencimiento más largo, la curva cero puede ser más precisa si se determina después de los 2 años.

Debido a que en la practica no se encuentran regularmente bonos de vencimientos muy largos, los especialistas en finanzas aproximan interpolando entre los datos anteriores de los precios del bono que son usados para calcular la curva cero. Por ejemplo, si se conoce que a los 2.3 años un bono con cupón de 6% se vende a $98 y a los 2.7 años un bono con cupón de 6.5% se vende a $99, se asume que a los 2.5 años el bono con un cupón de 6.25% puede venderse a $98.5.

II.3.5. Los bonos en México

El principal emisor de los bonos en México es el gobierno federal, dichos bonos son colocados entre los inversionistas del mercado de deuda por el Banco de México.

Los principales bonos emitidos por el gobierno federal son:

- *Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal con tasa de interés fija (Bonos M).* Su valor nominal es de \$100, pagan intereses cada 182 días (6 meses) a una tasa que se fija al momento de la emisión y se pueden emitir a cualquier plazo siempre y cuando éste sea un múltiplo de 182 días.

- *Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal a 28 días (Bondes D o Bondes28).* Su valor nominal es de \$100 y se pueden emitir a cualquier plazo siempre que éste sea múltiplo de 28 días. Devengan intereses cada 28 días y la tasa de interés es variable.

- *Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal con pago trimestral de interés (Bondest).* Su valor nominal es de \$100 y son emitidos a cualquier plazo múltiplo de 91 días. Pagan intereses en periodos predeterminados y revisan su tasa de interés en cada uno de ellos, es decir, son valores que pagan interés variable.

- *Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal con pago semestral de interés y protección contra inflación (Bondes182).* Su valor nominal es \$100 y se puede emitir a cualquier plazo si es múltiplo de 182 días. Son valores que pagan tasas de interés variable.

- *Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal denominados en unidades de inversión (Udibonos).* Su valor nominal es de 100 UDIS y operan a descuento. Su principal característica es que están ligados al Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) con el fin de proteger al inversionista de las alzas inflacionarias. Su plazo es de 182 días y sus múltiplos. Los intereses se generan en UDIS y se pagan cada 182 días.

- *Bonos de Regulación Monetaria del Banco de México (BREMS).* Este bono es de reciente creación y es emitido por el Banco de México con el objeto de regular la liquidez en el mercado de dinero. Su valor nominal es de \$100 y paga intereses cada 28 días. La tasa de interés es variable y el plazo es, por lo general, de 3 años.

- *Bonos de Protección al Ahorro Bancario (BPAs).* Estos bonos los emite el Instituto de Protección al Ahorro Bancario (IPAB) y son colocados entre los inversionistas por el Banco de México. Tienen un valor nominal de \$100 pesos y pueden ser emitidos a cualquier plazo siempre y cuando sea un múltiplo de 28 días. El pago de los intereses es cada 28 días.

La emisión de los bonos se da a conocer al público inversionista en la Convocatoria a la Subasta de Valores Gubernamentales y en los anuncios de colocación que se publican en los principales diarios del país.

En este capítulo sólo se describe a mayor detalle los Bonos M y Bondes D debido a que ejemplifica un bono cupón tasa fija y un bono cupón tasa variable respectivamente.

Bonos M

Los *Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal con tasa de interés fija* (Bonos M) son la familia de valores gubernamentales que se encuentran a disposición del público inversionista. Los Bonos M son emitidos por el Gobierno Federal a través de la Secretaría de Hacienda y Crédito Público (SHCP) y el Banco de México como agente colocador. Estos instrumentos son emitidos y colocados a plazos mayores a un año, pagan intereses cada seis meses y la tasa de interés se determina en la emisión del instrumento y se mantiene fija a lo largo de toda la vida del mismo.

Características generales de los Bonos M

- Valor nominal: \$100 M.N.
- Plazo: Cualquier plazo múltiplo de 182 días.
- Período de interés: Cada 182 días o al plazo que sustituya a éste en caso de días inhábiles.
- En emisiones primarias se cuenta con bonos de 3, 5, 10, 20 y 30 años.
- Tasa de interés: Es determinada en la emisión de la serie por el

Gobierno Federal, esta tasa es fija y así permanece durante la vida del bono. Dicha tasa se difunde en la convocatoria en la subasta de valores gubernamentales y mediante las esquelas (anuncios) publicadas en los diarios financieros cada vez que se emite una serie.

- Pago de intereses: Los intereses se calculan considerando los días efectivamente transcurridos entre las fechas de pago de los mismos, se toma como base años de 360 días y se liquidan al finalizar cada uno de los períodos de interés.

- Colocación: Los títulos se colocan mediante subasta, en el cual los participantes presentan posturas por el monto que desean adquirir y el precio que están dispuestos a pagar. Cuando el Gobierno Federal ofrece en las subastas títulos emitidos con anterioridad a su fecha de colocación, las subastas se realizan a precio limpio, es decir, sin intereses devengados, lo que implica que al liquidar estos títulos se tiene que sumar al precio de asignación resultante en la subasta los intereses devengados del cupón vigente.

- Tipo de valor en S.D Indeval: M

- Existen bonos exentos y gravados: M y MI.

- El mercado los ha clasificado con denominaciones como M3 corto, largo, etc., dependiendo del plazo de la emisión y el momento en que se emitieron.

- Se negocian en grandes volúmenes en el mercado secundario, sobre todo los de mayor plazo.

- En el Mercado de Derivados (MexDer) ya se operan futuros de bonos.

- El precio limpio del bono se redondea a 5 decimales.

- Identificación de los títulos: La clave de los bonos consiste en ocho caracteres, en el primero se encuentra la letra “M” que identifica el título, el segundo el plazo en años de la emisión y el resto la fecha de vencimiento empezando por año, mes y día.

- Tasa de rendimiento: El inversionista presenta una postura de la tasa de rendimiento el día de la colocación.

La figura (II.7) muestra un anuncio de emisión de un Bono M, que cuenta con una clave $MO121220$ dicha clave significa una emisión cuyo vencimiento es el 20 de diciembre de 2012. Estos bonos fueron emitidos el 2 de enero de 2003 con un plazo de 3640 días (10 años).

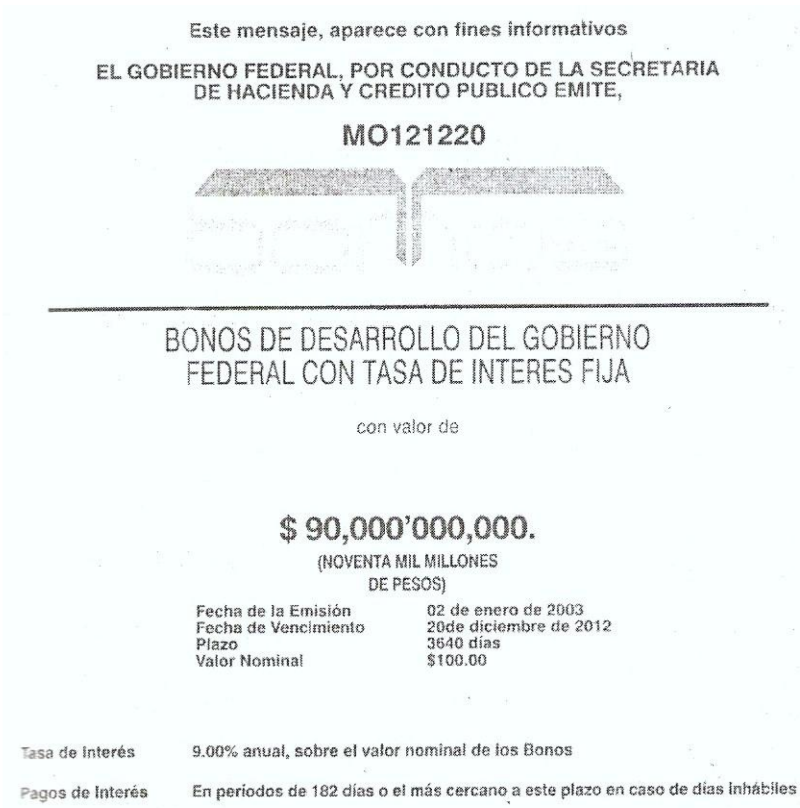


Figura II.7. Colocación de un bono.

Valuación de los Bonos M

En el mercado existen diferentes formas de cotizar los Bonos M y por consiguiente de valuarlos. En está sección se describen dos metodologías para calcular el precio limpio de los Bonos M, la primera se basa en la sección (II.3.3)[23] adecuada conforme a las características del Bono M; la segunda metodología se basa en el rendimiento a vencimiento del título como lo determina Banco de México.

1. Determinación del precio limpio del Bono M a través del precio del bono entre dos fechas de pago de cupón

Cuando el Bono M se compra entre fechas de pago de cupones, el interés del cupón inmediato a vencerse (conformado por la parte proporcional del cupón correspondiente a los intereses devengados e intereses por devengarse) pertenece una parte de él al vendedor (Gobierno Federal) y la otra al comprador (inversionista). Considerando lo anterior, se puede decir que el precio de mercado en la fecha de compra es el valor presente del bono en la fecha de compra, sin incluir los interés devengados del cupón próximo a vencerse. A este precio se le llama precio limpio del bono.

Adicional al cálculo del precio limpio, se determina el precio sucio o precio neto del bono[24], que es la suma del precio de mercado en la fecha de compra más la parte proporcional de los intereses devengados[25].

Para determinar el precio de mercado en la fecha de compra para el Bono M, se utiliza la siguiente metodología.

1. Se determinan los precios de mercado del bono en las fechas de pago de cupón inmediatamente antes (PM_{BonoM0}) y después (PM_{BonoM1}) de la fecha de compra del Bono M utilizando las fórmulas (II.26) y (II.27), por lo que se obtiene:

$$PM_{BonoM0} = I\left[\frac{1-(1+r_{bM}\frac{182}{360})^{-n}}{r_{bM}\frac{182}{360}}\right] + F\left(1+r_{bM}\frac{182}{360}\right)^{-n} \tag{II.49}$$

[23]Ver sólo el tema de *Cálculo del precio del bono cupón tasa fija entre fechas de pago de cupón*.

[24]Este precio es pagado por el comprador en caso de que se efectúe la asignación a su postura.

[25]La parte de los intereses devengados le corresponde al vendedor del título por lo que el comprador debe pagarle un precio neto que contenga dichos intereses.

$$PM_{BonoM1} = I\left[\frac{1-(1+r_{bM}\frac{182}{360})^{-(n-1)}}{r_{bM}\frac{182}{360}}\right] + F\left(1+r_{bM}\frac{182}{360}\right)^{-(n-1)} \tag{II.50}$$

donde PM_{BonoM0} es el precio de mercado del Bono M en la fecha de cupón que se encuentra inmediatamente antes de la fecha de compra, PM_{BonoM1} es el precio de mercado del Bono M en la fecha de cupón que se encuentra inmediatamente después de la fecha de compra, F es el valor nominal del título, k es la tasa de interés fija anual del cupón, r_{bM} es la tasa de rendimiento a vencimiento anual del Bono M expresada en decimales, n es el número de cupones por liquidar incluyendo el vigente e I es el cupón, el cual se puede obtener utilizando la fórmula (II.16):

$$I = Fk\left(\frac{182}{360}\right) \tag{II.51}$$

2. Se calcula la pendiente de la línea recta para obtener el aumento de precio por día, utilizando la fórmula (II.29):

$$\frac{\Delta PM_{BonoM}}{182} = \frac{PM_{BonoM1} - PM_{BonoM0}}{182} \text{ pesos/día} \tag{II.52}$$

donde ΔPM_{BonoM} es el incremento en el precio de mercado del Bono M, Δt es el incremento de tiempo, en este caso es 182 días, PM_{BonoM0} es el precio de mercado del Bono M en la fecha de cupón que se encuentra inmediatamente antes de la fecha de compra, PM_{BonoM1} es el precio de mercado del Bono M en la fecha de cupón que se encuentra inmediatamente después de la fecha de compra, Como el bono se vendió m días después de la fecha de emisión, se usa la fórmula (II.30) para obtener el incremento del precio de mercado para los m días transcurridos:

$$\left(\frac{\Delta PM_{BonoM}}{182} \text{ pesos/día}\right)(m \text{ días}) \tag{II.53}$$

donde m es número de días transcurridos del cupón vigente.

3. El precio de mercado del bono en la fecha de compra o precio limpio del Bono M, usando la fórmula (II.31) se calcula de la siguiente manera:

$$PM_{limpioBonoM} = PM_{BonoM0} + \left(\frac{\Delta PM_{BonoM}}{182} \text{ pesos/día}\right)(m \text{ días}) \tag{II.54}$$

donde $PM_{limpioBonoM}$ es el precio de mercado en la fecha de compra o precio limpio, PM_{BonoM0} es el precio de mercado del Bono M en la fecha de cupón que se encuentra inmediatamente antes de la fecha de compra, ΔPM_{BonoM} es el incremento en el precio del mercado del Bono M, Δt es el incremento de tiempo, en este caso es 182 días y m es el número de días transcurridos del cupón vigente.

4. El precio sucio o precio neto se calcula usando la fórmula (II.33):

$$PN_{BonoM} = PM_{limpioBonoM} + I_{dev} \tag{II.55}$$

donde PN_{BonoM} es el precio neto o precio sucio del bono M, $PM_{limpioBonoM}$ es el precio de mercado en la fecha de compra o precio limpio, I_{dev} es la parte proporcional del interés del cupón que está por vencerse y que pertenece al vendedor o también llamados intereses devengados y se calculan utilizando la fórmula (II.32):

$$I_{dev} = (100)(k)\left(\frac{m}{360}\right) \tag{II.56}$$

donde k es la tasa de interés fija anual y m es número de días transcurridos del cupón vigente.

2. Determinación del precio limpio del Bono M a través del rendimiento a vencimiento del título

El rendimiento a vencimiento de un bono se puede definir como el rendimiento que el inversionista obtendría si decidiera conservar el título hasta su fecha de vencimiento.

Se observa la figura (II.8) para deducir la fórmula del precio del bono a través del rendimiento a vencimiento del título. se calcula primero el precio del bono después de la fecha de compra, es decir después de m, donde m son los días transcurridos del cupón vigente, por lo que al traer a valor presente los cupones C y el valor nominal VN y utilizando la fórmula (II.15) se obtiene lo siguiente:

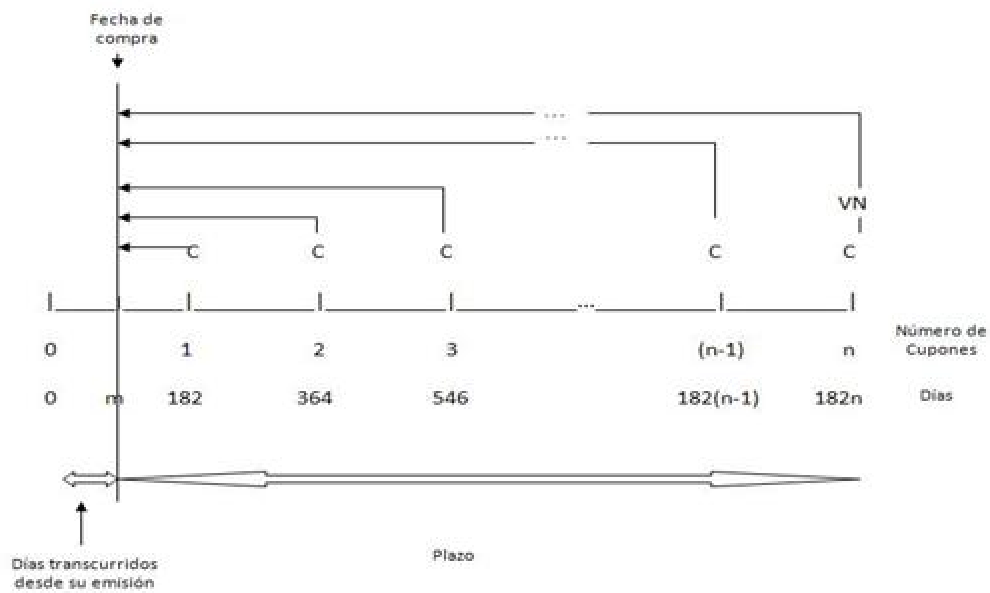


Figura II.8. Diagrama de tiempo.

$$C\left[\frac{1-(1+r_{bM}\frac{182}{360})^{-(n-1)}}{r_{bM}\frac{182}{360}}\right]+VN\left(1+r_{bM}\frac{182}{360}\right)^{-(n-1)} \qquad \text{(II.57)}$$

Ahora bien tomando como fecha focal la fecha inicial, se puede notar que el primer pago de interés C se hace efectivo en el tiempo 1, por lo tanto, se tiene que sumar a (II.57) el primer cupón:

$$C\left[\frac{1-(1+r_{bM}\frac{182}{360})^{-(n-1)}}{r_{bM}\frac{182}{360}}\right]+VN\left(1+r_{bM}\frac{182}{360}\right)^{-(n-1)}+C \qquad \text{(II.58)}$$

Para conocer el precio del bono en la fecha de compra (en m), se trae a valor presente la expresión (II.58) y se utiliza la fórmula (I.15)[26], por consiguiente:

$$\left[C\left[\frac{1-(1+r_{bM}\frac{182}{360})^{-(n-1)}}{r_{bM}\frac{182}{360}}\right]+VN\left(1+r_{bM}\frac{182}{360}\right)^{-(n-1)}+C\right]\left[(1+r_{bM}\frac{182}{360})^{-\frac{182-m}{182}}\right] \qquad \text{(II.59)}$$

Debido a que en la expresión (II.59) se trajo a valor presente todo el cupón C que es válido para los 182 días, se debe de restar a dicha expresión la parte proporcional del cupón C correspondiente a los m días transcurridos:

$$I_{dev}=(VN)(k)\left(\frac{m}{360}\right) \qquad \text{(II.60)}$$

donde VN es el valor nominal, k es la tasa de interés anual del cupón y m son los días transcurridos entre la fecha de emisión o último pago de intereses, según corresponda y la fecha de valuación.

Entonces el precio limpio del Bono M, considerando las fórmulas (II.59) y (II.60) es:

$$PM_{limpioBonoM}=\left[C\left[\frac{1-(1+r_{bM}\frac{182}{360})^{-(n-1)}}{r_{bM}\frac{182}{360}}\right]+VN\left(1+r_{bM}\frac{182}{360}\right)^{-(n-1)}+C\right]\left[(1+r_{bM}\frac{182}{360})^{-\frac{182-m}{182}}\right]-I_{dev} \qquad \text{(II.61)}$$

[26]Se considerando como $t=1$, $m=\frac{360}{182}$, $q=\frac{360}{1}$ por capitalización diaria, por lo que se obtiene $(1+r\frac{182}{360})^{\frac{360}{182}}=(1+\frac{r}{360})^{360}$. En la fórmula (II.59) se utiliza $t=182-m$.

$$PM_{limpioBonoM} = \frac{\left[C + C\left[\frac{1-(1+r_{bM}\frac{182}{360})^{-(n-1)}}{r_{bM}\frac{182}{360}}\right] + VN\left(1 + r_{bM}\frac{182}{360}\right)^{-(n-1)}\right]}{\left[(1 + r_{bM}\frac{182}{360})^{\frac{182-m}{182}}\right]} - I_{dev} \tag{II.62}$$

donde $PM_{limpioBonoM}$ es el precio limpio del Bono M y C es el cupón.

C se obtiene de la siguiente manera:

$$C = (VN)(k)\left(\frac{182}{360}\right) \tag{II.63}$$

donde k es la tasa de interés anual del cupón fija, r_{bM} es la tasa de rendimiento a vencimiento anual del Bono M expresada en decimales, n es el número de cupones por liquidar incluyendo el vigente, I_{dev} son los intereses devengados (de 0 a m) y se calculan con la fórmula (II.60), VN es el valor nominal y m son los días transcurridos del cupón vigente.

Una vez obtenido el precio limpio del bono se puede calcular el precio neto o precio sucio del bono, utilizando las fórmulas (II.62) y (II.60):

$$PN_{BonoM} = PM_{limpioBonoM} + I_{dev} \tag{II.64}$$

donde PN_{BonoM} es el precio neto o precio sucio del Bono M, $PM_{limpioBonoM}$ es el precio limpio del Bono M, I_{dev} son los intereses devengados y se calculan con la fórmula (II.60).

Ejemplo

El 27 de enero de 2000 el Gobierno Federal emite Bonos M con las siguientes características[27]:

[27] Información tomada de Banco de México (www.banxico.org.mx).

Valor nominal: 100 pesos.

Fecha de colocación: 27 de enero de 2000.

Fecha de vencimiento: 23 de enero de 2003.

Plazo del bono: 1092 días.

Tasa del cupón: 18%.

Plazo del cupón: 182 días.

El 15 de febrero de 2000 el Gobierno Federal decide subastar los Bonos M, la fecha de liquidación de los resultados de dicha subasta es el 17 de febrero de 2000 por lo que le faltan 1071 días para su vencimiento y los días transcurridos del primer cupón son de 21 días. El bono se subasta a precio limpio, es decir, sin incluir los intereses devengados por lo que los intereses devengados del primer cupón deben sumarse al precio de asignación para calcular la liquidación de los resultados. Se supone que el inversionista quiere participar en la subasta de los bonos presentando una postura que equivalga a un rendimiento anual de 19%.

Para resolver este ejemplo se utilizan las dos metodologías vistas anteriormente.

1. Determinación del precio limpio del bono a través del precio del bono entre dos fechas de pago de cupón:

Utilizando la fórmula (II.63), el interés del cupón es:

$$C = (100)(0.18)\left(\frac{182}{360}\right) = 9.1$$

Por lo tanto, utilizando las fórmulas (II.49), (II.50), (II.52) y (II.53):

$$PM_{BonoM0} = 9.1 \left[\frac{1-(1+0.19\left(\frac{182}{360}\right))^{-6}}{0.19\left(\frac{182}{360}\right)} \right] + 100\left(1+0.19\left(\frac{182}{360}\right)\right)^{-6}$$
$$= 97.77249$$

$$PM_{BonoM1} = 9.1 \left[\frac{1-(1+0.19\left(\frac{182}{360}\right))^{-5}}{0.19\left(\frac{182}{360}\right)} \right] + 100\left(1+0.19\left(\frac{182}{360}\right)\right)^{-5}$$
$$= 98.06408$$

$$\frac{\Delta PM_{BonoM}}{\Delta t} = \frac{98.06408 - 97.77249}{182} = \text{ 0.00160 pesos/día}$$

$$(0.00160 \text{ pesos/día})(21 \text{ días}) = 0.03364$$

Por lo tanto, el precio limpio del Bono M (o precio de mercado) en la fecha de compra (17 de febrero de 2000) , usando la fórmula (II.54) es:

$$PM_{limpioBonoM} = 97.77249 + 0.03364 = 97.80613$$

El precio de \$97.80613 significa la postura que el inversionista presente en su solicitud por cada título que este dispuesto a comprar. Suponiendo que se recibe asignación a dicha postura, el 17 de febrero el inversionista tendrá que pagar el precio de asignación por cada título, que es el precio sucio o precio neto del bono, utilizando las fórmulas (II.55) y (II.56):

$$97.80613 + I_{dev} = 97.80613 + (100)(0.18)\left(\frac{21}{360}\right) = 98.85616$$

2. Determinación del precio limpio del Bono M a través del rendimiento a vencimiento del título

Se utiliza la fórmula (II.63) para calcular los intereses del cupón:

$$C = (100)(0.18)\left(\frac{182}{360}\right) = 9.1$$

Por lo tanto, utilizando la fórmula (II.62) el precio limpio del bono es:

$$\begin{aligned} PM_{limpioBonoM} =& \frac{\left[9.1 + 9.1\left[\frac{1-(1+0.19\left(\frac{182}{360}\right))^{-5}}{0.19\left(\frac{182}{360}\right)}\right] + 100\left(1+0.19\left(\frac{182}{360}\right)\right)^{-5}\right]}{\left[\left(1+0.19\left(\frac{182}{360}\right)\right)^{\frac{161}{182}}\right]} \\ &-(100)(0.18)\left(\frac{21}{360}\right) \\ =&97.76269 \end{aligned}$$

El precio de \$97.76269 significa la postura que el inversionista presenta en su solicitud por cada título que esta dispuesto a comprar. Suponiendo que se recibe asignación a dicha postura, el 17 de febrero el inversionista tendrá que pagar el precio de asignación por cada título, que es el precio sucio o precio neto del Bono M, usando la expresión (II.64):

$$PN_{BonoM} = 97.76269 + I_{dev} = 97.76269 + (100)(0.18)\left(\frac{21}{360}\right) = 98.81269$$

Bondes D

Los *Bonos de Desarrollo del Gobierno Federal a 28 días* (Bondes D o Bondes28) son títulos de crédito a largo plazo denominados en moneda nacional, que consignan la obligación directa e incondicional del Gobierno Federal para pagar una determinada cantidad monetaria, así como el pago mensual de un interés. Son emitidos por el Gobierno Federal por conducto de SHCP y el Banco de México como agente colocador. Tienen como objetivo financiar proyectos de mediano y largo plazo del Gobierno Federal, así como regular flujos monetarios, promover el ahorro interno y proporcionar a las Sociedades de Inversión Especializadas en Fondos para el Retiro (SIEFORES), instrumentos de inversión que les permiten proteger el poder adquisitivo del ahorro de los trabajadores y enriquecer la gama de instrumentos a disposición de los inversionistas.

Características generales de los Bondes D

- Valor nominal: $100 M.N.
- Plazo: Cualquier plazo múltiplo de 28 días. Desde 1 a 5 años.
- Período de interés: Cada 28 días o al plazo que sustituya a éste en caso de días inhábiles.
- Tasa de referencia: Se revisa diariamente en base a la Tasa Ponderada de Reporto a un día de papel bancario, publicada por Banxico, misma que se capitaliza diariamente para el pago de intereses del cupón.
- Rendimiento: A descuento, con un rendimiento pagable cada 28 días en función de la tasa de referencia, por ejemplo CETES o TIIE, que resulte más alta.
- Pago de intereses: Los intereses se calculan considerando los días efectivamente transcurridos entre las fechas de pago de los mismos, se toman como base años de 360 días y se liquidan al finalizar cada uno de los períodos de interés.
- Garantía: Gobierno Federal.
- Colocación: Los títulos se colocan mediante subasta, en el cual los participantes presentan posturas por el monto que desea adquirir y el precio que están dispuestos a pagar. Cuando el Gobierno Federal ofrece en las subastas títulos emitidos con anterioridad a su fecha de colocación, las subastas se realizan a precio limpio, es decir, sin intereses devengados, lo que implica que al liquidar estos títulos se tiene que sumar al precio de asignación resultante en la subasta los

intereses devengados del cupón vigente.

- Periodos de colocación: Varían de acuerdo al calendario de colocación trimestral de la SHCP quien coloca a través de Banxico.

- Los Bondes D tienen como ventajas para el inversionista:

    1. En colocación primaria: Ofrecer un rendimiento superior al CETE a 28 días cuando ofrece la sobretasa.

    2. Mercado secundario: Renovación mensual de acuerdo con la tasa más alta de los CETES.

- Adquirientes: Personas físicas y morales, nacionales o extranjeros.

- Precisión en decimales para realización de los cálculos: Todos los cálculos se deben realizar con seis o más decimales de precisión, a menos que se especifique lo contrario.

- Identificación de los títulos: Se compone de 8 caracteres, los dos primeros son para identificar el título ("LD"), los 6 restantes indican su fecha de vencimiento empezando por año, mes y día.

- Forma de liquidación: Mismo día, 24, 48, 72 o 96 horas.

La figura (II.9) muestra un anuncio de colocación de Bondes D, que cuenta con las claves $LD091210$ y $LD111208$, dichas claves significan: una emisión cuyo vencimiento es el 10 de diciembre de 2009 y la otra 08 de diciembre de 2011 respectivamente. Estos Bondes D fueron emitidos el 14 de diciembre de 2006 con un plazo de 1092 días (3 años) para el primero y 1820 días (5 años) para el segundo.

Valuación de Bondes D

En el mercado existen diferentes formas de cotizar los Bondes D y por consiguiente de valuarlos. En está sección se describen dos metodologías para calcular el precio limpio de los Bondes D, la primera basada en el rendimiento a vencimiento del título como lo determina Banco de México;

Figura II.9. Colocación de Bondes D.

la segunda metodología se basara en la sección (II.3.3)[28] adecuada conforme a las características del Bonde D.

1. Determinación del precio limpio de los Bondes D a través del rendimiento a vencimiento del título

El rendimiento a vencimiento de un bono se puede definir como el rendimiento que el inversionista obtendría si decidiera conservar el título hasta su fecha de vencimiento

[28]Ver sólo el tema de *Cálculo del precio del bono cupón tasa fija entre fechas de pago de cupón.*

Para llegar a la fórmula del precio de los Bondes D se realizaran varios supuestos. Adicionalmente, se recurre al concepto de *sobretasa* que actualmente se emplea para la concertación y valuación de otros títulos con tasa variable o flotante.

Se supone que los cupones C_i, las tasas r_i[29] y las sobretasas s_i asociadas al cupón i son constantes para $i = 1, 2, ..., n$. Entonces el diagrama a utilizar es como se muestra en la figura (II.10), el cual es de gran utilidad para deducir la fórmula de los Bondes D.

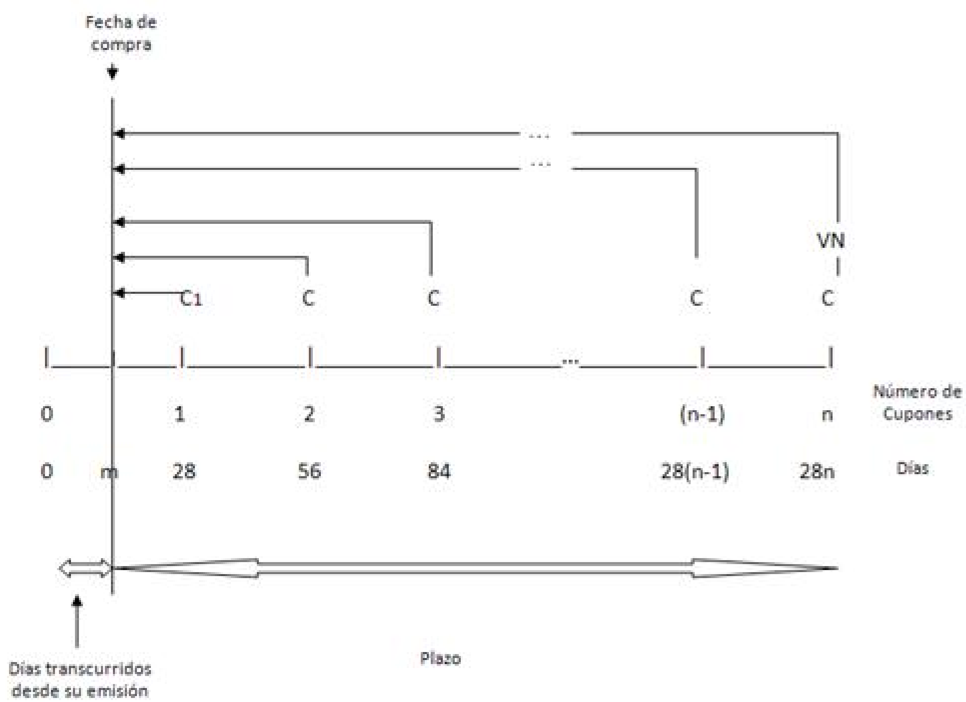


Figura II.10. Diagrama de tiempo para obtener la fórmula del precio limpio del Bonde D.

[29]Donde r_i es la tasa de interés anual a la cual las instituciones de crédito y casas de bolsa realizan operaciones de compraventa y reporto a plazo de un día hábil con títulos bancarios conocida en el mercado como *Tasa Ponderada de Fondeo Bancario* calculada y dada a conocer el día i por el Banco de México.

a) Obtención del precio limpio.

Observando la figura (II.10), se nota que en el periodo de 0 a m, donde m son los días que han transcurrido desde el día de la emisión del bono, se conocen las tasas r_1, r_2 hasta r_m, por lo que r_i es fija después de m hasta el periodo $28n$, esta tasa es la Tasa Ponderada de Fondeo Bancario publicada el día hábil anterior a la fecha de valuación (r_{bD}) y dada la sobretasa s, se obtiene la tasa de interés efectiva R para el periodo de 28 días que se utilizara para descontar los flujos de efectivo:

$$R = \left(1 + \frac{r_{bD} + s}{360}\right)^{28} - 1 \tag{II.65}$$

donde R es la tasa efectiva para el periodo de 28 días, r_{bD} es la Tasa Ponderada de Fondeo Bancario publicada el día hábil anterior a la fecha de valuación y s es la sobretasa.

Se calcula primero el precio del bono después de la fecha de compra, es decir después de m, donde m son los días transcurridos del cupón vigente, por lo que al traer a valor presente los cupones C y el valor nominal VN y utilizando la fórmula (II.15) se obtiene lo siguiente:

$$C\left[\frac{1-(1+R)^{-(n-1)}}{R}\right] + VN\,(1+R)^{-(n-1)} \tag{II.66}$$

Tomando como fecha focal la fecha inicial, se nota que el primer pago de interés C_1 se hace efectivo en el tiempo 1, porque se tiene que sumar (II.66) y el primer cupón C_1:

$$C\left[\frac{1-(1+R)^{-(n-1)}}{R}\right] + VN\,(1+R)^{-(n-1)} + C_1 \tag{II.67}$$

Para saber el precio del Bonde D en la fecha de compra (en m), se trae a valor presente la expresión (II.67):

$$\left[C_1 + C\left[\frac{1-(1+R)^{-(n-1)}}{R}\right] + VN\,(1+R)^{-(n-1)}\right]\left[(1+R)^{-\frac{28-m}{28}}\right] \tag{II.68}$$

Como en la expresión (II.68) se trae a valor presente todo el cupón C_1 que es válido para los 28 días, se debe restar a dicha expresión la parte proporcional del cupón C_1 correspondiente a los m días transcurridos:

$$I_{dev1} = (VN)(k_{dev})\left(\frac{m}{360}\right) \tag{II.69}$$

donde I_{dev1} son los intereses devengados durante el periodo 1, VN es el valor nominal, k_{dev} es la tasa de interés anual devengada[30], m son los días transcurridos entre la fecha de emisión o último pago de intereses, según corresponda y la fecha de valuación.

Entonces el precio limpio del Bonde D, considerando las expresiones (II.68) y (II.69) es:

$$PM_{limpioBondeD} = \frac{\left[C_1 + C\left[\frac{1-(1+R)^{-(n-1)}}{R}\right] + VN\,(1+R)^{-(n-1)}\right]}{\left[(1+R\left(\frac{1}{360}\right))^{\frac{28-m}{28}}\right]} - I_{dev1} \tag{II.70}$$

donde $PM_{limpioBondeD}$ es el precio del Bonde D (redondeado a 5 decimales), VN es el valor nominal del Bonde D, n es el número de cupones por liquidar, incluyendo el vigente, R es la tasa efectiva para el periodo de 28 días y se calcula con la fórmula (II.65), C_1 es el interés del cupón esperado actual, C es el monto esperado para los pagos de intereses de 2, 3,..., n y s es la sobretasa.

A continuación se describe cómo calcular el interés del cupón actual esperado C_1 y el cupón esperado C para los pagos de intereses de 2, 3, . . . , n.

[30] Más adelante se verá cómo se calcula esta variable.

- Cálculo del interés del cupón esperado actual C_1:

C_1 es el interés del cupón esperado actual y se calcula de la siguiente manera:

$$C_1 = (VN)(k_1)\left(\frac{28}{360}\right) \tag{II.71}$$

donde C_1 es el interés del cupón esperado actual, VN es el valor nominal y k_1 es la tasa anual esperada para el siguiente pago de intereses expresada en decimales.

A continuación se deduce el cálculo para k_1:

Se observa la figura (II.11) para obtener la fórmula general para calcular k_1.

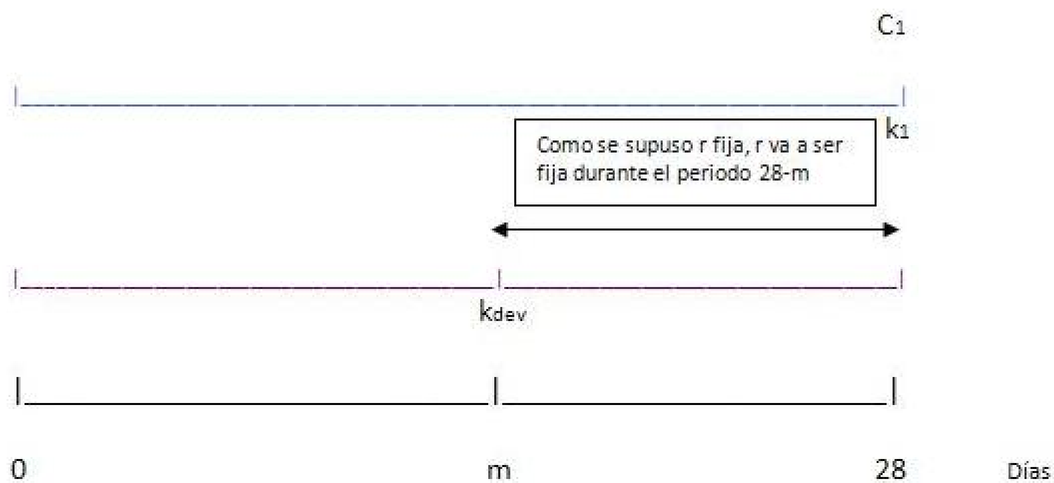


Figura II.11. Diagrama de tiempo para obtener la tasa de interés anual esperada para el siguiente pago de intereses k_1.

- Obtención de la tasa de interés anual devengada k_{dev}.

Se nota que primero se debe calcular la tasa k_{dev}, que es la tasa de interés anual devengada, también se recuerda que se conocen las tasas de r_1 hasta r_m. Por lo que el diagrama para la tasa de interés devengada k_{dev} es como se muestra en la figura (II.12).

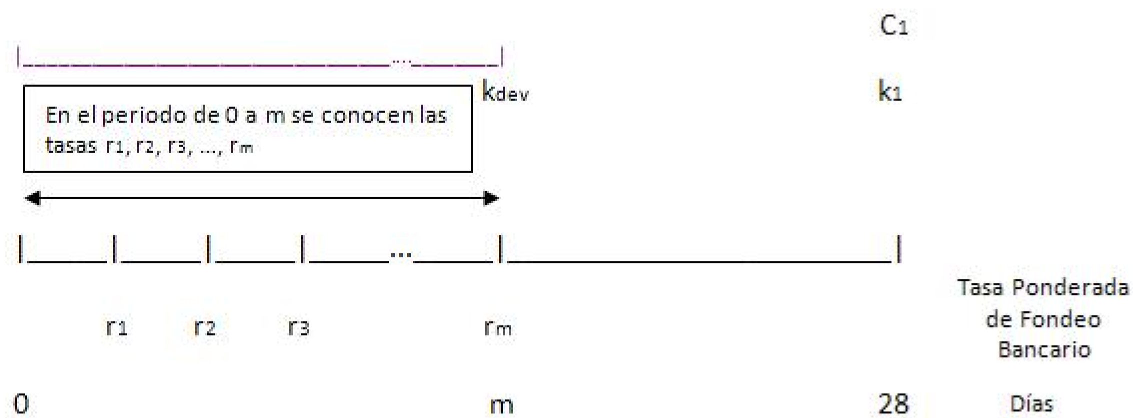


Figura II.12. Diagrama de tiempo para obtener la tasa de interés anual devengada k_{dev}.

Se utiliza el argumento de no arbitraje.

Un inversionista tiene dos alternativas de inversión:

- Invertir un capital P con la tasa cero r_1; y al vencerse reinvertirlo con la tasa cero r_2; y así sucesivamente hasta vencerse y reinvertirlo con la tasa cero r_m.

- Que invertir un capital P con una tasa k_{dev} para el plazo de 0 a m.

Por lo que el inversionista es indiferente entre las dos alternativas si ambas producen el mismo rendimiento o si rinde la misma cantidad de dinero por cada peso invertido sobre m días de inversión.

Entonces se determina la siguiente igualdad:

$$P\left(1+r_1\frac{1}{360}\right)\left(1+r_2\frac{1}{360}\right)\cdots\left(1+r_m\frac{1}{360}\right)=P\left(1+k_{dev}\frac{m}{360}\right) \tag{II.72}$$

Se despeja k_{dev} de la ecuación (II.72):

$$k_{dev}=\left[\prod_{i=1}^{m}\left(1+\frac{r_i}{360}\right)-1\right]\left[\frac{360}{m}\right] \tag{II.73}$$

donde k_{dev} es la tasa de interés anual devengada, m son los días transcurridos del cupón vigente, r_i es la Tasa Ponderada de Fondeo Bancario del día i publicada el día hábil anterior a la fecha de valuación, expresada en decimales.

- Obtención de la tasa de interés anual esperada para el siguiente pago de intereses k_1.

Ahora se puede obtener el valor de k_1, para esto se recurre a la figura (II.11) y se supone que r es fija para el periodo $28-m$.

Se utiliza el argumento de no arbitraje.

Un inversionista tiene dos alternativas de inversión:

  - Invertir un capital P con la tasa k_{dev} para el periodo de 0 a m días, y al vencerse reinvertirlo a una tasa r_{bD} durante el periodo de m a 28 días (28-m).

  - Que invertir un capital P con una tasa k_1 para el plazo de 0 a 28.

Por lo anterior, el inversionista es indiferente entre las dos alternativas, debido a que ambas producen el mismo rendimiento sobre 28 días de inversión.

Entonces se determina la siguiente igualdad:

$$P\left(1+k_{dev}\frac{m}{360}\right)\left(1+r_{bD}\frac{1}{360}\right)^{28-m}=P\left(1+k1\frac{28}{360}\right) \tag{II.74}$$

Se despeja k_1 de la ecuación (II.74):

$$k_1=\left[\left(1+k_{dev}\frac{m}{360}\right)\left(1+r_{bD}\frac{1}{360}\right)^{28-m}-1\right]\frac{360}{28} \tag{II.75}$$

donde k_1 es la tasa anual esperada para el siguiente pago de intereses expresada en decimales, k_{dev} es la tasa de interés anual devengada expresada en decimales calculada mediante la fórmula (II.73), r_{bD} es la Tasa Ponderada de Fondeo Bancario publicada el día hábil anterior a la fecha de valuación, expresada en decimales y m son los días transcurridos del cupón.

- Cálculo del interés del cupón C:

Ahora se calcula el interés del cupón C esperado para 2, 3, ..., n.

$$C=(VN)(k)\left(\frac{28}{360}\right) \tag{II.76}$$

donde C es el interés del cupón esperado para 2, 3, ..., n; VN es el valor nominal, k es la tasa anual esperada para los pagos de intereses 2, 3, ..., n y se calcula de la siguiente manera:

$$k=\left[\left(1+r_{bD}\frac{1}{360}\right)^{28}-1\right]\frac{360}{28} \tag{II.77}$$

b) Obtención del precio sucio.

Una vez obtenido el precio limpio del Bonde D se puede calcular el precio neto o precio sucio del Bonde D, utilizando las fórmulas (II.69) y (II.70):

$$PN_{BondeD} = PM_{limpioBondeD} + I_{dev1} \tag{II.78}$$

donde PN_{BondeD} es el precio neto o precio sucio del Bonde D, $PM_{limpioBondeD}$ es el precio limpio del Bonde D (redondeado a 5 decimales), I_{dev1} son los intereses devengados durante el periodo 1 y se calculan mediante la fórmula (II.69).

2. Determinación del precio limpio del Bonde D a través del precio del bono entre dos fechas de pago de cupón

Para utilizar está metodología también se realizaran varios supuestos así como el concepto de la sobretasa. Se supone que los cupones I_i, las tasas r_i[31] y las sobretasas s_i asociadas al cupón i son constantes para $i = 1, 2, ..., n$.

Cuando el Bonde D se compra entre fechas de pago de cupones, el interés del cupón inmediato a vencerse (conformado por la parte proporcional del cupón correspondiente a los intereses devengados e intereses por devengarse) pertenece una parte de él al vendedor (Gobierno Federal) y la otra al comprador (inversionista). Considerando lo anterior, se puede decir que el precio de mercado en la fecha de compra es el valor presente del bono en la fecha de compra, sin incluir los interés devengados del cupón próximo a vencerse. A este precio se le llama precio limpio del bono.

Adicional al cálculo del precio limpio, se determina el precio sucio o precio neto del bono[32], que será la suma del precio de mercado en la fecha de

[31]Donde r_i es la tasa de interés anual en la cual las instituciones de crédito y casas de bolsa realizan operaciones de compraventa y reporto a plazo de un día hábil con títulos bancarios conocida en el mercado como *Tasa Ponderada de Fondeo Bancario* calculada y dada a conocer el día i por el Banco de México.

[32]Este precio es pagado por el comprador en caso de que se efectúe la asignación a su postura.

compra más la parte proporcional de los intereses devengados[33].

Para determinar el precio de mercado en la fecha de compra para el Bonde D, se utiliza la siguiente metodología.

1. Debido a que se supone r_i como fija se obtiene la tasa de interés efectiva R que se utilizara para descontar los flujos de efectivo para el periodo de 28 días.

$$R = \left(1 + \frac{r_{bD} + s}{360}\right)^{28} - 1 \tag{II.79}$$

   donde R es la tasa efectiva para el periodo de 28 días, r_{bD} es la Tasa Ponderada de Fondeo Bancario publicada el día hábil anterior a la fecha de valuación y s es la sobre tasa.

2. Se determinan los precios de mercado de Bonde D en las fechas de pago de cupón inmediatamente antes ($PM_{BondeD0}$) y después ($PM_{BondeD1}$) de la fecha de compra utilizando las fórmulas (II.26) y (II.27), por lo que se obtiene:

$$PM_{BondeD0} = I\left[\frac{1-(1+R)^{-n}}{R}\right] + F\,(1+R)^{-n} \tag{II.80}$$

$$PM_{BondeD1} = I\left[\frac{1-(1+R)^{-(n-1)}}{R}\right] + F\,(1+R)^{-(n-1)} \tag{II.81}$$

   donde $PM_{BondeD0}$ es el precio de mercado del Bonde D en la fecha de cupón que se encuentra inmediatamente antes de la fecha de compra, $PM_{BondeD1}$ es el precio de mercado del Bonde D en la fecha de cupón que se encuentra inmediatamente después de la fecha de compra, F es el valor nominal del título, R es la tasa efectiva para el periodo de 28 días y se calcula con la fórmula (II.79), n es el número de

[33] La parte de los intereses devengados le corresponde al vendedor del título por lo que el comprador debe pagarle un precio neto que contenga dichos intereses.

cupones por liquidar incluyendo el vigente y I es el cupón, utilizando la fórmula (II.16) se obtiene:

$$I = Fk\left(\frac{28}{360}\right) \tag{II.82}$$

donde k es la tasa de interés anual del cupón y se obtiene de la siguiente manera:

$$k = \left[\left(1 + r_{bD}\frac{1}{360}\right)^{28} - 1\right]\frac{360}{28} \tag{II.83}$$

donde r_{bD} es la Tasa Ponderada de Fondeo Bancario publicada el día hábil anterior a la fecha de valuación, expresada en decimales.

3. Se calcula la pendiente de la línea recta para obtener el aumento de precio por día, utilizando la fórmula (II.29):

$$\frac{\Delta PM_{BondeD}}{28} = \frac{PM_{BondeD1} - PM_{BondeD0}}{28} \text{ pesos/día} \tag{II.84}$$

donde ΔPM_{BondeD} es el incremento en el precio de mercado del Bonde D y Δt es el incremento de tiempo, en este caso es 28 días.

Como el Bonde D se vendió m días después de la fecha de emisión, se usa la fórmula (II.30) para obtener el incremento de precio de mercado para los m días transcurridos:

$$\left(\frac{\Delta PM_{BondeD}}{28} \text{ pesos/día}\right)(m \text{ días}) \tag{II.85}$$

donde m es el número de días transcurridos del cupón vigente.

4. El precio de mercado del Bonde D en la fecha de compra o precio limpio del Bonde D, usando la fórmula (II.31) se calcula de la siguiente

manera:

$$PM_{limpioBondeD} = PM_{BondeD0} + \left(\frac{\Delta PM_{BondeD}}{28} \text{ pesos/día} \right) (m \text{ días}) \tag{II.86}$$

donde $PM_{limpioBondeD}$ es el precio de mercado en la fecha de compra o precio limpio del Bonde D, $PM_{BondeD0}$ es el precio de mercado del Bonde D en la fecha de cupón que se encuentra inmediatamente antes de la fecha de compra, ΔPM_{BondeD} es el incremento en el precio del mercado, Δt es el incremento de tiempo, en este caso es 28 días y m es número de días transcurridos del cupón vigente.

5. El precio sucio o precio neto del Bonde D se calcula usando la fórmula (II.33):

$$PN_{BondeD} = PM_{limpioBondeD} + I_{dev} \tag{II.87}$$

donde PN_{BondeD} es el precio neto o precio sucio del Bonde D, I_{dev} es la parte proporcional del interés del cupón que está por vencerse y que pertenecen al vendedor o intereses devengados y se calculan utilizando la fórmula (II.32):

$$I_{dev} = (VN)(k) \left(\frac{m}{360} \right) \tag{II.88}$$

donde VN es el valor nominal, k es la tasa de interés anual del cupón que se obtiene utilizando la fórmula (II.83) y m el es número de días transcurridos del cupón vigente.

Ejemplo

El 27 de julio de 2006 el Gobierno Federal emite Bondes D con las siguientes características[34]:

[34] Información tomada de Banco de México (www.banxico.org.mx).

Fecha	Día	Tasa Ponderada de Fondeo Bancario publicada por Banxico
	i	$r_i\,\%$
Jue 27 de julio de 2006	1	7.03
Vie 28 de julio de 2006	2	7.02
Sáb 29 de julio de 2006	3	7.02
Dom 30 de julio de 2006	4	7.02
Lun 31 de julio de 2006	5	7.04
Mar 1 de agosto de 2006	6	7.06

Tabla II.7. Tasa Ponderada de Fondeo Bancario publicada por Banco de México del 27 de julio al 1 de agosto de 2006.

Valor nominal: 100 pesos.

Fecha emisión: 27 de julio de 2006.

Fecha de vencimiento: 26 de julio de 2007.

Plazo: 364 días.

Plazo del cupón: 28 días.

El 1° de agosto de 2006 el Gobierno Federal decide subastar Bondes D emitidos el 27 de julio de 2006. La fecha de liquidación es el 2 de agosto de 2006. En esa fecha, a los títulos les falta 358 días para su vencimiento, el plazo del primer cupón es de 28 días y los días transcurridos del primer cupón son 6.

Se supone que un inversionista tiene asignación en la subasta de estos títulos, la postura es a precio limpio (sin incluir los intereses devengados) de $99.87824 con monto solicitado de $400,000,000.00.

Para calcular la liquidación, se debe sumar al precio limpio los intereses devengados del primer cupón.

Se supone que los valores de la Tasa Ponderada de Fondeo Bancario publicada por Banxico son como se muestran en la tabla (II.7).

Utilizando la fórmula (II.78) se obtiene lo que paga el inversionista el 2 de agosto:

$$PN_{BondeD} = 99.878240 + I_{dev1}$$

Para obtener los intereses devengados I_{dev1}, primero se obtiene k_{dev} utilizando los datos de la tabla (II.7) y la fórmula (II.73):

$$\begin{aligned} k_{dev} =& \left[\left(1 + \frac{0.0703}{360}\right) \left(1 + \frac{0.0702}{360}\right)^3 \left(1 + \frac{0.0704}{360}\right) \left(1 + \frac{0.0706}{360}\right) - 1 \right] \left[\frac{360}{6}\right] \\ =& 0.0704 \end{aligned} \tag{II.89}$$

Usando la expresión (II.69), se obtienen los intereses devengados:

$$I_{dev1} = (100)(0.0704)\left(\frac{6}{360}\right) = 0.117333 \tag{II.90}$$

Por lo tanto, el inversionista tiene que pagar por cada título:

$$PN_{BondeD} = 99.878240 + 0.117333 = \$99.995573$$

El número de bonos asignados al inversionista es:

$$\frac{\$400,000,000.00}{\$99.995573} = 4,000,177 \text{ títulos}$$

Debido a que se trunco en número de títulos, el importe real a liquidar por dichos títulos es:

$$(4000177)(99.995573) = 400000000$$

Ahora se supone que el 2 agosto de 2006 un inversionista quiere conocer el precio asociado a un Bonde D con las características descritas anteriormente, con una sobretasa de 0.10% y las Tasas Ponderadas de Fondeo Bancario observadas en el periodo del 27 de julio al 1 de agosto son como se muestran en la tabla (II.7).

Para resolver este problema se utilizaran las dos metodologías que se describieron anteriormente.

1. Determinación del precio limpio de los Bondes D a través del rendimiento a vencimiento del título:

Se calcula el monto del pago de intereses actual C_1, para esto se necesita calcular primero la tasa anual esperada para el siguiente pago de intereses k_1 usando la fórmula (II.75), anteriormente ya se obtuvo k_{dev} en (II.89) y observando la tabla (II.7) se concluye que $r_{bD} = 0.0706$, por lo tanto:

$$k_1 = \left[\left(1 + 0.0704\left(\frac{6}{360}\right)\right)\left(1 + 0.0706\left(\frac{1}{360}\right)\right)^{28-6} - 1\right]\frac{360}{28} = 0.0707$$

Entonces, usando la fórmula (II.71):

$$C_1 = (100)(0.0707)\left(\frac{28}{360}\right) = 0.549889$$

Ahora se calcula el monto esperado del pago de los siguientes intereses C, para obtener el valor de C se calcula primero la tasa anual esperada k usando la fórmula (II.77) y observando la tabla (II.7) se concluye que $r_{bD} = 0.0706$, por lo tanto:

$$k = \left[\left(1 + 0.0706\left(\frac{1}{360}\right)\right)^{28} - 1\right]\frac{360}{28} = 0.0708$$

Entonces, utilizando la fórmula (II.76):

$$C = (100)(0.0708)\left(\frac{28}{360}\right) = 0.550667$$

Ahora usando la fórmula (II.65) se obtiene la tasa de interés efectiva R para descontar lo flujos de efectivo durante el periodo de 28 días, y $s = 0.001$:

$$R = \left(1 + \frac{0.0706 + 0.001}{360}\right)^{28} - 1 = 0.0056$$

Sustituyendo los valores de C_1, C, R y I_{dev1}[35] en (II.70):

$$\begin{aligned} PM_{limpioBondeD} = &\Bigg[0.549889 + 0.550667\left[\frac{1-(1+0.0056)^{-(13-1)}}{0.0056}\right] \\ &+100\,(1+0.0056)^{-(13-1)}\Bigg]\left[\left(1+0.0056\left(\frac{1}{360}\right)\right)^{-\frac{28-6}{28}}\right] \\ &-0.117333 \\ =&99.884780 \end{aligned}$$

Por lo tanto el precio limpio del Bonde D es \$99.884780.

El precio neto o precio sucio del Bonde D, utilizando la fórmula (II.78) es:

$$PN_{BondeD} = 99.884780 + 0.117333 = 100.002113$$

2. Determinación del precio limpio del Bonde D a través del precio del bono entre dos fechas de pago de cupón:

Primero se calcula la tasa de interés efectiva usando la fórmula (II.79) con $r_{bD} = 0.0706$ de la tabla (II.7) y $s = 0.001$, que se utiliza para descontar los flujos de efectivo:

[35] Los intereses devengados durante el periodo 1 se obtienen en (II.90).

$$R = \left(1 + \frac{0.0706 + 0.001}{360}\right)^{28} - 1 = 0.0056$$

Usando la fórmula (II.83) y los datos de la tabla (II.7) con $r_{bD} = 0.0706$, se obtiene la tasa de interés anual del cupón para la obtención del interés del cupón:

$$k = \left[\left(1 + 0.0706\left(\frac{1}{360}\right)\right)^{28} - 1\right]\frac{360}{28} = 0.0708$$

Entonces, el interés del cupón, usando la fórmula (II.82), es:

$$I = (100)(0.0708)\left(\frac{28}{360}\right) = 0.550667$$

Por lo tanto, se utilizan las fórmulas (II.80), (II.81), (II.84) y (II.85):

$$\begin{aligned} PM_{BondeD0} =& 0.550667\left[\frac{1-(1+0.0056)^{-13}}{0.0056}\right] + 100\,(1+0.0056)^{-13} \\ =& 99.883293 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} PM_{BondeD1} =& 0.550667\left[\frac{1-(1+0.0056)^{-(13-1)}}{0.0056}\right] + 100\,(1+0.0056)^{-(13-1)} \\ =& 99.891972 \end{aligned}$$

$$\frac{\Delta PM_{BondeD}}{28} = \frac{99.891972 - 99.883299}{28} = 0.000310 \text{ pesos/día}$$

$$(0.000310 \text{ pesos/día})(6 \text{ días}) = 0.001859$$

Por lo tanto, el precio limpio o de mercado del Bonde D, usando la fórmula (II.86), es

$$PM_{limpioBondeD} = 99.883293 + 0.001859 = 99.885152$$

Se supone que el inversionista recibe asignación a dicha postura, el 2 de agosto tiene que pagar el precio de asignación por cada título y se calcula usando las fórmulas (II.87) y (II.88):

$$PN_{BondeD} = 99.885152 + (100)(0.0708)\left(\frac{6}{360}\right) = 99.885152$$

Se supone que las tasas observadas (TPFB) en el periodo del 27 de julio al 23 de agosto de 2006 son como se muestran en la tabla (II.8). Se calcula el primer cupón para saber cuánto recibiría de intereses.

Se utiliza la fórmula (II.75), junto con los datos de la tabla (II.8) donde las r_i son tomadas de la tercera columna de la tabla, para obtener la tasa de interés del primer cupón:

$$\begin{aligned} k_1 = &\left[\left(1+\frac{0.0703}{360}\right)\left(1+\frac{0.0702}{360}\right)\cdots\left(1+\frac{0.0701}{360}\right)\left(1+\frac{0.0701}{360}\right)-1\right]\left[\frac{360}{28}\right] \\ =&0.0703 \end{aligned}$$

Por lo tanto, se obtiene el pago del primer cupón usando la fórmula (II.71):

$$C_1 = (100)(0.0703)\left(\frac{28}{360}\right) = 0.546778$$

Entonces, si el inversionista cuenta con 4,000,000 de títulos recibe de intereses en el primer cupón:

$$(4000000)(\$0.546778) = \$2,187,112.00$$

Fecha	Día i	Tasa Ponderada de Fondeo Bancario publicada por Banxico r_i%
Jue 27 de julio de 2006	1	7.03
Vie 28 de julio de 2006	2	7.02
Sáb 29 de julio de 2006	3	7.02
Dom 30 de julio de 2006	4	7.02
Lun 31 de julio de 2006	5	7.04
Mar 1 de agosto de 2006	6	7.06
Mié 2 de agosto de 2006	7	7.01
Jue 3 de agosto de 2006	8	7.01
Vie 4 de agosto de 2006	9	7.02
Sáb 5 de agosto de 2006	10	7.02
Dom 6 de agosto de 2006	11	7.02
Lun 7 de agosto de 2006	12	7.01
Mar 8 de agosto de 2006	13	7.01
Mié 9 de agosto de 2006	14	7.01
Jue 10 de agosto de 2006	15	7.02
Vie 11 de agosto de 2006	16	7.01
Sáb 12 de agosto de 2006	17	7.01
Dom 13 de agosto de 2006	18	7.01
Lun 14 de agosto de 2006	19	7.02
Mar 15 de agosto de 2006	20	7.01
Mié 16 de agosto de 2006	21	7.01
Jue 17 de agosto de 2006	22	7.01
Vie 18 de agosto de 2006	23	7.01
Sáb 19 de agosto de 2006	24	7.01
Dom 20 de agosto de 2006	25	7.01
Lun 21 de agosto de 2006	26	7.01
Mar 22 de agosto de 2006	27	7.01
Mié 23 de agosto de 2006	28	7.01

Tabla II.8. Tasa Ponderada de Fondeo Bancario publicada por Banco de México del 27 julio al 23 de agosto de 2006.

Capítulo III

Instrumentos del Mercado de Derivados Mexicano: swaps y opciones sobre tasas de interés

III.1. Antecedentes del Mercado Mexicano de Derivados

En 1978 se empezaron a cotizar contratos a futuro sobre tasas de cambio peso/dólar, los que se suspendieron a raíz del control de cambios decretado en 1982. La Bolsa Mexicana de Valores (BMV) listó futuros sobre acciones individuales y petrobonos en 1983, los cuales registraron operaciones hasta 1986. En 1987 se suspendió la negociación debido a problemas de índole prudencial.

El gobierno federal ha emitido diversos instrumentos híbridos de deuda, que incorporan contratos forward para la valuación de los cupones y el principal, lo cual permite indexar estos valores nominales a distintas bases. Los principales instrumentos híbridos de deuda son:

- Petrobonos (de 1977 a 1991), indexados al petróleo calidad Istmo.

- Pagarés (de 1986 a 1991), indexados al tipo de cambio controlado.
- Tesobonos (1989 a 1994), indexados al tipo de cambio libre.
- En el sector privado, se han emitido obligaciones y pagarés indexados.

A principios de 1987 se reinició la operación de contratos diferidos sobre las tasas de cambio peso/dólar mediante contratos de cobertura cambiaria de corto plazo, registrados ante Banxico.

En la década de los 90 se negocian contratos forward Over the Counter (OTC) sobre tasas de interés de títulos gubernamentales, pactados en forma interinstitucional, sin un marco operativo formal y fueron suspendidos a mediados de 1992.

A finales de 1994 entraron en vigor las normas de Banxico para la operación de contratos forward sobre la Tasa de Interés Interbancaria Promedio (TIIP) y sobre el Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC), sujetos a registro ante el Banco Central y cumpliendo la norma del Grupo de los Treinta (G30: Grupo internacional que representa la industria, la política y el mundo académico y que está respaldado por las principales instituciones financieras participantes en los mercados financieros globales), para garantizar el control administrativo y de riesgo.

En octubre de 1992 inicia la operación en la BMV de los títulos opcionales (warrants) sobre acciones individuales, canastas e índices accionarios.

A finales de 1992 se inició la negociación de opciones sobre ADRs de Telmex L en The Chicago Board Options Exchange (CBOE). En 1994 se operaban diversas opciones sobre acciones mexicanas en CBOE, American Stock Exchange (AMEX), New York Options Exchange (NYOE), New York Stock Exchange (NYSE) y The Philadelphia Stock Exchange (PLHX), además de las bolsas de Londres y Luxemburgo. Simultáneamente se celebraban contratos forward y swaps sobre tasas de cambio, tasas de interés y commodities, entre intermediarios extranjeros y entidades nacionales sin reconocimiento ni protección jurídica.

La creación del Mercado de Derivados listados, inició en 1994 cuando la BMV y la S.D Indeval (Institución para el Depósito de Valores) asumieron el compromiso de crear este mercado. La BMV financió el proyecto de crear la bolsa de opciones y futuros que se denomina MexDer (Mercado Mexicano de Derivados S.A. de C.V.). Por su parte S.D Indeval tomó la responsabilidad de promover la creación de la Cámara de Compensación de Derivados que se denomina Asigna, compensación y liquidación, realizando las erogaciones correspondientes desde 1994 hasta las fechas de constitución de las empresas.

Los principales productos financieros derivados con base a los instrumentos del mercado de dinero son:

- Forwards Rates Agreements(FRAs), con base en la TIIE (y sobre la inflación).
- Contratos de intercambio de tasas de interés[1].
- Interest Rate Swaps (IRS).

El inicio de operaciones en el Mercado Mexicano de Derivados constituye uno de los avances más significativos en el proceso de desarrollo e internacionalización del Sistema Financiero Mexicano, por lo anterior es importante conocer algunos instrumentos de este mercado.

III.2. FRAs

Un *Forward Rate Agreement* (FRA) es un contrato Over the Counter (mercado extrabursátil) entre dos partes (prestatario y prestamista) en el que se aplica una cierta tasa de interés (tasa FRA) sobre un capital durante un periodo de tiempo futuro específico. Actualmente se utiliza un contrato FRA para que las partes se cubran de posibles pérdidas por movimientos en las tasas de interés.

[1]Pagar fijo por recibir variable (con base a la TIIE cada 28 días).

III.2.1. Cálculos básicos de los FRAs

Si el prestamista presta al prestatario, el valor nocional F al inicio del contrato (t), considerando una tasa variable r_{var} para un periodo de tiempo entre t y T, entonces al tiempo T el prestamista recibe por parte del prestatario:

$$\left(1 + r_{var}\frac{T-t}{360}\right)F \tag{III.1}$$

Por otro lado, se sabe que al inicio del contrato (t) el prestamista acuerda pagar al prestatario el valor nocional a una tasa FRA r_{FRA} durante el periodo de tiempo entre t y T[2]. Por lo anterior, el prestamista paga al prestatario:

$$\left(1 + r_{FRA}\frac{T-t}{360}\right)F \tag{III.2}$$

Se concluye como resultado del acuerdo FRA, que el prestamista intercambia la tasa FRA por la tasa variable, entonces recibe al tiempo T la diferencia entre (III.1) y (III.2):

$$(r_{var} - r_{FRA})\frac{T-t}{360}F \tag{III.3}$$

donde t es el tiempo inicial en días del contrato FRA, T es el tiempo de término en días del contrato FRA, $T-t$ es el plazo del contrato FRA[3], r_{var} es la tasa variable anual a la que se acuerda el contrato FRA, r_{FRA} es la tasa FRA anual acordada en el contrato FRA y F es el valor nocional del contrato FRA.

En caso de que el prestamista reciba intereses a la tasa FRA (r_{FRA}) y paga al prestatario intereses a la tasa variable (r_{var}), es decir, el prestamista intercambia la tasa variable por la tasa FRA:

[2]Su valor se fija en t.

[3]Por ejemplo si el contrato FRA es por un semestre $\frac{T-t}{360} = \frac{182}{360}$ manejando t y T en días.

$$(r_{FRA} - r_{var})\frac{T-t}{360}F \tag{III.4}$$

donde t es el tiempo inicial en días del contrato FRA, T es el tiempo de término en días del contrato FRA, $T-t$ es el plazo del contrato FRA[4], r_{var} es la tasa variable anual a la que se acuerda el contrato FRA, r_{FRA} es la tasa FRA anual acordada en el contrato FRA y F es el valor nocional del contrato FRA.

Por definición, el contrato FRA se establece para un tiempo futuro (entre t y T), entonces se supone que dicho contrato se acuerda en el tiempo cero, lo que implica que al tiempo cero se conoce la tasa cero r_t para t y la tasa cero r_T para T. Por lo tanto, se puede calcular la tasa forward en el tiempo cero para estimar la tasa variable r_{var} aplicable en el periodo de tiempo entre t y T[5].

Como se mencionó $r_{var} = r_f$, entonces el valor (precio) del contrato FRA al tiempo cero para el comprador (posición larga)[6] es:

$$P_{FRA}^{L} = \left[(r_f - r_{FRA})\frac{T-t}{360}F\right]\frac{1}{1 + r_T\frac{T}{360}} \tag{III.5}$$

donde t es el tiempo inicial en días del contrato FRA, T es el tiempo de término en días del contrato FRA, $T-t$ es el plazo del contrato FRA, r_f es la tasa forward anual calculada al tiempo cero y que aplica para el periodo entre t y T, r_{FRA} es la tasa FRA anual acordada en el contrato FRA, r_T es la tasa cero anual aplicable del tiempo cero hasta T y F valor nocional del contrato FRA.

Ahora se consideran tasas compuestas continuas en la posición larga del FRA:

[4] Por ejemplo si el contrato FRA es por un semestre $\frac{T-t}{360} = \frac{182}{360}$ manejando t y T en días.

[5] Entonces $r_{var} = r_f$, donde r_f es la tasa forward aplicable entre t y T.

[6] Recibe variable paga fijo.

$$P^L_{FRAc} = \left(e^{r_{cf}\frac{T-t}{360}} - e^{r_{cFRA}\frac{T-t}{360}} \right) F e^{-r_{cT}\frac{T}{360}} \qquad \text{(III.6)}$$

donde r_{cFRA} es la tasa FRA compuesta continua anual, r_{cf} es la tasa forward calculada en cero aplicable en el periodo de tiempo entre t y T en forma compuesta continua anual, r_{cT} es la tasa cero al tiempo T compuesta continua anual y r_{ct} es la tasa cero al tiempo t compuesta continua anual.

El valor del contrato FRA al tiempo cero para el vendedor (posición corta)[7] es:

$$P^C_{FRA} = \left[(r_{FRA} - r_f)\frac{T-t}{360}F \right] \frac{1}{1 + r_T\frac{T}{360}} \qquad \text{(III.7)}$$

donde t es el tiempo inicial en días del contrato FRA, T es el tiempo de término en días del contrato FRA, $T-t$ es el plazo del contrato FRA, r_f es la tasa forward anual calculada al tiempo cero y que aplica para el periodo entre t y T, r_{FRA} es la tasa FRA anual acordada en el contrato FRA, r_T es la tasa cero anual aplicable del tiempo cero hasta T y F valor nocional del contrato FRA.

Se consideran las tasa compuestas continuas en la posición corta del FRA:

$$P^C_{FRAc} = \left(e^{r_{cFRA}\frac{T-t}{360}} - e^{r_{cf}\frac{T-t}{360}} \right) F e^{-r_{cT}\frac{T}{360}} \qquad \text{(III.8)}$$

donde r_{cFRA} es la tasa FRA compuesta continua anual, r_{cf} es la tasa forward calculada en cero aplicable en el periodo de tiempo entre t y T en forma compuesta continua anual, r_{cT} es la tasa cero al tiempo T compuesta continua anual y r_{ct} es la tasa cero al tiempo t compuesta continua anual.

Comúnmente el valor del FRA es igual a cero al tiempo t. Se busca la tasa FRA de tal manera que haga que el valor del FRA sea cero al inicio del contrato t y utilizando la fórmula (III.5) se deduce lo siguiente:

[7] Recibe fijo paga variable.

Año	Días	Tasas cero continua anual
1	364	10.00
2	728	10.50
3	1092	10.80
4	1456	11.00
5	1820	11.10

Tabla III.1. Tabla de tasas LIBOR.

$$(r_f - r_{FRA})\frac{T-t}{360}F\frac{1}{1+r_T\frac{T}{360}} = 0$$

Entonces, se demuestra la ecuación (III.9) para ambas posiciones al inicio del contrato en t.

$$r_{FRA} = r_f \tag{III.9}$$

donde r_f es la tasa forward anual calculada al tiempo cero y que aplica para el periodo entre t y T; y r_{FRA} es la tasa FRA anual acordada en el contrato FRA.

Ejemplo:

Se considera la tabla (III.1) de tasas cero continuas y un FRA por el que se recibe una tasa FRA del 12 % anual sobre un capital de $1,000,000.00 de dólares y se paga variable entre el final de los 364 días y el principio de los 728 días.

Calcular la tasa forward que aplica para el final de los 364 días y el principio de los 728 días, de acuerdo a la ecuación (I.25) del Capítulo I:

$$r_{cf} = \frac{(0.1050)(2) - (0.1000)(1)}{2-1} = 0.1100$$

El 11% es la tasa forward compuesta continua, se utiliza la ecuación (I.24) del Capítulo I para obtener la tasa forward capitalizable anualmente:

$$r_f = e^{0.11} - 1 = 0.1163$$

Ahora, se tiene la tasa cero a dos años como 0.1050 compuesta continua anual, se usa la ecuación (I.24) para obtener la tasa cero a dos años con capitalización anual:

$$r_2 = e^{0.1050} - 1 = 0.1107$$

Por otra parte, se tiene que la tasa FRA del 12 % anual. Dicha tasa se convierte en tasa compuesta continua usando la ecuación (I.22) del Capítulo I.

$$r_{cFRA} = Ln(1 + 0.12) = 0.1133$$

Para obtener el precio del FRA al tiempo cero con posición corta y con tasas continuas se utiliza la ecuación (III.8):

$$P^{C}_{FRAc} = \left(e^{0.1133(\frac{728-364}{360})} - e^{0.1100(\frac{728-364}{360})}\right)(1000000)\left(e^{-0.1050(\frac{728}{360})}\right) = 3020.83$$

Para obtener el precio del FRA al tiempo cero con posición corta y con tasas de composición anual, se usa la ecuación (III.7):

$$P^{C}_{FRA} = (0.12 - 0.1163)(1000000)\left(\frac{1}{1 + 0.1107(\frac{728}{360})}\right) = 3023.22$$

III.3. Swaps

Un swap se conoce como un acuerdo entre dos partes para el intercambio de flujos de efectivo en un futuro. Dicho acuerdo debe definir las fechas para el pago de los flujos de efectivo y la forma de calcular los pagos mencionados.

Un contrato a plazo puede verse como un ejemplo sencillo de un swap. El contrato a plazo permite realizar un intercambio de flujos de efectivo en una fecha futura y con el swap se pueden realizar intercambios de flujos de efectivo en diferentes fechas futuras.

III.3.1. Clasificación de los swaps

Los swaps se clasifican de la siguiente manera:

- *Swaps de Tasas de Interés (Interest Rate Swaps).* En un swap de tasa de interés uno de los participantes en la transacción se obliga a pagar a la otra parte una tasa de interés establecida por adelantado sobre un valor nominal también establecido por adelantado y la otra parte queda obligada a pagar la tasa de interés variable adquirida por la primera parte sobre el mismo valor nominal.

- *Swaps de Materias Primas (Commodity Swaps).* En este tipo de swaps los participantes efectúan pagos sobre el precio de una materia prima y por una cantidad especificada en el contrato, donde una de las partes paga a precio fijo por la mercancía y la otra parte efectúa pagos a precio de mercado.

- *Swaps de Divisas (Currency Swaps).* Los swaps de divisas pueden ser de dos tipos:

    - Forward swaps sobre divisas.

    - Una variante del swap de tasas de interés, en el cual el nominal sobre el que se paga la tasa de interés fija y el nominal sobre el que se paga la tasa de interés variable son dos monedas distintas.

- *Swaps de Indices Bursátiles (Equity Swaps)*. Este tipo de swap permite intercambiar el rendimiento del mercado de dinero por el rendimiento de un índice bursátil. El índice bursátil resulta de la suma de ganancias o pérdidas de capital o por el pago de dividendos.

III.3.2. Características de los swaps

Las principales características de los swaps son los siguientes:

- Los pagos se pueden generar a partir de distintos tipos de activos subyacentes, los más comunes son las tasas de interés y las divisas, a partir de las cuales se puede hacer una gran cantidad de combinaciones, por lo que operaciones swaps hay tantas como alternativas de combinación y acuerdos se establezcan.

- Los swaps no son negociados en bolsa, son productos fundamentalmente bancarios.

- Los swaps tienen un componente de riesgo crédito.

- El usuario de un swap puede construirlo totalmente "a la medida", sin limitarse a usar bonos o deuda disponibles en el mercado con todos los problemas que acarrean (plazos y cupones disponibles, dificultades a la hora de vender corto sobre todo durante plazos largos, entre otros.).

- Las determinantes principales del precio de los swaps son la fecha de vencimiento (mayor plazo mayor precio), su estructura (a mayor simplicidad menor precio, a mayor complejidad mayor precio), la disponibilidad de las contrapartes (a mayor disponibilidad menor precio, menor disponibilidad mayor precio), el riesgo crediticio (mayor riesgo mayor precio y viceversa), la oferta y demanda de crédito en general (sigue las leyes de oferta y demanda), la regulación e impuestos que afectan las tasas de interés (mayor regulación mayor precio, menor regulación menor precio).

- Los swaps son el mejor ejemplo de ingeniería financiera cuya finalidad está en administrar los riesgos generados por la continua incertidumbre, volatilidad de los tipos de cambio y las tasas de interés.

- La mayoría de los participantes de swaps utilizan una documentación estándar preparada por la *International Swaps Dealers Association, Inc (ISDA)*, y es la asociación de traders globales que representan a los participantes de la industria privada de negociación y comercio de los programas de intercambio, tanto de tasa de interés, divisas, mercancías, crédito y de capital, así como también a todos los productos relacionados como los *caps, collars, floors y swaptions*[8].

III.3.3. Swap de tasa de interés: Plain Vanilla

En esta sección sólo se conocen los cálculos de los swaps de tasas de interés.

En el swap de tasa de interés plain vanilla, una empresa acuerda pagar flujos de efectivo iguales a los intereses correspondientes a una tasa de interés fija predeterminada y un cierto nominal durante una serie de años. A cambio recibe intereses a una tasa de interés variable en el mismo periodo de tiempo.

La tasa de interés variable que es más común manejar en los swaps es la LIBOR. Sin embargo, más adelante se ve la utilización de la tasa TIIE que es utilizada en México.

Ejemplo:

Considerar un swap a 3 años comenzando el 5 de marzo de 2009 entre IBM y HP. En dicho swap, IBM realiza un acuerdo con HP, en el que se compromete a pagar a HP una tasa de interés de 5% anual sobre un capital de 100 millones de dólares y HP se compromete a pagar a IBM una tasa LIBOR semestral sobre el mismo capital. Se supone que los pagos son intercambiados cada seis meses y el 5% de la tasa se valora semianualmente.

El primer intercambio de pagos se lleva acabo el 5 de septiembre de 2009 (seis meses después de que comienza el swap), en este intercambio, IBM pagará a HP $(100)(\frac{0.05}{2}) = 2.5$ millones de dólares. Por su parte HP paga a IBM el interés del capital de 100 millones de dólares a una tasa LIBOR

[8]Los caps, collars, floors y swaptions se detallaran más adelante.

# Fecha	LIBOR a seis meses	Pagos a tasa variable	Ingresos a tasa fija	Pagos netos
Mar. 5,2009	4.20			
Sept. 5,2009	4.80	+2.10	−2.50	−0.40
Mar. 5,2010	5.30	+2.40	−2.50	−0.10
Sept. 5,2010	5.50	+2.65	−2.50	+0.15
Mar. 5,2011	5.60	+2.75	−2.50	+0.25
Sept. 5,2011	5.90	+2.80	−2.50	+0.30
Mar. 5,2012	6.40	+2.95	−2.50	+0.45

Tabla III.2. Flujos de efectivo desde la perspectiva de IBM en un swap de tasa de interés de 100 millones de dólares a tres años, con una tasa fija del 5% y recibe la LIBOR.

semestral vigente en la fecha en que comienza el swap (5 de marzo de 2009). Suponiendo una tasa del 4.2% anual, por lo tanto HP paga $(100)(\frac{0.042}{2}) = 2.1$ millones de dólares. Como se aprecia no existe incertidumbre en el primer intercambio debido a que la tasa LIBOR se especificó al inicio del contrato.

Para el 05 de marzo de 2010, el segundo intercambio, IBM paga un monto igual a 2.5 millones de dólares, como en el intercambio anterior. Por su parte HP debe pagar $(100)(\frac{0.048}{2}) = 2.4$ millones de dólares, considerando que la tasa LIBOR que se tenía el 05 de septiembre de 2009 (seis meses antes del 5 de marzo de 2010) es de 4.8% anual.

Un swap de tasa de interés se estructura de tal manera que un lado paga la diferencia entre los dos pagos del otro lado. Se observa lo que se ha mencionado, analizando el ejemplo, IBM paga $2.5 - 2.1 = 0.4$ millones de dólares a HP en la segunda fecha de pago. Con respecto a la tercera fecha de pago IBM paga $2.5 - 2.4 = 0.1$ millones de dólares. Es importante observar que los 100 millones de dólares son utilizados sólo para calcular los pagos de interés y dicho capital[9] no es intercambiado.

Si se considera que al final del plazo del swap plain vanilla se intercambia el valor nocional, los flujos de efectivo quedarán como se muestra en la tabla (III.3).

[9]El capital que se usa para el cálculo de los pagos de interés y que no es intercambiado en el swap a tasa de interés es conocido como principal nocional (*notional principal*, en inglés.

# Fecha	LIBOR a seis meses	Pagos a tasa variable	Ingresos a tasa fija	Pagos netos
Mar. 5,2009	4.20			
Sept. 5,2009	4.80	+2.10	−2.50	−0.40
Mar. 5,2010	5.30	+2.40	−2.50	−0.10
Sept. 5,2010	5.50	+2.65	−2.50	+0.15
Mar. 5,2011	5.60	+2.75	−2.50	+0.25
Sept. 5,2011	5.90	+2.80	−2.50	+0.30
Mar. 5,2012	6.40	+102.95	−102.50	+0.45

Tabla III.3. Flujos de efectivo, suponiendo que se intercambia el valor nocional.

En la tercera columna de la tabla (III.3), se tienen los flujos de efectivo[10] desde una posición larga[11] en un bono con rentabilidad variable. En la misma tabla se observa, en la cuarta columna, los flujos de efectivo desde una posición corta[12] en un bono de rentabilidad fija.

Con lo que se ha explicado, se establece que la caracterización de los flujos de efectivo determinan que la tasa de interés variable se fije seis meses antes de pagarse.

Cotización de swap plain vanilla y tasa cupón cero LIBOR

Si en el swap del ejemplo anterior, al final del acuerdo, se supone que HP paga el valor nocional de 100 millones de dólares a IBM e IBM paga a HP el mismo valor nocional; el swap será lo mismo que el siguiente acuerdo:

- IBM prestó a HP 100 millones de dólares a la tasa LIBOR semestral
- HP prestó a IBM 100 millones de dólares a una tasa fija del 5% anual

Desde la perspectiva de bonos se puede decir que en el primer punto, HP emite (vende) un bono que es comprado por IBM con un valor de 100

[10]Flujos de efectivo iguales al interés correspondiente a una tasa variable y un capital determinado.
[11]En esta posición como compra un bono a tasa variable, recibe la tasa fija.
[12]En esta posición como vende un bono a tasa variable, paga la tasa variable.

millones de dólares, por lo que HP paga un interés a tasa variable (cupón de un bono a tasa variable). En el segundo punto IBM emite (vende) un bono que es comprado por HP con un valor de 100 millones de dólares, por lo que IBM pagará un interés a tasa fija.

De acuerdo al análisis anterior, se observa que el valor del swap para IBM es la diferencia entre los valores de los dos bonos.

Se sabe que el precio de un bono cupón tasa fija está dado por la ecuación (II.20) y el precio de un bono cupón tasa variable con la ecuación (II.37). Por lo tanto:

PM es el valor del bono a tasa fija subyacente al swap

PM_{var} es el valor del bono a tasa variable subyacente al swap.

Entonces, se tiene que el precio del swap para una empresa (IBM) que recibe variable y paga fijo es:

$$P_{swap} = PM_{var} - PM \tag{III.10}$$

donde P_{swap} es el precio del swap donde se recibe variable y paga fijo, PM es el valor del bono a tasa fija subyacente al swap y PM_{var} es el valor del bono a tasa variable subyacente al swap.

Tasas de interés en swaps

Grandes empresas son creadoras de mercado, en el mercado de swaps. Es decir están preparadas para cotizar, en una serie con distintos vencimientos y de diferentes divisas, una tasa demandada y ofertada para la tasa fija que intercambiarán con la variable. La tasa demandada es la tasa fija en un contrato donde el creador del mercado paga fijo y recibe variable; la tasa ofertada es la tasa fija en el swap para la cuál el creador del mercado paga variable y recibe fijo.

En la tabla (III.4) se visualizan cotizaciones típicas para swaps del tipo plain vanilla sobre dólares americanos, como se observa, la diferencia entre la tasa demandada y ofertada es de entre 3 y 4 puntos básicos. La media entre los

# Vencimientos (años)	Tasa demandada	Tasa Ofertada	Tasa swap
2	6.30	6.60	6.45
3	6.21	6.24	6.23
4	6.35	6.39	6.37
5	6.47	6.51	6.49
7	6.65	6.68	6.67
10	6.83	6.87	6.85

Tabla III.4. Tasas demandadas y ofertadas en el mercado swap y tasas swap ($\% anual$; pagos intercambiados semestrales).

tipos demandados y ofertados es conocida como tasas swap[13].

Después del análisis de tasas demandadas y ofertadas se concluye que un creador de mercado busca la tasa demandada u ofertada centrada alrededor de la tasa swap para que el valor del swap sea cercano a cero. Lo anterior se debe a que se busca que los flujos de efectivo para la parte flotante sean equivalentes a los flujos de efectivo a tasa fija de la contraparte; de esta manera se hace equitativo el contrato en el tiempo cero. En conclusión existe una tasa de equilibrio única llamada *tasa swap (par swap rate)* que hace que el valor del swap sea cero al inicio de dicho contrato.

Ahora, se considera un swap donde la tasa fija es igual a la tasa swap y se supone que el valor de dicho swap es cero (usando bonos). De la ecuación (III.10) se obtiene que:

$$PM_{var} - PM = 0$$

Por lo tanto, cuando la tasa fija es igual a la tasa swap se llega a la siguiente igualdad:

$$PM_{var} = PM \qquad \text{(III.11)}$$

[13]La tasa swap para el vencimiento a 2 años se calcula como $\frac{6.30+6.60}{2} = 6.45$.

donde PM_{var} es el precio del bono cupón variable y PM es el precio del bono cupón fijo.

Como se demostró anteriormente, en el tema de bono a tasa variable, el valor del bono PM_{var} es igual al nocional del swap. Se toma en cuenta la ecuación (III.11) para decir lo siguiente:

- El valor del bono a la tasa swap PM también iguala al nocional del swap al tiempo inicial del swap[14]. Entonces el bono a tasa fija del swap se valora a la par.

- La tasa del cupón en el bono cupón tasa variable es la causa de que dicho bono se valore a la par en el tiempo cero. Las fluctuaciones de la tasa variable después del tiempo cero permiten que se obtengan ganancias o pérdidas para las contrapartes[15].

Entonces, se calcula la tasa swap o *par swap rate* desglosando las expresiones de la fórmula (III.11), a continuación[16]:

$$F[1 - B(0, t_n)] = F r_{swap_{Bonos}} \frac{t}{360} \sum_{i=1}^{n} B(0, t_i)$$

Entonces considerando el valor del swap mediante bonos:

$$r_{swap_{Bonos}} = \frac{1 - B(0, t_n)}{\frac{t}{360} \sum_{i=1}^{n} B(0, t_i)} \tag{III.12}$$

donde $r_{swap_{Bonos}}$ es el valor de la tasa swap mediante bonos, y t es el plazo para el pago de cupón a tasa fija en días, $B(0, t_n) = \frac{1}{1+r_n \frac{t_n}{360}}$ y $B(0, t_i) = \frac{1}{1+r_i \frac{t_i}{360}}$.

[14]Es decir, $PM_{var} = F = PM$.

[15]Que se valore a la par significa que el precio del bono y su valor de carátula sean iguales.

[16]Recordar el valor de PM y PM_{var} no consideran el valor nocional.

Considerando FRAs, se puede tomar la tasa fija r_{fija} como la tasa swap en la ecuación (III.20) e igualarla a cero, por lo que se obtiene:

$$\sum_{i=1}^{n}\left[(r_{f_i} - r_{swap_{FRA}})\frac{t_i - t_{i-1}}{360}FB(0,t_i)\right] = 0$$

Entonces, al despejar la tasa swap:

$$r_{swap_{FRA}} = \frac{\sum_{i=1}^{n}(r_{f_i})\frac{t_i-t_{i-1}}{360}B(0,t_i)}{\sum_{i=1}^{n}\frac{t_i-t_{i-1}}{360}B(0,t_i)} \qquad \text{(III.13)}$$

donde $r_{swap_{FRA}}$ es el valor de la tasa swap mediante FRAs, r_{f_i} es la tasa forward anual que aplica para el periodo de tiempo entre t_{i-1} y t_i, $B(0,t_i) = \frac{1}{1+r_i\frac{t_i}{360}}$.

Después de obtener la tasa swap por medio de bonos y de FRAs, se concluye lo siguiente:

- Existe un único momento en el que se tiene un contrato swap en equilibrio[17], dicho momento es al tiempo cero. En consecuencia, es posible que el mercado otorgue una tasa fija equivalente a la tasa variable en el periodo inicial.

- La tasa fija al inicio del swap es muy importante, ya que es la tasa que puede permitir que éste sea equitativo para las contrapartes al inicio del contrato, sin importar que los flujos de efectivo o las condiciones crediticias de las contrapartes sean diferentes durante un tiempo mayor al inicial. La tasa swap, es la tasa que permite el equilibrio en el intercambio debido a que absorbe las diferencias mencionadas en el tiempo inicial del swap. Por lo tanto, esta tasa garantiza equilibrar en un precio las condiciones crediticias de las contrapartes, al no permitir ganancias ni pérdidas.

- En un tiempo mayor a cero, se generan ganancias o pérdidas para las contrapartes dentro del swap. Lo anterior se debe a que un contrato

[17] El valor del swap vale cero.

swap consiste en el intercambio de interés fijo por interés variable y la tasa variable fluctúa de diferentes formas en el mercado durante el plazo del swap. Entonces, el valor del swap en un tiempo mayor al inicial ya no pueden ser un indicador debido a que se rompe el equilibrio en el intercambio.

- La tasa swap sirve como indicador para comparar las condiciones crediticias en el sector interbancario en distintos puntos del tiempo.

- Por otro lado, si se analiza la variación de las tasas swaps pactadas en distintos puntos del tiempo, se observa la volatilidad implícita en las distintas tasas interbancarias a lo largo del tiempo. Adicionalmente se podría percibir el comportamiento en el futuro de los mercados de crédito interbancarios. Esto último, debido a que como se vio anteriormente la tasa swap se valúa por medio de las tasas forward implícitas[18].

Valoración de los swaps de tasas de interés en términos de bonos

Se considera la ecuación (III.10) para un swap donde se recibe interés variable y se paga interés fijo. Dicha ecuación se usó para mostrar que PM iguala el valor nocional del swap al principio del periodo. También permitió verificar que en el swap el valor nocional, sólo sirve para hacer el cálculo de los intereses que se intercambiaran entre dos empresas[19].

En esta sección, la ecuación (III.10) permite valorar el swap en un tiempo determinado después de su inicio como sigue:

$$P_{swapB} = PM_{var} - PM$$

donde PM es el precio del bono cupón tasa fija y PM_{var} es el precio del bono cupón tasa flotante[20].

---

[18]Recordar que cuando se determinó el cálculo de la tasa swap se ve involucrada la tasa forward, que es calculada mediante las tasas cero correspondientes.

[19]Ver ejemplo de la sección Plain Vanilla.

[20]Recordar que $PM = \sum_{i=1}^{n} IB(0,t_i) + FB(0,t_n)$

Calcular el precio del bono cupón tasa fija de la ecuación (II.20) sin considerar los flujos de efectivo del valor nocional:

$$PM = \sum_{i=1}^{n} IB(0, t_i)$$

Desglosando el interés se obtiene el valor del lado fijo:

$$PM = Fk\frac{t}{360}\sum_{i=1}^{n} B(0, t_i) \tag{III.14}$$

Ahora se obtiene el precio del bono cupón tasa variable sin considerar los flujos de efectivo del valor nocional de la ecuación (II.37):

$$PM_{var} = \sum_{i=1}^{n} I_i B(0, t_i)$$

Para calcular el interés I_i en cada t_i, se usa la tasa forward para el periodo entre t_{i-1} y t_i; por lo que se utiliza lo ya demostrado en la ecuación (II.43), donde el precio del bono cupón tasa variable PM_{var} es igual al valor nocional F. Adicionalmente, se resta el valor presente del valor nocional como consecuencia de que dicho valor solo se usa para el cálculo de interés en un swap. Por lo tanto:

$$PM_{var} = F - B(0, t_n)F$$

$$PM_{var} = F[1 - B(0, t_n)] \tag{III.15}$$

donde $B(0, t_n) = \frac{1}{1+r_n\frac{t_n}{360}}$.

y $PM_{var} = \sum_{i=1}^{n} I_i B(0, t_i) \ + \ FB(0, t_n)$.

El valor de un swap para la posición larga, significa que la empresa recibe interés a tasa variable y paga interés a tasa fija que es equivalente a un portafolio con posición larga en un bono a tasa variable y una posición corta en un bono a tasa fija:

$$P^L_{swapB} = PM_{var} - PM$$

$$P^L_{swapB} = F[1 - B(0, t_n)] - Fk\frac{t}{360}\sum_{i=1}^{n} B(0, t_i)$$

$$P^L_{swapB} = F\left[1 - B(0, t_n) - k\frac{t}{360}\sum_{i=1}^{n} B(0, t_i)\right] \qquad \text{(III.16)}$$

donde F es el valor nocional en el contrato swap, k es la tasa fija del contrato swap, t es el plazo para el pago del interés fijo en el contrato swap en días, t_i es el tiempo al que se realiza el intercambio i, r_i es la tasa cupón cero anual para el tiempo t_i, $B(0, t_i) = \frac{1}{1+r_i\frac{t_i}{360}}$.

Se utilizan las ecuaciones (II.24) para el bono cupón tasa fija y (II.40) para el bono cupón tasa variable, la fórmula (III.16) se puede escribir como sigue:

$$P^L_{swapB} = F\left[1 - e^{-r_{cn}\frac{t_n}{360}} - k\frac{t}{360}\sum_{i=1}^{n} e^{-r_{ci}\frac{t_i}{360}}\right] \qquad \text{(III.17)}$$

donde F es el valor nocional en el contrato swap, k es la tasa fija del contrato swap, t es el plazo para el pago del interés fijo en el contrato swap en días, t_i tiempo al que se realiza el intercambio i y r_{ci} es la tasa cero compuesta continua anual para t_i.

El valor de un swap para la posición corta es que la empresa recibe interés a tasa fija y paga interés a tasa variable que es equivalente a un portafolio con posición corta en un bono a tasa fija y una posición larga en un bono a tasa variable:

$$P^C_{swapB} = PM - PM_{var}$$

$$P^C_{swapB} = Fk\frac{t}{360}\sum_{i=1}^{n} B(0,t_i) - F[1 - B(0,t_n)]$$

$$P^C_{swapB} = F\left[k\frac{t}{360}\sum_{i=1}^{n} B(0,t_i) - 1 + B(0,t_n)\right] \qquad \text{(III.18)}$$

donde F es el valor nocional en el contrato swap, k es la tasa fija del contrato swap, t es el plazo para el pago del interés fijo en el contrato swap en días, t_i tiempo al que se realiza el intercambio i, r_i es la tasa cupón cero anual para al tiempo t_i y $B(0,t_i) = \frac{1}{1+r_i\frac{t_i}{360}}$.

La fórmula (III.18) se puede escribir como sigue, se utilizan las ecuaciones (II.24) y (II.40):

$$P^C_{swapB} = F\left[k\frac{t}{360}\sum_{i=1}^{n} e^{-r_{ci}\frac{t_i}{360}} - 1 + e^{-r_{cn}\frac{t_n}{360}}\right] \qquad \text{(III.19)}$$

donde, F es el valor nocional en el contrato swap, k es la tasa fija del contrato swap, t es el plazo para el pago del interés fijo en el contrato swap en días, t_i tiempo al que se realiza el intercambio i y r_{ci} es la tasa cero compuesta continua anual para t_i.

Ejemplo:

Sea un swap con valor nocional de \$100 pesos a un plazo de 1 año. En dicho swap una empresa se compromete a pagar a la otra pagos variables determinados por la tasa TIIE a 28 días y recibe pagos fijos con tasa del 9% anual pagadero cada 28 días.

Considerar la tabla (III.5) que muestra las tasas cero determinadas por la TIIE a 28 días y el cálculo del $B(0,t_i)$.

i	Plazos en días	$TIIE_{28}\,\%$	$B(0,t_i)$
1	28	4.9300	0.9962
2	56	4.9200	0.9924
3	84	4.9200	0.9886
4	112	4.9350	0.9849
5	140	4.9300	0.9812
6	166	4.9150	0.9778
7	196	4.9200	0.9739
8	224	4.9150	0.9703
9	252	4.9050	0.9668
10	280	4.9000	0.9633
11	308	4.9100	0.9597
12	336	4.9200	0.9561
13	364	4.9200	0.9526

Tabla III.5. Tabla de la TIIE a 28 días y cálculo de $B(0,t_i)$ para el cálculo del precio del swap con bonos.

Se sustituye en la ecuación (III.18):

$$P^C_{swapB} = 100\left[0.09\left(\frac{28}{360}\right)\sum_{i=1}^{13} B(0,t_i) - 1 + 0.9526\right]$$

De acuerdo en la tabla (III.5), se calcula $\sum_{i=1}^{13} B(0,t_i)$, por lo tanto se obtiene:

$$P^C_{swapB} = 100\left[0.09\left(\frac{28}{360}\right)(12.6638) - 1 + 0.9526\right]$$

Entonces, el precio del swap cuando la empresa recibe fijo y paga variable es:

$$P^C_{swapB} = 4.12$$

Valoración de los swaps de tasas de interés en términos de FRAs

En la sección dedicada al tema de FRAs se mostró que un FRA puede caracterizarse como un acuerdo donde el interés a una tasa fija[21] se intercambia por el interés a la tasa de variable del periodo en cuestión. Esto muestra que un swap de tasa de interés no es otra cosa que un portafolio de contratos FRA.

Considerar nuevamente el acuerdo swap entre IBM y HP de la sección "Swap de tasa de interés: Plain Vanilla", este swap obliga a HP a 6 intercambios de efectivo. El primer intercambio se realiza cuando se negocia el swap; los otros cinco pueden contemplarse como FRAs. El intercambio del 5 de marzo de 2009 es un FRA donde el interés fijo al 5% es intercambiado por el interés a la tasa variable a 6 meses observada en el mercado el día 5 de marzo de 2009 y así sucesivamente.

Considerar que un swap se puede definir como la diferencia de los precios de un bono a tasa variable y un bono a tasa fija, se puede decir que los diferentes montos[22] en cada pago de cupón se pueden visualizar como un portafolio de FRAs. Cada FRA es calculado en base al mismo valor nocional del swap F y la misma tasa fija del swap r_{fija}.

Por lo tanto,se considera la ecuación (III.5), el valor del swap en términos de FRAs para una posición larga[23] es:

$$P^{L}_{swapFRA} = \sum_{i=1}^{n} \left[(r_{f_i} - r_{fija}) \frac{t_i - t_{i-1}}{360} FB(0, t_i) \right] \tag{III.20}$$

Se utiliza la ecuación (III.7), el valor del swap con FRAs para la posición corta[24] es:

[21] La tasa FRA.

[22] La ganancia del inversionista al restar lo que recibe menos lo que paga.

[23] Se recibe variable (es equivalente a tomar una posición larga en el bono a tasa variable) y se paga fijo (es equivalente a tomar una posición corta en el bono a tasa fija).

[24] Se recibes fijo (es equivalente a tomar una posición larga en el bono a tasa fija) y se paga variable (es equivalente a tomar una posición corta en el bono a tasa variable).

$$P^{C}_{swapFRA} = \sum_{i=1}^{n} \left[(r_{fija} - r_{f_i}) \frac{t_i - t_{i-1}}{360} F B(0, t_i) \right] \qquad \text{(III.21)}$$

donde r_{fija} es la tasa fija anual en el contrato swap, r_{f_i} es la tasa forward anual que aplica para el periodo de tiempo entre t_{i-1} y t_i, F el valor nocional del contrato swap, t_i tiempo al que se efectúa el intercambio i, r_i es la tasa cupón cero anual para al tiempo t_i y $B(0, t_i) = \frac{1}{1 + r_i \frac{t_i}{360}}$.

Cuando todas las tasas son compuestas continuas, se usa la ecuación (III.6) y el valor del swap con FRAs para la posición larga es:

$$P^{L}_{swapFRAc} = \sum_{i=1}^{n} \left[\left(e^{(r_{cf_i}) \frac{t_i - t_{i-1}}{360}} - e^{(r_{fijac}) \frac{t_i - t_{i-1}}{360}} \right) F e^{-r_{ci} \frac{t_i}{360}} \right] \qquad \text{(III.22)}$$

De la misma forma con las tasas compuestas continuas, se usa la ecuación (III.8) y el valor del swap con FRAs para la posición corta es:

$$P^{C}_{swapFRAc} = \sum_{i=1}^{n} \left[\left(e^{r_{fijac} \frac{t_i - t_{i-1}}{360}} - e^{(r_{cf_i}) \frac{t_i - t_{i-1}}{360}} \right) F e^{-r_{ci} \frac{t_i}{360}} \right] \qquad \text{(III.23)}$$

donde r_{fijac} es la tasa fija compuesta continua anual en el contrato swap, r_{cf_i} es la tasa forward compuesta continua anual que aplica para el periodo de tiempo $t_i - t_{i-1}$, F el valor nocional, t_i es el tiempo al que se efectúa el pago i y r_{ci} es la tasa cupón cero compuesta continua anual para t_i.

Ejemplo:

Considerar el swap del ejemplo anterior y la tabla (III.5), cuyo valor nocional es de \$100 pesos a un plazo de 1 año. En dicho swap una empresa se compromete a pagar a la otra pagos variables determinados por la tasa TIIE a 28 días y recibe pagos fijos con tasa del 9% anual pagadero cada 28 días.

Los cálculos básicos para calcular el precio del swap con FRAs mediante

i	r	r_{f_i}	$\frac{t_i - ti-1}{360}$	$FB(0,t_i)$	$(r - r_{f_i})\frac{t_i - t_{i-1}}{360}FB(0,t_i)$
1	0.09	0.04930	$\frac{28}{360}$	99.62	0.31535
2	0.09	0.04891	$\frac{28}{360}$	99.24	0.31714
3	0.09	0.04923	$\frac{28}{360}$	98.86	0.31345
4	0.09	0.04835	$\frac{28}{360}$	98.49	0.31900
5	0.09	0.04743	$\frac{28}{360}$	98.12	0.32485
6	0.09	0.04838	$\frac{28}{360}$	97.78	0.31652
7	0.09	0.04752	$\frac{28}{360}$	97.39	0.32172
8	0.09	0.04681	$\frac{28}{360}$	97.03	0.32588
9	0.09	0.04693	$\frac{28}{360}$	96.68	0.32380
10	0.09	0.04826	$\frac{28}{360}$	96.33	0.31272
11	0.09	0.04827	$\frac{28}{360}$	95.97	0.31147
12	0.09	0.04703	$\frac{28}{360}$	95.61	0.31947
13	0.09	0.046868	$\frac{28}{360}$	95.26	0.31957

Tabla III.6. Valores básicos para para el cálculo del precio del swap con FRAs.

la ecuación (III.21), se pueden visualizar en la tabla (III.6)[25]. Al realizar la suma de todos los renglones de la última columna de dicha tabla se obtiene el valor del swap. Por lo tanto:

$$P^C_{swapFRA} = 4.14$$

Como se observa el precio del swap para la posición corta, calculado mediante bonos (4.12466) es aproximado al calculado mediante FRAs (4.14095).

III.3.4. Determinación de la curva cero mediante swaps

En el tema de "Tasas de interés en swaps" se mencionó que el valor de un contrato swap al inicio tiene valor cero cuando se toma la tasa swap

[25]La tasa forward en cada intercambio i es calculada usando la ecuación (I.27). Para el primer intercambio la tasa es la tasa cero a los 28 días.

Vencimiento (días)	Tasa cero con composición anual (%)
182	5.65
364	5.91
546	6.08

Tabla III.7. Tasas cero suponiendo que se determinó la curva cero.

(*par rate swap*) como la tasa fija en el contrato. Por lo anterior, cuando se calculó el valor del swap mediante bonos se llega a la igualdad (III.11):

$$PM_{var} = PM$$

De donde se concluyeron las siguientes afirmaciones:

- El valor del bono a la tasa swap PM también iguala al nocional del swap al tiempo inicial del swap[26]. Entonces el bono a tasa fija del swap se valora a la par.

- La tasa del cupón en el bono cupón tasa variable es la causa de que dicho bono se valore a la par en el tiempo cero. Las fluctuaciones de la tasa variable después del tiempo cero permiten que se obtengan ganancias o pérdidas para las contrapartes[27].

Se puede afirmar que la tasa swap (*par swap rate*) permite definir dos bonos con rendimiento a la par al inicio del contrato swap. Por lo tanto, varias tasas swap definen varios bonos con rendimiento a la par. Este hecho se puede usar para generar la curva cero de la misma forma que en la sección (II.3.4), donde se calcularon las tasas cupón cero a partir de instrumentos que se negocian, como son los bonos, usando el llamado *Método Bootstrapping*.

Para generar la curva cero, se supone que se ha determinado dicha curva para 182, 364 y 546 días como se muestra en la tabla (III.7).

[26]Recordar que $PM_{var} = F = PM$.

[27]Que se valore a la par significa que el precio del bono y su valor de carátula son iguales.

# Vencimientos (días)	Tasa demandada	Tasa ofertada	Tasa swap composición anual
728	6.30	6.60	6.45
1092	6.21	6.24	6.23
1456	6.35	6.39	6.37

Tabla III.8. Tasas demandadas y ofertadas en el mercado swap y tasas swap ($\%anual$) de 728, 1092 y 1456 días con pagos intercambiados semestrales.

Se toman las tasas swaps[28] que se tienen a partir de los 728 días en la tabla (III.8).

En la tabla (III.8) los plazos están por año, los intercambios son semestrales por lo que se usa la interpolación lineal[29] para calcular las tasas swaps semestrales.

Se calcula la tasa a los 910 días:

$$r_{swap_{910}} = \frac{r_{swap_{1092}} - r_{swap_{728}}}{1092 - 728}(910 - 728) + r_{swap_{728}}$$

Entonces:

$$r_{swap_{910}} = \frac{0.0623 - 0.0645}{364}(182) + 0.0645 = 0.0634$$

Similarmente, se calcula la tasa swap para los 1274 días. Las tasas swap para plazos semestrales se encuentran concentradas en la tabla (III.9)

Se supusieron las tasa cero para 182, 364 y 546 que se encuentran en la tabla (III.7). Por lo anterior, $r_1 = 5.65$, $r_2 = 5.91$ y $r_3 = 6.08$.

[28]Ver el apartado de las Tasas de interés en swaps.

[29]La fórmula de la interpolación lineal para los puntos (x_0, y_0) y (y_1, y_1), es la siguiente:

$$y = \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0}(x - x_0) + y_0,$$

con $x_0 \neq x_1$.

Vencimiento (en días) semestral	Tasa swap con composición anual (%)
728	6.45
910	6.34
1092	6.23
1274	6.30
1456	6.37

Tabla III.9. Tasas swap con plazos semestrales.

Considerando que a los 728 días la tasa swap[30] es un rendimiento a la par, un bono a dos años que paga un cupón semestral con tasa fija igual a la tasa swap del 6.45% anual y con valor nocional de \$100 puede venderse al precio que sigue:

En el Capítulo II se obtuvo la ecuación (II.47):

$$r_n = \left[\left(\frac{I+F}{PM_{actual} - I\sum_{i=1}^{n-1} B(0,t_i)}\right) - 1\right]\left(\frac{360}{t_n}\right)$$

donde $B(0,t_i) = \frac{1}{1+r_i\frac{t_i}{360}}$, PM_{actual} es el precio de mercado del bono cupón fijo, F es el valor nominal, r_i es la tasa cero que corresponde en el tiempo t_i, r_n es la tasa cero que corresponde en el tiempo t_n cuando el cupón paga cupones, t_i es el tiempo del pago del cupón i expresado en días, I es el interés del cupón y se obtiene de la siguiente manera:

$$I = Fk\frac{t}{360}$$

donde t es el plazo para el pago de cupón a tasa fija en días[31], k es la tasa del cupón fijo y F es el valor nominal.

Por lo anterior, el interés considerando el bono a 728 días es:

[30]Recordar que la tasa swap es aquella que hace que el valor del swap sea cero al inicio del contrato y que de ello se deduce que un bono con tasa fija igual a la tasa swap iguala el valor nocional al inicio.

[31]Por ejemplo si el pago del cupón a tasa fija es semestral $t = 182$ días.

$$I = (100)(0.0645)\left(\frac{182}{360}\right) = 3.26$$

Además la tasa cero r_4 a los 728 días se calcula como sigue:

$$r_4 = \left[\frac{103.26}{\left(100 - 3.26\left(\frac{1}{(1+0.0565\frac{182}{360})} + \frac{1}{(1+0.0591\frac{364}{360})} + \frac{1}{(1+0.0608\frac{546}{360})}\right)\right)} - 1\right] *$$
$$* \left[\frac{360}{728}\right] = 0.0680$$

Para el cálculo siguiente se considera que[32]:

$$\frac{1}{(1+0.0565\frac{182}{360})} + \frac{1}{(1+0.0591\frac{364}{360})} + \frac{1}{(1+0.0608\frac{546}{360})} + \frac{1}{(1+0.0680\frac{728}{360})} = 3.71$$

De la misma forma, a los 910 días se tiene un bono que paga un cupón fijo del 6.34 % con el mismo valor nocional, por lo que r_5 se calcula como:

El interés considerando el bono a 910 días es:

$$I = (100)(0.0634)\left(\frac{182}{360}\right) = 3.21$$

$$r_5 = \left[\frac{103.21}{100 - (3.21)(3.71)} - 1\right]\left[\frac{360}{910}\right] = 0.0679$$

En el cálculo de la siguiente tasa se considera:

[32]Se considera $\sum_{i=1}^{n-1} B(0, t_i) = 3.71$.

$$3.71+\frac{1}{(1+0.0679\frac{910}{360})}=4.56$$

A los 1092 días, se tiene un bono que paga un cupón fijo del 6.23 % con el mismo valor nocional, por lo que r_6 se calcula como sigue:

El interés considerando el bono a 1092 días es:

$$I=(100)(0.0623)\left(\frac{182}{360}\right)=3.15$$

$$r_6=\left[\frac{103.15}{100-(3.15)(4.56)}-1\right]\left[\frac{360}{1092}\right]=0.0675$$

Para calcular la siguiente tasa se considera:

$$4.56+\frac{1}{(1+0.0675\frac{1092}{360})}=5.39$$

A los 1274 días, se tiene un bono que paga un cupón fijo del 6.30 % con el mismo valor nocional, por lo que r_7 se calcula como sigue:

El interés considerando el bono a 1274 días es:

$$I=(100)(0.0630)\left(\frac{182}{360}\right)=3.19$$

$$r_7=\left[\frac{103.19}{100-(3.19)(5.39)}-1\right]\left[\frac{360}{1274}\right]=0.0696$$

Para realizar el último cálculo de la tasa cero se considera:

Vencimiento (años)	Tasa Cero (%)
0.50	5.65
1.00	5.91
1.50	6.08
2.00	6.80
2.50	6.79
3.00	6.75
3.50	6.96
4.00	7.16

Tabla III.10. Tasas cero determinadas por medio de bonos que determinan las tasas swaps.

$$5.39 + \frac{1}{(1 + 0.0696\frac{1274}{360})} = 6.20$$

A los 1456 días se tiene un bono que paga un cupón fijo del 6.37 % con el mismo valor nocional, por lo que r_8 se calcula como sigue:

El interés considerando el bono a 1456 días es:

$$I = (100)(0.0637)\left(\frac{182}{360}\right) = 3.22$$

$$r_8 = \left[\frac{103.22}{100 - (3.22)(6.20)} - 1\right]\left[\frac{360}{1456}\right] = 0.0716$$

Las tasas cero que se han calculado mediante las tasas swaps asociadas a bonos que se valoran a la par se han concentrado en la tabla (III.10). Para efectos de la gráfica de la curva cero, el vencimiento que se tenía en días se especifica en años. Adicionalmente se redondean los valores.

La gráfica de la curva cero se muestra en la figura (III.1). En dicha gráfica se supuso que en el tiempo inicial la tasa es de 5.65.

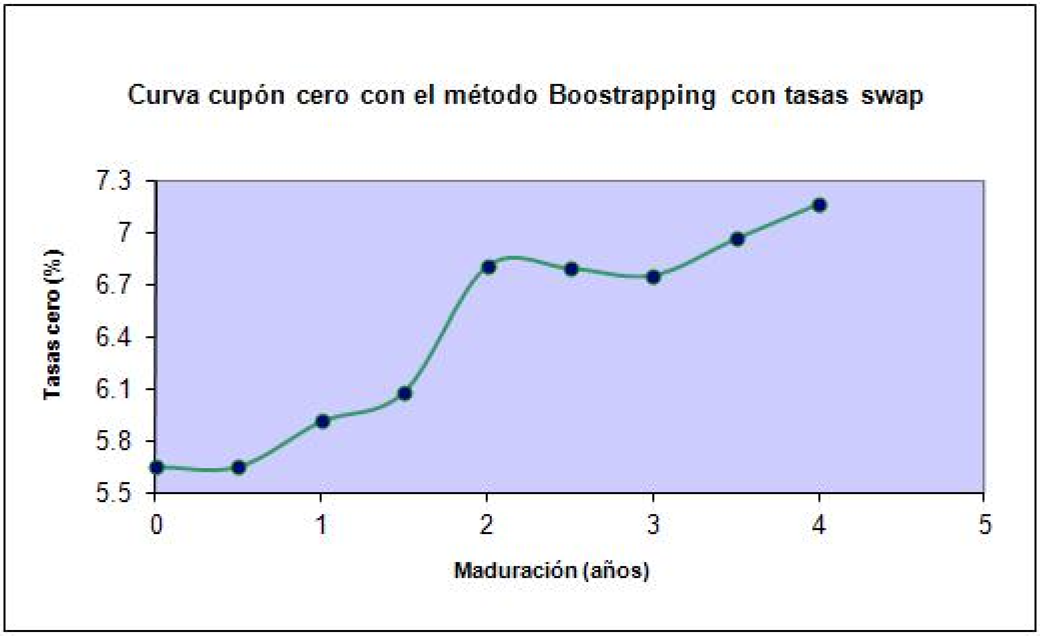


Figura III.1. Tasas cupón cero con el método Bootstrapping por medio de los bonos que determinan las tasas swaps.

III.3.5. Los swaps en México

El uso en México de los swaps y la información sobre los mismos es confusa debido al esquema legal y a la falta de divulgación de este tipo de instrumentos.

En México, se distinguen 2 clasificaciones de swaps:

1. Swaps de mercado: Estos swaps se operan de manera regular en el mercado y existe una cierta estandarización en un mercado Over the Counter (OTC).

2. Swaps diferentes a los de mercado.

Variables básicas para determinar el precio de los swaps

Los intermediarios determinan el precio de los swaps con base a seis variables básicas:

- **El vencimiento del swap**: mientras más largo sea el plazo del swap mayor será su precio.
- **La estructura del swap**: cuanto más complejo y hecho a la medida sea el swap, más caro resulta.
- **La disponibilidad inmediata de contrapartes que le permitan al intermediario cuadrar su posición**: si el banco no puede cubrir con facilidad su posición cobra una comisión superior por el swap.
- **El riesgo crediticio del cliente**: a más alto riesgo crediticio del cliente, mayor cargo.
- **La oferta y demanda de crédito en general**.
- **Regulaciones e impuestos que afectan las tasas de interés**.

Cada mañana, la mesa de swaps de un banco prepara su tabla indicativa de precios de los swaps de tasas de interés. Esta tabla proporciona al operador una guía para determinar su precio, y se actualiza con frecuencia, incluso varias veces al día cuando existe una gran volatilidad en los mercados.

Las tablas indicativas de precios para los swaps de tasas de interés se establecen en relación con los swaps convencionales de tasa fija por tasa variable.

Swaps de mercado

En el caso de este tipo de swaps, la contraparte debe informar a su broker que posición está dispuesta a tomar (Bid o Offer) dentro de la operación del swap. La tasa fija se observa en la pantalla de cotización de precios de swaps de tasas de interés. Dicha pantalla se llena con las diferentes posiciones que están dispuestas a asumir las contrapartes.

$nx1$	Bid% (compra)	Offer% (venta)
3x1	4.99	5.02
6x1	5.14	5.16
9x1	5.18	5.20
13x1	5.30	5.45
26x1	6.03	6.07

Tabla III.11. Tabla indicativa de precios de swaps de tasa de interés.

En la tabla (III.11) se muestra una tabla indicativa (pantalla de cotización) de precios de una mesa de swaps, dentro de esta tabla se entendiende el término $nx1$ como un swap de tasa de interés fija contra tasa variable referenciada en la tasa TIIE 28, con n cupones cada 28 días. Por ejemplo, $3x1$ significa un swap que se pacta hoy con 3 cupones cada 28 días.

Considerese el ejemplo de un banco “A” con intenciones de entrar en un swap de tasa fija por flotante al $3x1$. Según la tabla (III.11) dicho banco pagaría a su contraparte 4.99 %. La contraparte tendría que pagar al banco “A” la tasa TIIE 28[33].

Por otro lado, se supone que el banco “B” con intenciones de entrar en un swap de tasa flotante por tasa fija al $6x1$. El banco “B” le pagaría TIIE 28 a la contraparte mientras que la contraparte pagaría 5.16% al banco “B”[34].

Como se sabe el valor nocional sólo se usa para hacer cálculos de los flujos de efectivo para los swaps. En el ámbito operativo se menciona el nocional en términos de yardas. Una yarda (one yard) es igual a 1000 millones de pesos (nocional) en el mercado mexicano.

Swaps de no mercado

A partir de swaps de mercado se pueden calcular las tasas cero (curva cero) utilizando el método Bootstrapping y así poder valuar cualquier swap que

[33]El banco “A” quiere comprar la tasa fija del 4.99 %, es decir, está dispuesto a pagar esa tasa a la contraparte lo que muestra que está en un Bid. Pidiendo recibir una tasa variable TIIE 28.

[34]El banco “B” quiere vender la tasa fija del 5.16 %, es decir, está dispuesto a recibir esa tasa de la contraparte lo que muestra que está en un offer. Pidiendo pagarle a la contraparte una tasa variable TIIE 28.

no sea de mercado. Si las condiciones de mercado cambian se debe volver a calcular la curva cero.

III.4. Opciones sobre tasas de interés

Las opciones sobre tasas de interés son opciones que dependen de los niveles de las tasas de interés. Son negociadas en los mercados organizados y en los Over the Counter.

En el presente trabajo se mencionan las opciones europeas sobre tasas de interés tales como los swaptions, los caps y floors. Para cada uno de los instrumentos antes mencionados se tiene que la variable clave en el mercado tiene una distribución lognormal como en el modelo de Black and Scholes para opciones europeas sobre acciones.

En las opciones sobre tasas de interés ya no se trata con una variable subyacente como en el caso de acciones sobre activos sencillos sino con varias variables, ya que existe una tasa de interés para cada plazo, y dichas variables tienen interrelaciones complejas.

Los modelos de valoración se dividen en dos familias:

1. *Modelos simples.* Se basan en aproximaciones mediante Black and Scholes.

2. *Modelos complejos.* Intentan capturar explícitamente la complejidad del problema. Estos modelos se pueden dividir en:

    a) Modelos de equilibrio. Éstos pretenden aplicar argumentos económicos para calcular el precio del dinero como función del plazo en un mercado en equilibrio, y así valorar los instrumentos derivados sobre tasas de interés.

    b) Modelo Hull and White. Este modelo es representante de los que no consideran un mercado en equilibrio sino que son consistentes con los precios observados hoy en el mercado, sin permitir arbitraje. Este tipo de modelos sirven como instrumento de interpolación para el cálculo de precios que no se observan en el mercado y permite cubrir sus riesgos en términos de instrumentos existentes.

III.4.1. Clasificación de las opciones sobre tasas de interés

- Se tienen dos tipos de opciones "Over the Counter" sobre tasas de interés:

    1. *Swaptions*. Estas son opciones sobre swaps o bonos.

    2. *Caps o floors*. Opciones sobre el nivel de las tasas de interés a corto plazo.

- En los mercados organizados existen dos clases de opciones de acuerdo en la cual es el futuro subyacente:

    1. Opciones sobre futuros de bonos.

    2. Opciones sobre futuros de LIBOR u otra tasa de interés a corto plazo (TIIE en México).

En la presente tesis, sólo se manejan los swaptions, caps y floors.

III.4.2. Swaptions

Un swaption es una opción sobre un swap de tasa de interés. Dicha opción otorga al poseedor el derecho más no la obligación de efectuar un swap de tasa de interés en un tiempo futuro.

Características de los swaptions

- Los swaptions pueden utilizarse en el mismo tipo de situaciones que las opciones sobre acciones, para proteger carteras contra movimientos adversos, o se pueden vender para generar primas.

- Adicionalmente se usan en financiamiento de proyectos, por ejemplo, si un proyecto a medio o largo plazo conlleva un fuerte riesgo de tasas de interés y cierta incertidumbre acerca de su costo y plazo finales, es frecuente utilizar swaptions junto con swaps para cubrir sus riesgos de tasas de interés. Por ejemplo, se puede utilizar un swap durante los primeros tres años para cubrir el riesgo de las tasas y luego un swaption que dé derecho a extender el swap durante dos años más para cubrir cualquier ampliación, retraso o costo adicional del proyecto.

  Considerar que la compañía HP efectúa un swap a tres años con IBM, en dicho swap IBM se compromete a pagar a HP una tasa de interés fija anual sobre un capital y HP se compromete a pagar a IBM una tasa de interés variable semestralmente sobre el mismo capital, como estrategia, HP buscará pagar a interés fijo en lugar de interés variable. Con determinado precio, HP puede entrar con un swaption que dé el derecho más no la obligación de recibir una tasa de interés variable a seis meses y pagar una tasa de interés fija del 5% anual por un periodo de tres años comenzando en 6 meses. Si la tasa de interés fija intercambiada por la tasa de interés variable en el swap pactado con IBM a tres años es menor que el 5% anual, HP podría escoger no ejercer el swaption[35] y entra sólo con el swap que acordó con IBM. Sin embargo si la tasa fija que recibe en el swap con IBM a tres años es mayor que la tasa fija en el swaption del 5%, entonces ejerce el swaption y así se protege contra el riesgo que implica pagar tasa variable en el swap con IBM y además obtiene una ganancia al recibir una tasa fija mayor a la tasa fija que tiene que pagar al ejercer el swaption.

- Las opciones sobre bonos son swaptions debido a que los swaps y los bonos se valoran de manera idéntica, con la única diferencia al cotizar el strike. Un strike típico para una opción sobre un bono podría ser 102 %

[35]Si ejerciera el swaption pagaría una tasa interés de 5% que es mayor que la tasa fija que recibe del swap que pacto con IBM.

(se cotiza el precio), mientras que para un swaption el strike podría ser de un 10% (se cotiza una tasa de interés contra variable). La conversión entre ambos métodos de cotización se basa en convertir el precio de un bono a su tasa interna de rendimiento (TIR) y así obtener la tasa que se pueda comparar con la tasa de interés swap.

Como se ha manejado, un swap sobre tasa de interés puede considerarse como un acuerdo de intercambio de un bono a tasa fija por un bono a tasa variable. Al inicio del swap el valor del bono a tasa de interés variable siempre es igual al valor nocional del swap. Por lo anterior, un swaption puede considerarse como una opción para intercambiar un bono a tasa de interés fija por la cantidad del principal de swap. Si un swaption da a su propietario el derecho de pagar fijo y recibir variable, es una opción de venta sobre un bono de tasa fija con un precio de ejercicio igual al principal. Si un swaption da a su propietario el derecho a pagar variable y recibir fijo, es una opción de compra sobre el bono a tasa de interés fija con un precio de ejercicio igual al del principal.

Cálculos básicos de los swaptions

La tasa swap para un cierto vencimiento, en un momento determinado, es la tasa de interés fija que se intercambia por la tasa de interés variable en un swap de nueva emisión con ese vencimiento. Para valorar los swaptions se utiliza el modelo que supone que la tasa swap relevante al vencimiento de la opción sigue una distribución lognormal. Sea un swaption en el cual se tiene el derecho a pagar una tasa fija k y recibir la tasa variable k_i sobre un swap con valor nocional F que durará T_n días, con inicio al día T_0 y pagos cada t días. Se supone que la tasa swap para un swap a T_n días es, al vencimiento de la opción sobre el swap, k_{swapS}[36].

Comparando los flujos de efectivo cuando la tasa fija es k_{swapS} con los flujos de efectivo cuando la tasa fija es k, se observa que los pagos emitidos por esta opción son iguales a[37]:

[36]La tasa k y k_{swapS} están expresadas como anuales capitalizables $m = \frac{360}{t}$ veces al año.

[37]Recordar que cada cupón para un bono a tasa fija se calcula como $Fk\frac{t}{360}$.

$$\frac{F}{m} max(k_{swapS} - k, 0)$$

Como se comentó, los flujos de efectivo se reciben cada $m = \frac{360}{t}$ veces por año, durante los $T_n - T_0$ días que dura el swap. T_i está dado en días, donde $i = 1, 2, 3...n$ días de pago; T_0 es el día en que inicia el contrato, T_n es el día de vencimiento del swap y t es el plazo en que se recibe cada pago. Por lo anterior, se describe que $T_i = T_0 + it$ para $i = 1, 2, 3...n$[38]. Cada flujo de efectivo es el pago de una opción de compra sobre k_{swapS} con precio de ejercicio k, se utiliza la fórmula (IV.29) y las tasas k_{swapS} y k son anuales capitalizables $m = \frac{360}{t}$ veces al año, el flujo de efectivo en T_i es:

$$\frac{F}{m} max(k_{swapS} - k, 0)$$

Considerando r_{Ti} es la tasa cupón cero anual capitalizable $\frac{360}{T_i}$ al año y utilizando la fórmula (IV.29), el flujo de efectivo en T_i es:

$$\frac{F}{m} \frac{1}{\left(1 + r_{Ti} \frac{T_i}{360}\right)} [k_{swapS_0} N(d_1) - kN(d_2)]$$

Se observa que el valor actual de la opción es:

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{F}{m} \frac{1}{\left(1 + r_{Ti} \frac{T_i}{360}\right)} [k_{swapS_0} N(d_1) - kN(d_2)]$$

Sea A al valor de un contrato que paga $\frac{1}{m}$ en los momentos T_i, donde $1 \leq \ i \leq \ n$. Este valor está dado por:

$$A = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\left(1 + r_{Ti} \frac{T_i}{360}\right)} \qquad \text{(III.24)}$$

[38]Por ejemplo, si se considera que cada pago es semestral se tiene $t = 182$, por que el primer pago se realiza a los $T_1 = T_0 + 182$, el segundo pago a los $T_2 = T_0 + 182(2)$ y así sucesivamente.

Si $r_{Ti} = r$ es fija:

$$A = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{n} \frac{1}{\left(1 + r\frac{t}{360}\right)^{\frac{T_i}{t}}} \tag{III.25}$$

donde r es la tasa cupón cero anual capitalizable $\frac{360}{t}$ veces al año, r_{Ti} es la tasa cupón cero anual capitalizable $\frac{360}{T_i}$ al año, $m = \frac{360}{t}$ es el número de veces en que se reciben los flujos de efectivo por año, T_i es el tiempo al que se efectúa el pago i.

Por lo tanto, se tiene que el valor de la opción es[39]:

$$P^L_{swaption} = FA[k_{swapS_0} N(d_1) - kN(d_2)] \tag{III.26}$$

donde $P^L_{swaption}$ es el precio del swaption en posición larga, k_{swapS} es la tasa swap anual capitalizable $m = \frac{360}{t}$ veces al año para el vencimiento T_n, k_{swapS_0} es la tasa swap a plazo, F es el valor nocional, A es el valor del contrato, k es la tasa fija anual capitalizable $m = \frac{360}{t}$ veces al año, $N(d_1)$ es el valor de la distribución normal en el punto d_1 y $N(d_2)$ es el valor de la distribución normal en el punto d_2. A continuación se desglosan d_1 y d_2:

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{k_{swapS_0}}{k}) + \sigma^2 \frac{\frac{T_n}{360}}{2}}{\sigma\sqrt{\frac{T_n}{360}}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{\frac{T_n}{360}}$$

donde σ es la volatilidad de k_{swapS} y T_n es el día de vencimiento del swap.

Se supone que la opción otorga al propietario de la opción el derecho de recibir una tasa fija k en lugar de pagarla, el pago de la opción es:

[39] Recordar que una posición larga en una opción significa comprar el activo subyacente y la posición corta significa vender el activo subyacente. Si se ve como nuestro subyacente a la tasa swap se puede identificar en qué posición se tiene el valor del swaption.

$$\frac{F}{m}max(k - k_{swapS}, 0)$$

Lo anterior representa una opción de venta sobre k_{swapS}, en la cual se reciben pagos en T_i, donde $1 \leq i \leq n$. La fórmula (IV.30) permite determinar que el valor del swaption es:

$$P^C_{swaption} = FA[kN(-d_2) - k_{swapS_0}N(-d_1)] \qquad \text{(III.27)}$$

donde $P^C_{swaption}$ es el precio del swaption en posición corta, k_{swapS} es la tasa swap anual capitalizable $m = \frac{360}{t}$ veces al año para el vencimiento T_n, k_{swapS_0} es la tasa swap a plazo, F es el valor nocional, k es la tasa fija anual capitalizable $m = \frac{360}{t}$ veces al año, A es el valor del contrato, $N(-d_1)$ es el valor de la distribución normal en el punto $-d_1$ y $N(-d_2)$ es el valor de la distribución normal en el punto $-d_2$. A continuación se desglosan d_1 y d_2:

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{k_{swapS_0}}{k}) + \sigma^2 \frac{\frac{T_n}{360}}{2}}{\sigma\sqrt{\frac{T_n}{360}}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma\sqrt{\frac{T_n}{360}}$$

donde σ es la volatilidad de k_{swapS} y T_n es el día de vencimiento del swap.

Ahora, se consideran k_{swapSc} y k_c como tasas compuestas continuas:

$$\frac{F}{m}max(k_{swapSc} - k_c, 0)$$

Considerando $r_{c_{Ti}}$ la tasa cero anual compuesta continua y se utiliza la fórmula (IV.29), el flujo de efectivo en T_i es:

$$\frac{F}{m}e^{\frac{-r_{c_{Ti}}T_i}{360}}[k_{swapSc_0}N(d_1) - k_cN(d_2)]$$

Se observa que el valor actual de la opción es:

$$\sum_{i=1}^{n} \frac{F}{m} e^{\frac{-r_{c_{Ti}} T_i}{360}} [k_{swapSc_0} N(d_1) - k_c N(d_2)]$$

Sea A al valor de un contrato que paga $\frac{1}{m}$ en los momentos T_i, donde $1 \leq\ i \leq\ n$. Este valor esta dado por:

$$A = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^{n} e^{\frac{-r_{c_{Ti}} T_i}{360}} \tag{III.28}$$

donde $r_{c_{Ti}}$ es la tasa cupón cero compuesta continua para un vencimiento T_i, $m = \frac{360}{t}$ es el número de veces en que se reciben los flujos de efectivo por año y T_i es el tiempo al que se efectúa el pago i.

Por lo tanto, se tiene que el valor de la opción es:

$$P^{L}_{swaptionc} = FA[k_{swapSc_0} N(d_1) - k_c N(d_2)] \tag{III.29}$$

donde $P^{L}_{swaptionc}$ es el precio del swaption en posición larga cuando las tasas son compuestas continuas, k_{swapSc} es la tasa swap anual compuesta continua para el vencimiento T_n, k_{swapSc_0} es la tasa swap compuesta continua a plazo, F es el valor nocional, k_c es la tasa fija compuesta continua, A es le valor del contrato, $N(d_1)$ es el valor de la distribución normal en el punto d_1 y $N(d_2)$ es el valor de la distribución normal en el punto d_2. A continuación se desglosan d_1 y d_2:

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{k_{swapSc_0}}{k_c}) + \sigma^2 \frac{\frac{T_n}{360}}{2}}{\sigma \sqrt{\frac{T_n}{360}}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{\frac{T_n}{360}}$$

donde σ es la volatilidad de k_{swapSc} y T_n es el día de vencimiento del swap.

Se supone que la opción otorga al propietario de la opción el derecho de recibir una tasa fija k_c en lugar de pagarla, el pago de la opción es:

$$\frac{F}{m} max(k_c - k_{swapSc}, 0)$$

Lo anterior representa una opción de venta sobre k_{swapSc}, en el cual se reciben pagos en T_i, donde $1 \leq i \leq n$. La fórmula (IV.30) permite determinar que el valor del swaption es:

$$P^C_{swaptionc} = FA[k_c N(-d_2) - k_{swapSc0} N(-d_1)] \quad \text{(III.30)}$$

donde $P^C_{swaptionc}$ es el precio del swaption en posición corta cuando las tasas son compuestas continuas, k_{swapSc} es la tasa swap anual compuesta continua para el vencimiento T_n, $k_{swapSc0}$ es la tasa swap compuesta continua a plazo, F es el valor nocional, k_c es la tasa fija compuesta continua, A es el valor del contrato, $N(-d_1)$ es el valor de la distribución normal en el punto $-d_1$, $N(-d_2)$ es el valor de la distribución normal en el punto $-d_2$. A continuación se desglosan d_1 y d_2:

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{k_{swapSc0}}{k_c}) + \sigma^2 \frac{\frac{T_n}{360}}{2}}{\sigma \sqrt{\frac{T_n}{360}}}$$

$$d_2 = d_1 - \sigma \sqrt{\frac{T_n}{360}}$$

donde σ es la volatilidad de k_{swapSc} y T_n es el día de vencimiento del swap.

Ejemplo

Se supone que la curva de la TIIE de tasas de interés es plana al 6.09% anual capitalizable cada 182 días. Ahora, considerar un swaption que da al

i	T_i (días)	$\frac{1}{\left(1+0.0609\frac{182}{360}\right)^{\frac{T_i}{182}}}$
1	2002	0.7164
2	2184	0.6950
3	2366	0.6742
4	2548	0.6541
5	2730	0.6345
6	2912	0.6156

Tabla III.12. Cálculo de factores de descuento para el ejemplo del swaption.

propietario el derecho a pagar una tasa fija del 6.2% efectivo a 182 días, en un swap a 1092 días comenzando dentro de 1820 días. La volatilidad para la tasa swap es del 20%. Los pagos se efectúan cada 182 días y el principal es de 100 pesos. Se usa la ecuación (III.26) y la tabla (III.12):

El valor de A es:

$$A = \frac{182}{360}\sum_{i=1}^{6}\frac{1}{\left(1+0.0609\frac{182}{360}\right)^{\frac{T_i}{182}}} = 2.0170$$

Se supone que $k_{swapS_0} = 0.061$ y se sabe que $k = 0.062$, $T_6 = 2912$ y $\sigma = 0.2$

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{0.061}{0.062}) + (0.2)^2\frac{2912}{2(360)}}{(0.2)\sqrt{\frac{2912}{360}}} = 0.2558$$

$$d_2 = d_1 - (0.2)\sqrt{\frac{2912}{360}} = -0.313$$

Como se aprecia, se tiene un swaption en posición larga y por lo tanto:

$$
\begin{aligned}
P^{L}_{swaption} &= 100(2.0170)[0.061N(-(-0.313)) - 0.062N(-(0.2558))] \\
&= 100(2.0170)[(0.061)N(0.313) - 0.062N(-(0.2558))] \\
&= 100(2.0170)[(0.061)(0.6217) - 0.062(0.4013)] = 2.6308
\end{aligned}
$$

Se toman los valores de la tabla de distribución normal:

$$
\begin{aligned}
N(0.313) &= N(0.31) + 0.003(N(0.32) - N(0.31)) \\
&= 0.6217 + 0.003(0.6255 - 0.6217) = 0.6217
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
N(-0.2558) &= N(-0.25) - 0.0058(N(-0.25) - N(-0.26)) \\
&= 0.4013 - 0.0058(0.4013 - 0.3974) = 0.4013
\end{aligned}
$$

Los swaptions en México

Un swaption es una opción sobre un swap de tasa de interés. A continuación se describen los tipos de swaptions que se manejan en México:

- *Callable swaps:* este tipo de swaps incluyen una opción call (opción de compra). Cuando se utilizan con los swaps de tasas de interés, la opción call otorga a quien paga tasa fija (el receptor de tasa flotante) el derecho más no la obligación de terminar el swap antes de su vencimiento. Por ejemplo, si un swap de tasa fija por variable tiene una opción call a 4.5% para ejercerla antes del 1º de enero de 2011, significa que para quien cubre tasa fija, la posibilidad de terminar el swap si la tasa variable se sitúa en o por debajo de 4.5% antes de dicha fecha. Por lo tanto, el que paga la tasa fija paga por la opción call, mientras quien queda obligado a pagar tasa variable contrata un swap de tasa fija a variable en mejores términos.

- *Putable swaps:* este tipo de swaps incluyen una opción put (opción de venta). Cuando se utilizan un swap de tasa de interés fija por variable, la opción put permite a quien paga tasa variable terminar el swap antes de su vencimiento. Por ejemplo, un putable swap de tasa fija por variable a 4% antes del 1º de enero de 2011 permite, a quien paga tasa variable, terminar el swap si la tasa se sitúa en o por encima de 4% antes de esa fecha. Por lo tanto, quien paga tasa de interés variable debe cubrir un precio por este derecho, mientras que el swap resulta más barato para quien paga tasa fija.

- *Rate capped swaps:* también se le conoce como swaps con tasa tope y son similares a los putable swaps debido a que también ofrecen protección a quien paga la tasa de interés variable. Estos swaps son una serie de opciones put (opción de venta). Por ejemplo, un rate capped swap al 4% no permite, a quien paga tasa variable, terminar el swap si la tasa se eleva por encima del 8%. Sólo es una garantía para no pagar más del 8%, sin importar cuánto suban las tasas.

- *Mini-max swaps:* este tipo de swaps establecen un mínimo y un máximo en la tasa variable por pagarse. Por ejemplo, un mini-max swap de 4% a 4.5% establece una tasa variable mínima de 4% y una máxima de 4.5%. Por lo tanto, si las tasas caen a 3%, quien paga tasa flotante pagará 4% y por otro lado si las tasas se elevan por encima de 6% sólo pagará 4.5%. Esto equivale a haber comprado una serie de opciones put y haber vendido una serie de opeciones call.

- *Extendable swaps:* a este tipo de swaps también se les conoce como swaps con plazo extendible y permiten a una de las partes contratantes extender la vida del swap por un cierto periodo después de su vencimiento. Por un lado, quien paga tasa variable deseará extender un swap si las tasas de interés bajan y se espera continúen con esta tendencia. Mientras que por otra parte, quien paga tasa fija podría desear extender el swap si las tasas de interés suben, pues continuaría pagando la tasa fija y recibiría una tasa variable más alta. Entonces, cualquiera de las partes con derecho a extender el swap debe compensar a la otra y por lo general entregar una comisión adicional al ejercerlo.

III.4.3. Caps

Un cap de tasa de interés es diseñando para proporcionar un seguro contra una subida de la tasa variable por encima de un cierto nivel, este nivel es conocido como *tasa cap*. El periodo entre reajuste se le llama *tenor*.

En otras palabras, un cap (techo) ofrecido por alguna institución financiera (bancos) es un instrumento de administración del riesgo de las tasas de interés a mediano y largo plazo, el cual permite a los directivos financieros en las empresas, protegerse contra las alzas en las tasas de interés variables, con dicho instrumento el comprador limita su exposición al riesgo contra las tasas variables, poniéndole un límite o fijando la tasa de interés. Al tratarse de una opción, el directivo de finanzas es el comprador del cap y la institución bancaria es la vendedora, el comprador tiene que pagar una prima para garantizar que la carga financiera de los intereses no sobrepasa un límite establecido en el contrato. Por lo general este tipo de primas suelen ser algo caras, debido a que si la tasa de interés sobrepasa el límite establecido, el banco o vendedor reembolsa al comprador el diferencial de la tasa variable con el de la tasa cap (cap rate) fijada en el contrato.

Observar la figura (III.2) para comprender mejor un cap, donde la tasa cap es del 7% y el comprador del cap recibe dinero del vendedor para el periodo de tiempo donde las tasas revisables sobrepasan la tasa cap.

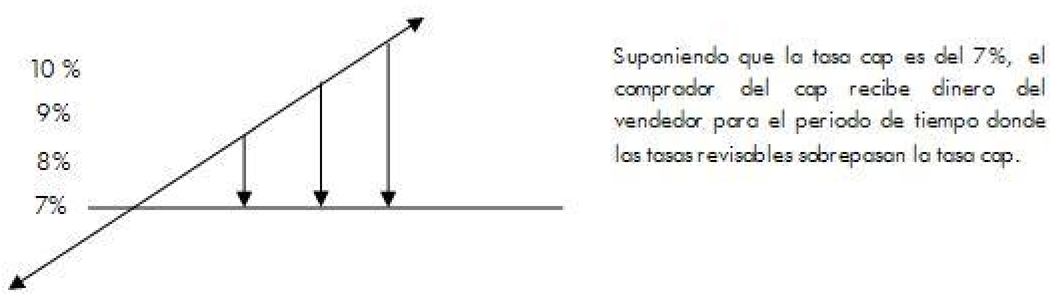


Figura III.2. Estructura de un cap.

Características de los caps

Las características de un cap de tasas de interés se mencionan a continuación:

- Tasas de interés de referencia: Las tasas para referenciar el contrato pueden ser la LIBOR, la TIIE, etc.

- Vencimiento: El vencimiento de los caps puede ser de 3 meses hasta uno o más años dependiendo de la necesidad del cliente.

- Frecuencia: Es el periodo de comparación entre la tasa de interés vigente y la pactada en el cap para determinar la cantidad a pagar o el diferencial, el cual puede ir desde uno, tres, seis meses, o incluso años. Hay que mencionar que si la frecuencia es por ejemplo: cada tres meses, suponer que hoy toca revisar el diferencial de tasas y el resultado para liquidar, sea para uno o para otro, tiene lugar dentro de tres meses no el día de hoy, aunque desde hoy conocen ambas partes la cantidad que le toca pagar o recibir según sea el caso.

- Tasa de interés cap: Es la tasa de interés de ejercicio de la opción que aunque suele ser fija, puede variar a lo largo del tiempo de una manera predeterminada.

- Principal teórico: Es la cantidad teórica sobre la cual se va a realizar el contrato, puede ser fija o variar a lo largo del tiempo.

- Prima: Ésta es pagada al inicio del contrato y solo se paga una vez, cabe aclarar que entre más cercana sea la tasa cap a la tasa de referencia en el contrato, más cara será la prima por el poco margen de maniobra que hay entre las tasas, además entre mayor sea el tiempo que dure el contrato será más cara la prima.

Cálculos básicos de los caps

Antes de aprender a valuar los caps, se ilustra el funcionamiento de un cap mediante el siguiente ejemplo.

Ejemplo:

Se supone que el principal es de $100,000.00, el tenor de 3 meses, la vida del cap es de 2 años y la tasa cap es de 3%[40].

Suponer que en una fecha de ajuste la tasa de interés LIBOR es de 4% a tres meses, por lo que los interés en tres meses a tasa variable a pagar son:

$$(0.25)(0.04)(100,000.00) = 1,000.00$$

Con una tasa LIBOR a tres meses de 3%, los intereses son:

$$(0.25)(0.03)(100,000) = 750$$

Por lo tanto, el cap provee un pago de:

$$\text{payoff} = 1000 - 750 = 250$$

Lo anterior muestra que el pago no ocurre en la fecha de reajuste que es cuando se observa el 4%, ocurre tres meses después. Esto refleja la demora usual entre la tasa de interés observada y el pago correspondiente requerido.

En el ejemplo, como el cap tiene una duración de 2 años, hay 7 fechas de reajuste:

$$0.25, 0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75$$

Y 7 pagos potenciales en las fechas:

$$0.50, 0.75, 1.00, 1.25, 1.50, 1.75, 2.00$$

[40] Como el tenor es de tres meses, la tasa cap se expresa compuesta trimestral.

El cap como un portafolio de opciones sobre tasas de interés

Un cap es un portafolio de n opciones de compra (call), a dichas opciones se les conoce como *caplets*. Se considera un cap con una vida de T, un principal de L y una tasa cap R_K. Se supone que las fechas de reajuste son $t_1, t_2, ..., t_n$ y se define $t_{n+1} = T$. Sea R_M la tasa de interés para el periodo de tiempo entre t_M y t_{M+1} observado en el tiempo t_M donde $1 \leq M \leq n$. El caplet produce un payoff al tiempo t_{M+1}, donde $M = 1, 2, ..., n$, de:

$$payoff_{caplet} = L\delta_M \max(R_M - R_K, 0) \tag{III.31}$$

donde $\delta_M = t_{M+1} - t_M$. La ecuación (III.31) es una opción de compra sobre la tasa LIBOR observada al tiempo t_M con su payoff al tiempo t_{M+1}.

Por lo que el payoff del cap puede verse como:

$$payoff_{cap} = \sum_{i=1}^{n} L\delta_{Mi} \max(R_{Mi} - R_K, 0) \tag{III.32}$$

donde $payoff_{cap}$ es el pago del cap a su fecha de vencimiento, L es el principal, δ_{Mi} es el periodo de tiempo entre t_{Mi} y t_{M_i+1}, es decir, $\delta_{Mi} = \; t_{M_i+1} - t_{Mi}$, R_{Mi} es la tasa de interés revisada para el periodo de tiempo entre t_{Mi} y t_{M_i+1} observado en el tiempo t_{Mi} donde $1 \leq M_i \leq n$ y R_K es la tasa cap.

Si se asume que la tasa R_M es lognormal con volatilidad δ_M, usando la ecuación (IV.29) y (III.31) se obtiene el valor del caplet:

$$Valor_{caplet} = L\delta_M P(0, t_{M+1})[F_M N(d_1) - R_K N(d_2)] \tag{III.33}$$

donde $P(0, t_{M+1})$ es el precio al tiempo 0 de un bono cupón cero que paga \$1 al tiempo t_{M+1}, F_M es la tasa forward para el periodo entre t_M y t_{M+1}

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{F_M}{R_K}) + \frac{\sigma_M^2 t_M}{2}}{\sigma_M \sqrt{t_M}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(\frac{F_M}{R_K}) - \frac{\sigma_M^2 t_M}{2}}{\sigma_M \sqrt{t_M}} = d_1 - \sigma_M \sqrt{t_M}.$$

Generalizando la ecuación (III.33) se obtiene el valor del cap:

$$Valor_{cap} = \sum_{i=1}^{n} L\delta_{Mi} P(0, t_{M_i+1})[F_{Mi} N(d_1) - R_K N(d_2)] \tag{III.34}$$

donde $Valor_{cap}$ es el valor del cap, L es el principal, δ_{Mi} es el periodo de tiempo entre t_{Mi} y t_{M_i+1}, es decir, $\delta_{Mi} = t_{M_i+1} - t_{Mi}$, $P(0, t_{M_i+1})$ es el precio al tiempo 0 de un bono cupón cero que paga \$1 al tiempo t_{M_i+1}, F_{Mi} es la tasa forward para el periodo entre t_{Mi} y t_{M_i+1}, R_K es la tasa cap, $N(d_1)$ es el valor de la distribución normal en el punto d_1, $N(d_2)$ es el valor de la distribución normal en el punto d_2,

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{F_{Mi}}{R_K}) + \frac{\sigma_{M_i}^2 t_{M_i}}{2}}{\sigma_{M_i} \sqrt{t_{M_i}}},$$

$$d_2 = \frac{\ln(\frac{F_{Mi}}{R_K}) - \frac{\sigma_{M_i}^2 t_{M_i}}{2}}{\sigma_{M_i} \sqrt{t_{M_i}}} = d_1 - \sigma_{M_i} \sqrt{t_{M_i}}$$

y σ_{M_i} es la volatilidad en M_i.

Ejemplo:

Se considera un contrato de caps sobre \$10,000.00 con una tasa de interés LIBOR del 8% anual (compuesta trimestralmente) por un plazo de 3 meses, empezando en el primer año. Es decir, un caplet puede ser un elemento de un cap. Se supone que la curva cero LIBOR-swap es plana al 7% anual con composición trimestral y con volatilidad sobre la tasa forward del 20% anual por un plazo de 3 meses en el caplet. La tasa cero compuesta continua para todas las maduraciones es 6.9394%. Usando la ecuación (III.33) se obtiene:

Se tiene que $F_M = 0.07$, $\delta_M = 0.25$, $L = 10000$, $R_M = 0.08$, $t_M = 1$, $t_{M+1} = 1.25$, $P(0, t_{M+1}) = e^{(-0.069394)(1.25)}$, $\sigma_M = 0.20$, $d_1 = \frac{\ln(\frac{0.07}{0.08}) + \frac{0.2^2}{2}}{(0.20)(1)} = -0.5677$ y $d_2 = d_1 - 0.20 = -0.7677$.

Por lo que el precio del caplet es:

$$(0.25)(10000)(0.9)[0.07N(-0.5677) - 0.08N(-0.7677)] = \$5.16$$

Un cap como un portafolio de opciones sobre bonos

Una tasa de interés cap puede caracterizarse como un portafolio de opciones de venta (put) sobre bonos cupón cero con payoffs de las puts correspondientes en el tiempo que son calculadas. Por lo que el payoff de la ecuación (III.31) al tiempo t_{M+1} es equivalente a:

$$\begin{aligned} payoff_{caplet} &= \frac{L\delta_M}{1 + R_M\delta_M} \max(R_M - R_K, 0) \\ &= \max\left[L - \frac{L(1 + R_K\delta_M)}{1 + R_M\delta_M}, 0\right] \end{aligned} \tag{III.35}$$

al tiempo t_M.

Donde la expresión:

$$\frac{L(1 + R_K\delta_M)}{1 + R_M\delta_M}$$

es el valor al tiempo t_M de un bono cupón cero que tiene un payoff de $L(1 + R_K\delta_M)$ al tiempo t_{M+1}. Por lo tanto, la fórmula (III.35) es el payoff de una opción put con vencimiento t_M sobre un bono cupón cero con vencimiento t_{M+1} cuando el valor de carátula del bono es $L(1 + R_K\delta_M)$ y el precio strike es L. Por lo anterior, se sigue que una tasa de interés cap puede ser observada como un portafolio de opciones puts europeas sobre bonos cupón cero.

Generalizando la fórmula (III.35), se obtiene:

$$payoff_{cap} = \sum_{i=1}^{n} \text{máx}\left[L - \frac{L(1 + R_K\delta_{Mi})}{1 + R_{Mi}\delta_{Mi}}, 0\right] \qquad \text{(III.36)}$$

donde $payoff_{cap}$ es el pago del cap a su fecha de vencimiento, L es el principal, δ_{Mi} es el periodo de tiempo entre t_{Mi} y t_{M_i+1}, es decir, $\delta_{Mi} = t_{M_i+1} - t_{Mi}$, R_{Mi} es la tasa de interés revisada para el periodo de tiempo entre t_{Mi} y t_{M_i+1} observado en el tiempo t_{Mi} donde $1 \leq M_i \leq n$ y R_K es la tasa cap.

III.4.4. Floors

Esta opción es lo opuesto al contrato cap que se estudio anteriormente, dicho contrato protege a un inversionista contra la baja en las tasa de interés. Como su nombre lo indica, un floor (piso) es ponerle un límite a la caída de las tasas de interés.

Se nota las diferencias entre los caps y floor en los puntos que se mencionan a continuación:

- El cap está dirigido especialmente para deudores o personas que desean contraer un crédito pero dadas las condiciones del mercado sólo están disponibles a tasas variables. El floor está dirigido a los inversionistas, o simplemente a las personas que buscan el mayor rendimiento para su dinero. De ahí que con el floor, se puede prever o pronosticar una futura caída en las tasas de interés, lo que ocasionaría obtener un menor ingreso por su dinero.

- Al igual que el cap, en el floor, el inversionista es el comprador del contrato y el banco o institución bancaria el vendedor de la opción floor, el cual recibe una prima por parte del inversionista por el derecho de garantizar en el caso de una caída en las tasas de interés, un nivel óptimo o tasa limite hacia la baja o sea que no caiga del todo sino hasta cierto límite. En caso de exceder el límite establecido en el contrato o caer de más las tasas de interés; el banco tiene que pagar el diferencial de ambas tasas al inversionista, pero en una fecha futura según la frecuencia del contrato, pero desde hoy se conoce la cantidad a pagar.

Ahora se visualiza la figura (III.3) para entender el funcionamiento de un floor, donde la tasa floor es del 7% y el comprador del floor recibe dinero del vendedor para el periodo de tiempo donde las tasas revisables están por debajo de la tasa floor.

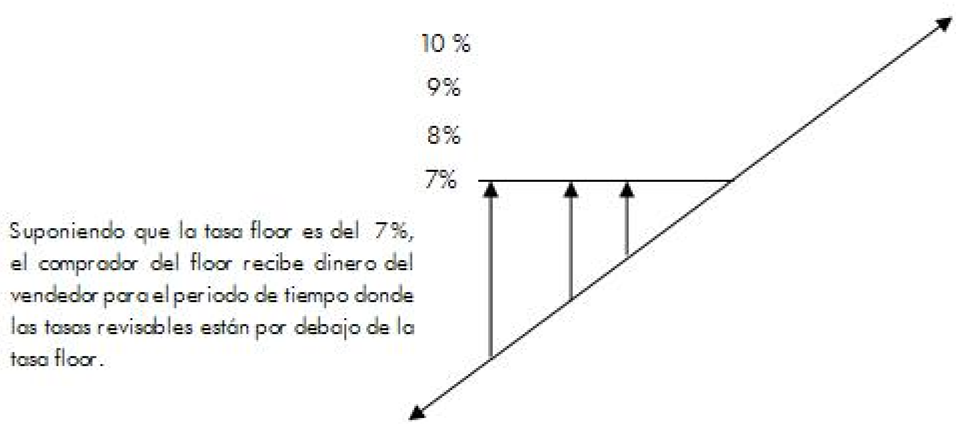


Figura III.3. Estructura de un floor.

Características de los floors

Las características de un floor de tasas de interés se mencionan a continuación:

- Tasas de interés de referencia: Las tasas para referenciar el contrato floor pueden ser la TIIE, la LIBOR, etc.

- Vencimiento: El vencimiento de los floors puede ser de 3 meses hasta uno o más años dependiendo de la necesidad del cliente.

- Frecuencia: Es el periodo de comparación entre la tasa de interés vigente y la pactada en el floor para determinar la cantidad a pagar o el diferencial, el cual puede ir desde uno, tres, seis meses, o incluso años. Hay que mencionar que si la frecuencia es por ejemplo: cada tres meses, suponer que hoy toca revisar el diferencial de tasas y el resultado para liquidar, sea para uno o para otro, tiene lugar dentro de tres meses no el día de hoy, aunque desde hoy conocen ambas partes la cantidad que le toca pagar o recibir según sea el caso.

- Tasa de interés floor: Es la tasa de interés de ejercicio de la opción que aunque suele ser fijo, puede variar a lo largo del tiempo de una manera predeterminada.

- Principal teórico: Es la cantidad teórica sobre la cual se va a realizar el contrato, puede ser fija o variar a lo largo del tiempo.

- Prima: Ésta es pagada al inicio del contrato y solo se paga una vez, cabe aclarar que entre más cercana sea la tasa floor a la tasa de referencia en el contrato, más cara será la prima por el poco margen de maniobra que hay entre las tasas, además entre mayor sea el tiempo que dure el contrato es más cara la prima.

Cálculos básicos de los floors

La tasa de interés floor y la tasa de interés collar se definen de forma análoga a la tasa de interés cap. Un floor genera un payoff, la tasa de interés sobre el contrato subyacente a tasa variable cae por debajo de una cierta tasa. Un floor provee un payoff al tiempo t_{M+1}, donde $M = 1, 2, ..., n$, de:

$$payoff_{floorlet} = L\delta_M \max(R_K - R_M, 0) \tag{III.37}$$

Una tasa de interés floor es un portafolio de opciones puts de tasas de interés o un portafolio de opciones call sobre bonos cupón cero. A cada una de las opciones individuales incluidas en un floor se les conoce como *floorlet*.

Por lo que el payoff del flor esta dado por la siguiente ecuación:

$$payoff_{floor} = \sum_{i=1}^{n} L\delta_{Mi} \max(R_K - R_{M_i}, 0) \qquad \text{(III.38)}$$

donde $payoff_{floor}$ es el pago del floor a su fecha de vencimiento, L es el principal, δ_{Mi} es el periodo de tiempo entre t_{Mi} y t_{M_i+1}, es decir, $\delta_{Mi} = t_{M_i+1} - t_{Mi}$, R_K es la tasa cap, R_{Mi} es la tasa de interés revisada para el periodo de tiempo entre t_{Mi} y t_{M_i+1} observado en el tiempo t_{Mi} donde $1 \leq M_i \leq n$.

Un *collar* es un instrumento diseñado para garantizar que la tasa de interés del contrato subyacente a tasa variable siempre este entre los dos niveles. Un collar es una combinación de una posición larga en un cap y una posición corta en un floor. Usualmente se construye de forma que el precio del cap es inicialmente igual al precio de un floor. Por lo que, el costo de entrada del collar es cero.

Por lo anterior, entonces se cumple la paridad put-call[41] entre los precios de los caps y floors. Esto es,

$$\text{Valor del cap} = \text{Valor del floor} + \text{Valor del swap} \qquad \text{(III.39)}$$

En esta relación el cap y el floor tienen el mismo precio strike, R_K. El swap es un contrato para recibir tasa variable (LIBOR o TIIE) y pagar tasa fija R_K, sin intercambio de pagos en la primera fecha de ajuste. Los tres instrumentos tienen la misma vida y la misma frecuencia de pagos.

Se demuestra el resultado, considerar una posición larga del cap combinada con una posición corta del floor y sea T_{var} la tasa variable. El cap provee un flujo de efectivo de:

[41] Para mayor detalle entre la paridad put-call ver Anexos.

$$T_{var} - R_K, \text{ para periodos cuando } T_{var} \text{ es mayor que } R_K$$

El floor corto provee un flujo de efectivo de:

$$-(R_K - T_{var}) = T_{var} - R_K, \text{ para periodos cuando } T_{var} \text{ es menor que } R_K$$

Por la definición de swap, la expresión $T_{var} - R_K$ es el flujo de efectivo del swap, por lo que el valor del cap menos el valor del floor debe ser igual al valor del swap y la igualdad (III.39) se cumple$\square$.

Si se asume que la tasa R_M es lognormal con volatilidad δ_M, usando la ecuación (IV.29) y (III.37) se obteniene el valor del floorlet:

$$Valor_{floorlet} = L\delta_M P(0, t_{M+1})[R_K N(-d_2) - F_M N(-d_1)] \qquad \text{(III.40)}$$

donde $P(0, t_{M+1})$ es el precio al tiempo 0 de un bono cupón cero que paga \$1 al tiempo t_{M+1}, F_M es la tasa forward para el periodo entre t_M y t_{M+1},

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{F_M}{R_K}) + \frac{\sigma_M^2 t_M}{2}}{\sigma_M \sqrt{t_M}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(\frac{F_M}{R_K}) - \frac{\sigma_M^2 t_M}{2}}{\sigma_M \sqrt{t_M}} = d_1 - \sigma_M \sqrt{t_M}.$$

Generalizando la ecuación (III.40) se obteniene el valor del floor:

$$Valor_{floor} = \sum_{i=1}^{n} L\delta_{M_i} P(0, t_{M_i+1})[R_K N(-d_2) - F_{Mi} N(-d_1)] \qquad \text{(III.41)}$$

donde $Valor_{floor}$ es el valor del floor, L es el principal, δ_{Mi} es el periodo de tiempo entre t_{Mi} y t_{M_i+1}, es decir, $\delta_{Mi} = t_{M_i+1} - t_{Mi}$, $P(0, t_{M_i+1})$ es el precio al tiempo 0 de un bono cupón cero que paga \$1 al tiempo t_{M_i+1}, F_{Mi} es la tasa forward para el periodo entre t_{Mi} y t_{M_i+1}, R_K es la tasa cap, $N(d_1)$ es el valor de la distribución normal en el punto d_1, $N(d_2)$ es el valor de la distribución normal en el punto d_2, $N(-d_1) = 1 - N(d_1)$ y $N(-d_2) = 1 - N(d_2)$. A continuación se desglosan d_1 y d_2:

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{F_{Mi}}{R_K}) + \frac{\sigma_{M_i}^2 t_{M_i}}{2}}{\sigma_{M_i}\sqrt{t_{M_i}}},$$

$$d_2 = \frac{\ln(\frac{F_{Mi}}{R_K}) - \frac{\sigma_{M_i}^2 t_{M_i}}{2}}{\sigma_{M_i}\sqrt{t_{M_i}}} = d_1 - \sigma_{M_i}\sqrt{t_{M_i}}$$

donde σ_{M_i} es la volatilidad en M_i.

III.4.5. Los caps y floors en México

Actualmente, varias empresas, entre ellas bancos han identificado un incremento en la demanda de los clientes (gobiernos y municipios, principalmente) de productos que les permitan alcanzar sus metas de protección y seguridad sobre los flujos de efectivo derivados de las operaciones de crédito. Al referirse a seguridad se persigue evitar las afectaciones a los flujos de los clientes por las variaciones en las tasas nacionales y/o extranjeras.

Como se estudió en el tema anterior, uno de los instrumentos que permite que el cliente se cubra frente a las variaciones de las tasas ya sea nacional o extranjera es el “cap & floor”, que en esencia son opciones que permiten establecer un límite superior o inferior, en las tasas de interés denominadas en pesos o en divisas como los dólares o euros.

En un instrumento derivado como “cap & floor”, el cliente adquiere una opción de tasas de interés con la finalidad de establecer límites superiores e inferiores del subyacente durante un plazo determinado, para cubrirse de las fluctuaciones existentes de las tasas de interés.

Se sabe que un cap y floor son dos distintos tipos de opciones sobre tasas de interés que definen de la siguiente manera:

- *Cap o "techo" de tasa de interés*: Operación de opciones o caplets donde el comprador recibe el beneficio, si la tasa de interés asciende por arriba de un tope o techo en las tasas, a cambio debe pagar una prima o precio por este aseguramiento.

- *Floor o "piso" de tasa de interés*: Operación inversa al cap, formada por opciones o floorlets, donde el comprador recibe el beneficio si la tasa de interés desciende por debajo de un límite mínimo, a cambio debe pagar una prima o precio por este aseguramiento.

Para entender un poco más el comportamiento de un cap y un floor, se observa la figura (III.4).

Figura III.4. Tendencia de las tasas (cap & floor).

Los bancos pueden implementar la funcionalidad de operar caps & floors a través de algún sistema.

La funcionalidad que debe considerar un banco con respecto a las operaciones de caps & floors, se divide en varios módulos como se ve en la tabla (III.13).

Características de las opciones de caps & floors en los bancos

Sistema	Producto	Subyacente	Funcionalidad
Sistema X	Cap & floor	Tasa de interés TIIE 28, 91 o LIBOR 1, 3 y 6 meses	Registro contable
			Valuación mediante el modelo Black 76
			Cálculo de medidas de riesgo (delta, gamma, vega, theta y rho)
			Manejo de las líneas de crédito
			Reportes Banxico
			Módulo de cartas confirmación
			Módulo de carga de insumos

Tabla III.13. Módulos para operar caps & floors en un banco.

Tipo de derecho:

- Calls: Derecho de compra.
- Puts: Derecho de venta.

Tipo de posiciones:

- Larga
- Corta

Tipo de ejercicio:

- Europeas.

Subyacente:

- TIIE 28 y 91 días.

- Libor 1 mes.
- Libor 3 meses.
- Libor 6 meses.

Modelo de comportamiento del precio del subyacente, precio acordado y plazo de la opción:

- Plain Vanilla.

Mercado de negociación:

- Over The Counter

Un cap está formado por una serie consecutiva de opciones de tasa de interés denominadas "caplets", que establecen un límite superior en la tasa de interés de referencia.

Un floor está formado por una serie consecutiva de opciones de tasas de interés denominadas "floorlets", que establecen un límite inferior en las tasa de interés de referencia.

La prima que está involucrada en la operación de un cap o un floor es pagada o cobrada al inicio de la operación y en una sola exhibición, para todos los caplets o floorlets. Adicionalmente las opciones revisan tasa al inicio del cupón y los ejercicios se liquidan al vencimiento del mismo. El ejercicio de las operaciones de caps & floor es tipo europeo.

La liquidación de cada uno de los caplets o floorlets, se realiza de acuerdo al calendario de pagos, si la opción se encuentra dentro del dinero, y es definido desde el inicio de la operación, mismo que es informado al cliente mediante la carta confirmación. La carta confirmación permite al cliente verificar las características de la transacción que fue procesada, la generación de la carta confirmación es una regulación de Banco de México.

Las opciones de "caps & floors" pueden manejarse dentro de un crédito comercial, con recursos propios de un banco, para cubrir el riesgo en el comportamiento de las tasas de interés, donde se establece un límite en la tasa de referencia que el cliente se compromete a pagar y en caso de rebasar dicho límite, el producto derivado adjunto cubre el excedente de puntos bases entre la tasa límite y la tasa de mercado. A dicha operación se le conoce como operación implícita. Las operaciones implícitas tienen una valuación de mercado contrarrestando el riesgo del derivado con operaciones internas de $compra - venta$ dentro del banco.

Para administrar la amortización del crédito, es necesario que el banco genere una relación entre la operación del derivado y el crédito.

De manera general, en cualquier banco, se describe el flujo para manejar un cap & floor de la siguiente manera:

1. El ejecutivo (en nombre del cliente) pacta y acuerda las características y condiciones del crédito para pactar la operación con el área de derivados del banco.

2. Un área designada para control recibe el contrato del crédito y registra la tabla de amortización en un sistema dedicado al negocio de crédito.

3. En el área dedicada a manejar la tesorería del banco realiza el pago de la prima de la opción cap & floor.

4. El área de finanzas recibe la notificación del pago de la prima de la opción cap & floor.

5. El sistema dedicado al negocio de derivados se encarga de la administración del producto cap & floor.

6. El sistema de derivados se encarga de generar el calendario de opciones y registra la tabla de amortización del crédito.

7. Se valúan las opciones de caps & floors diariamente hasta su vencimiento para poder detectar las perdidas o ganancias.

8. Al vencimiento se realiza la liquidación de la opción cap & floor.

Se pueden diseñar diferentes estrategias, en función a las expectativas del comportamiento de las tasas de interés. Las estrategias implican posiciones cortas, es decir, la posibilidad de cobrar primas y de abaratar el cap o el floor.

Valuación

El proceso y los módulos que se manejan en cada banco para operar caps & floors son distintos, en este trabajo se describe el uso del Modelo Black & Scholes atribuido a Merton (Black 76), dicho modelo es aplicable exclusivamente a opciones tipo europeas.

Como se mencionó antes el cap está conformado por varios caplets y los floors por varios floorlets, por lo que se define la siguiente forma para valuarlos:

$$VCap = \sum_{i=1}^{n} VCaplet_i$$

$$VFloor = \sum_{i=1}^{n} VFloorlet_i$$

$$VCaplet = \frac{Notional(\frac{PeriodoForward}{360})}{(1 + r_f \frac{PeriodoForward}{360})} e^{-rT}[r_f N(d_1) - XN(d_2)]$$

$$VFloorlet = \frac{Notional(\frac{PeriodoForward}{360})}{(1 + r_f \frac{PeriodoForward}{360})} e^{-rT}[XN(-d_2) - r_f N(-d_1)]$$

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{r_f}{X}) + \sigma^2 \frac{T}{2}}{\sigma\sqrt{T}}$$

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

donde $VCaplet$ es el valor de un caplet, $VFloorlet$ es el valor de un floorlet, $Notional$ es el valor nocional que se establece en cada caplet o floorlet, $PeriodoForward$ es el periodo que se determina para revisar la tasa forward, r_f es la tasa forward en el mercado spot, r es la tasa cero aplicable en T, σ es la volatilidad, X es el precio de ejercicio (strike), T es el vencimiento en años del instrumento (días para el vencimiento divididos por 365), $N(d_1)$ es el valor de la distribución normal en el punto d_1, $N(d_2)$ es el valor de la distribución normal en el punto d_2, $N(-d_1) = 1 - N(d_1)$, $N(-d_2) = 1 - N(d_2)$, $VCap$ es el valor del cap y $VFloor$ es el valor del floor.

Capítulo IV

Metodología RUP para desarrollar un software

En este capítulo se utilizo la experiencia laboral obtenida durante cuatro años en Tecnología de la Información para implementar una aplicación que calcule la curva cero por medio de los bonos que determinan las tasas swaps utilizando el método Bootstrapping. Se inicia con fundamentos teóricos sobre la metodología RUP y posteriormente se ve la parte práctica.

IV.1. Antecedentes del Proceso Unificado de Rational (RUP)

El Proceso Unificado de Rational (RUP) es un proceso de ingeniería de software desarrollado y creado por *Rational Software* (propiedad de IBM). RUP es el resultado de varios años de desarrollo y uso práctico en donde se han unificado técnicas de desarrollo a través de UML (*Unified Modeling Language* en inglés, *Lenguaje Unificado de Modelado* en español) y varias metodologías usadas.

En el año de 1967, Ivar Jacobson elaboró la Metodología Ericsson (*Ericsson Approach*, en inglés). Esta metodología era una aproximación de desarrollo basada en componentes, lo que dio inicio a los casos de uso.

Entre 1987 y 1995 Jacobson creó la compañía Objectory AB y a su vez el proceso de desarrollo Objectory.

En 1995 Rational Software Corporation adquiere Objectory AB. Entre 1995 y 1997 se desarrolla Rational Objectory Process (ROP) a partir del proceso de desarrollo Objectory 3.0 y Enfoque Rational (Rational Approach) adoptando UML como lenguaje de modelado. Desde ese entonces y a la cabeza de Grady Booch, Ivar Jacobson y James Rumbaugh, Rational Software desarrolló e incorporó diversos elementos para expandir ROP, destacándose especialmente el flujo de trabajo conocido como modelado del negocio.

En junio del 1998 se lanza Rational Unified Process (RUP).

IV.2. Proceso Unificado de Rational (RUP)

El RUP (*Rational Unified Process*, en inglés y *Proceso Unificado de Rational*, en español), es un proceso para el desarrollo de un proyecto de software que define claramente *quién*, *cómo*, *cuándo* y *qué* debe hacerse en el proyecto. Además describe todos los artefactos, actividades y roles; proporciona guías e incluye plantillas para la mayoría de los artefactos.

Tiene 6 características esenciales:

1. **Dirigido por los casos de uso**: Que orientan el proyecto a la importancia para el usuario y lo que éste quiere.

2. **Centrado en la arquitectura**: Que relaciona la toma de decisiones que indican cómo tiene que ser construido el sistema y en qué orden.

3. **Es iterativo e incremental**: Donde divide el proyecto en miniproyectos, en el cual los casos de uso y la arquitectura cumplen sus objetivos de manera más depurada.

4. **Desarrollo basado en componentes**: La creación de sistemas intensivos en software requiere dividir el sistema en componentes con interfaces bien definidas que posteriormente serán ensamblados para generar el sistema.

5. **Utilización de un único lenguaje de modelado**: UML (*Unified Modeling Language*, en inglés y *Lenguaje Unificado de Modelado*, en español) es adoptado como único lenguaje de modelado para el desarrollo de todos los modelos.

6. **Proceso integrado**: Se establece una estructura que abarque los ciclos, fases, flujos de trabajo, mitigación de riesgos, control de calidad, gestión del proyecto y control de configuración; el proceso unificado establece una estructura que integra todas estas fases.

IV.2.1. Fases en RUP

RUP se divide en *cuatro fases* dentro de las cuales se realizan varias iteraciones en número variable según el proyecto y en las que se hace un mayor o menor hincapié en las distintas disciplinas:

- **Inicio**: Se hace un plan de fases, se identifican los principales casos de uso y se identifican los riesgos. Se define el alcance del proyecto.

- **Elaboración**: Establecimiento de la línea base para la arquitectura del sistema y proporcionar una base estable para el diseño y el esfuerzo de implementación de la siguiente fase, mitigando la mayoría de los riesgos tecnológicos.

- **Construcción**: Se concentra en la elaboración de un producto totalmente operativo y eficiente y el manual de usuario. Completar el desarrollo del sistema basado en la línea base de la arquitectura.

- **Transición**: Se instala el producto en el cliente y se entrena a los usuarios. Como consecuencia de esto suelen surgir nuevos requisitos a ser analizados.

En cada fase del proyecto existen disciplinas a realizar:

1. **Modelado de negocio**: El objetivo es llegar a un entendimiento de la organización donde se va a implantar el producto.

2. **Requisitos o requerimientos**: En esta actividad se establece *qué* tiene que hacer exactamente el sistema que se construya.

3. **Análisis y diseño**: En esta etapa el objetivo es traducir los requisitos a una especificación que describe *cómo* implementar el sistema.

4. **Implementación**: Aquí se implementan las clases y objetos en ficheros fuente, binarios, ejecutables y demás. Además se deben de hacer las pruebas unitarias.

5. **Pruebas**: En las pruebas se evalúa la calidad del producto que se está desarrollando, éstas se deben ir integrando en todo el ciclo de vida.

6. **Despliegue**: Su objetivo es producir con éxito distribuciones del producto y distribuirlo a los usuarios.

Dentro de las disciplinas de apoyo se tiene:

1. **Administración del proyectos**: El objetivo de esta actividad es completar los objetivos, administrar el riesgo y superar las restricciones para desarrollar un producto que sea acorde a los requisitos de los usuarios.

2. **Administración de configuración y cambios**: El objetivo es mantener la integridad de todos los artefactos que se crean en el proceso, así como conservar la información del proceso evolutivo que se ha seguido.

3. **Entorno o ambiente**: La finalidad de esta actividad es dar soporte al proyecto con las herramientas adecuadas, procesos y métodos.

En la figura (IV.1) se puede observar el ciclo de vida RUP con las distintas disciplinas.

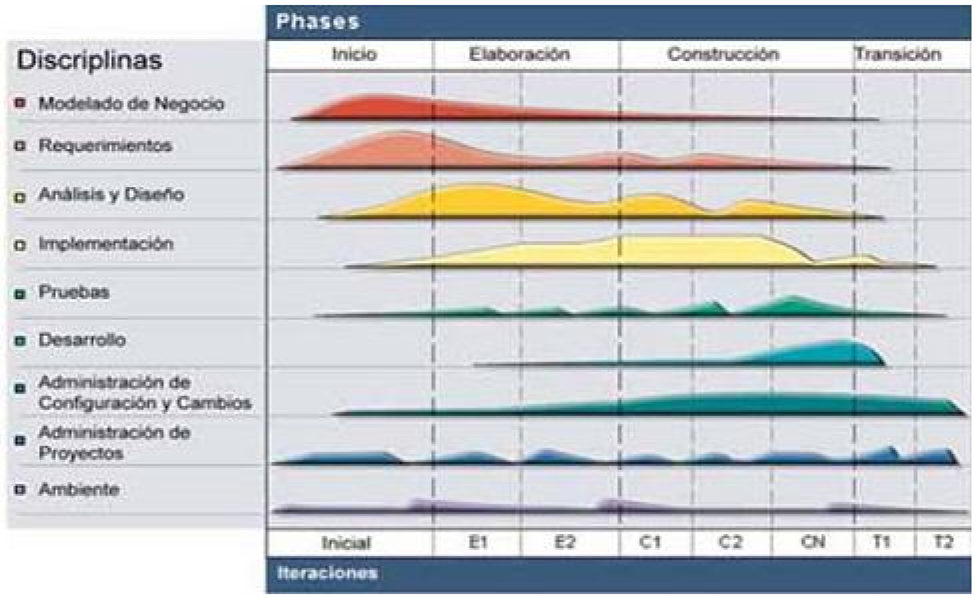


Figura IV.1. Ciclo de vida en RUP.

IV.2.2. Roles en RUP

Los roles que intervienen en cada una de las disciplinas son:

- Analistas:
    - Analista de procesos de negocio
    - Diseñador del negocio
    - Analista de sistema
    - Especificador de requisitos
- Desarrolladores:
    - Arquitecto de software
    - Diseñador

- Diseñador de interfaz de usuario
- Diseñador de cápsulas
- Diseñador de base de datos
- Implementador
- Integrador

- Gestores:
  - Jefe de proyecto
  - Jefe de control de cambios
  - Jefe de configuración
  - Jefe de pruebas
  - Jefe de despliegue
  - Ingeniero de procesos
  - Revisor de gestión del proyecto
  - Gestor de pruebas
- Apoyo:
  - Documentador técnico
  - Administrador de sistema
  - Especialista en herramientas
  - Desarrollador de cursos
  - Artista gráfico

- Especialista en pruebas:
  - Especialista en Pruebas
  - Analista de pruebas
  - Diseñador de pruebas
  - Tester
- Otros roles:
  - Stakeholders
  - Revisor
  - Coordinación de revisiones
  - Revisor técnico

IV.3. Disciplinas de RUP

A continuación se detalla cada disciplina de RUP.

IV.3.1. Modelado de negocio

El modelado de negocio se efectúa para valorar el negocio, en el cual el sistema de información se está construyendo y para determinar mejor las necesidades y problemas a ser resueltos por los sistemas de información.

El modelado de negocio sólo debe ser efectuado si se está cambiando la manera en que se hace el negocio. Si sólo se está añadiendo una nueva característica a un sistema existente no se recomienda utilizar el modelado de negocio.

Utilidad del modelo de negocio

Los modelos del negocio proveen una base para la comunicación entre los analistas de sistemas y los desarrolladores para incrementar su entendimiento del negocio y para identificar oportunidades de mejorar el negocio. También, los gerentes de proyecto usan los modelos del negocio para ayudarse a estimar los costos del proyecto.

Principales actividades de un modelado de negocio

- Entender la estructura y la dinámica de la organización para la cual el sistema va ser desarrollado.
- Entender el problema actual en la organización objetivo e identificar potenciales mejoras.
- Asegurar que el producto sea algo útil, no un obstáculo.
- Conseguir que el producto encaje de la mejor forma posible en la organización.

Para modelar el negocio se utilizan las mismas técnicas que para modelar software. En concreto se tendrán casos de uso de negocio, actores de negocio, etcétera. Los diagramas también tienen su equivalente de negocio.

Un modelo de caso de uso del negocio describe los procesos de negocio de una empresa en términos de casos de uso del negocio y actores del negocio que corresponden con los procesos del negocio y los clientes respectivamente. La técnica de modelado de negocio identifica entidades y trabajadores que participan en la realización de los casos de uso del negocio.

Los trabajadores identificados en el modelo de negocio se utilizan como punto de partida para derivar un primer conjunto de actores y casos de uso del sistema.

Productos

- Reglas de negocio: describe las políticas, normas, operaciones, definiciones y restricciones presentes en una organización y que son de vital importancia para alcanzar los objetivos misionales.

- Modelo de casos de uso de negocio: especifica como se utiliza el negocio por parte de sus clientes y socios. Estos casos de uso del negocio constituyen los procesos del negocio que dan valor a los actores involucrados.

- Modelo de objetos de negocio: Se utiliza para identificar roles dentro de la organización.

IV.3.2. Requerimientos

Esta es la disciplina en la que se establece qué tiene que hacer exactamente el sistema que se construya. En este entendido los requerimientos son el contrato que se debe cumplir, de modo que los usuarios finales tienen que comprender y aceptar los requisitos que se especifiquen.

Los requisitos se dividen en dos grupos: funcionales y no funcionales.

- Los requisitos funcionales son las cosas que el sistema puede hacer, su funcionalidad. Se modelan mediante diagramas de casos de uso.

- Los requisitos no funcionales representan aquellos atributos que debe exhibir el sistema, pero que no son una funcionalidad específica.

Workflow de requerimientos

- Analizar el problema.

- Entender las necesidades del stakeholder.

- Definir el sistema.
- Administrar el alcance del sistema.
- Refinar la definición del sistema.
- Administrar los requerimientos de cambios.

Productos

- **Visión**: El propósito de la visión es reunir, analizar y definir necesidades y características del sistema. Para ello se describe el problema, qué oportunidad para hacer negocio hay y qué lugar en el mercado ocupa el sistema como producto. Dar a conocer a todos los interesados en el sistema y los usuarios finales. Hay que indicar los problemas que cada uno ve que deben ser resueltos.
- **Modelo de casos de uso**: Para cada caso de uso hay que dar una pequeña descripción. A continuación se describe el flujo de eventos del caso: primero se destaca el flujo principal y después vienen los alternativos.
- **Especificaciones suplementarias**: En este producto se especifican todos los requisitos no funcionales del sistema. Los requerimientos no funcionales son atributos que no dan funcionalidad, por ejemplo lo fácil que es usar o si cumple con una normativa concreta.

IV.3.3. Análisis y diseño

El objetivo de esta disciplina de trabajo es traducir los requisitos a una especificación que describa cómo implementar el sistema, es decir, trasladar los requerimientos funcionales a conceptos de software.

Principales actividades de análisis y diseño

Las principales actividades que se manejan en análisis y diseño se mencionan a continuación:

- Transformar los requerimientos en un diseño del sistema a crear.
- Definir una arquitectura para el sistema.
- Adaptar el diseño para que funcione en el ambiente de implementación y así obtener un performance adecuado.

El análisis consiste en obtener una visión del sistema que se preocupa de ver *qué* hace, de modo que sólo se interesa por los requisitos funcionales. Por otro lado el diseño es un refinamiento del análisis que tiene en cuenta los requisitos no funcionales, en definitiva *cómo* cumple el sistema sus objetivos. A si mismo el diseño permite la implementación del sistema libre de ambigüedades.

Toda la información que sea implementada en esta fase, traslada los requerimientos dentro de la arquitectura de software, la cual está diseñada en diagramas UML, para así desarrollar una arquitectura robusta para el sistema. En esta etapa se adapta el diseño para hacerlo corresponder con el ambiente de implementación de clases y objetos en forma de componentes (fuente, ejecutables, etc.), de manera que se puedan probar los componentes desarrollados y así realizar la integración de los componentes en un sistema ejecutable.

Workflow de análisis y diseño

- Definir una arquitectura candidata.
- Analizar el comportamiento.
- Refinar la arquitectura.
- Diseñar la base de datos (opcional).

Productos

- **Modelo de diseño**: Es la estructuración de los distintos diagramas y modelos que se tengan referentes a la parte de diseño del sistema.

- **Documento de la arquitectura de software**: En este documento se da una descripción de la arquitectura del sistema, así como también se describe los requerimientos y objetivos del sistema que sean de influencia en la arquitectura del mismo. De igual forma incluye un apartado para cada una de las vistas que se incluyan en la documentación como pueden ser casos de uso, lógica, proceso, despliegue e implementación.

IV.3.4. Implementación

En esta etapa se implementan las clases y objetos en ficheros fuente, binarios, ejecutables y demás. Es aquí donde se realizan las pruebas unitarias[1]. El resultado final es un ejecutable.

Principales actividades de la implementación

- Planear qué subsistemas deben ser implementados y en qué orden deben ser integrados, formando el plan de integración.

- Cada implementador decide en que orden implementa los elementos del subsistema. Sí encuentra errores de diseño los notifica.

- Se prueban los subsistemas individualmente (pruebas unitarias).

- Se integra el sistema siguiendo el plan.

[1]Para más detalle ver la sección de pruebas.

Workflow de implementación

La integración debe ser incremental, es decir, en cada momento sólo se añade un elemento, así es más fácil localizar fallas y los componentes se prueban más a fondo.

En fases tempranas del proceso se puede implementar prototipos para reducir el riesgo. Su utilidad puede ir desde ver si el sistema es viable desde el principio, probar tecnologías o diseñar la interfaz de usuario. Los prototipos pueden ser desechables o evolutivos. Estos últimos llegan a transformarse en el sistema final.

Productos

- **Modelo de implementación**: Consiste en una visión general de lo que tiene que ser implementado y un apartado para cada iteración con los componentes y subsistemas a implementar durante esa iteración, así como los resultados del software que se han de obtener y la prueba que se ha de realizar sobre ellos (para lo que se puede hacer referencia al plan de pruebas[2]).

IV.3.5. Pruebas

En esta disciplina se evalúa la calidad del producto que se está desarrollando, pero no para aceptar o rechazar el producto al final del proceso de desarrollo sino que se debe de ir integrando a lo largo del ciclo de vida del proyecto.

Aspectos a evaluar

Los principales aspectos que se evalúan son:

[2] Ver la sección de pruebas.

- **Fiabilidad**: Resistente a fallas. Con esto se busca reducir el riego de falla del sistema en producción.

- **Funcionalidad**: Hace lo que debe de acuerdo a las especificaciones funcionales y técnicas.

- **Rendimiento**: Lleva a cabo el trabajo de manera efectiva, con el objetivo de reducir el nivel de incertidumbre acerca de la calidad del sistema.

- Encontrar defectos.

Tipos de pruebas

Se pueden hacer diferentes tipos de pruebas, esto básicamente depende del objetivo de las mismas[3]:

- **Unitarias**: Son las pruebas de más bajo nivel. Se valida la funcionalidad de la aplicación de manera independiente. En general, se busca reducir los riesgos que el producto pudiera presentar por defectos en su construcción.

- **De integración**: Esta prueba esta diseñada para descubrir fallas e incompatibilidad entre los componentes.

- **De sistema**: Su objetivo es validar la estabilidad funcional y estructural de la aplicación o sistema completo. La prueba es diseñada para descubrir fallas e incompatibilidad entre los sistemas e inicia cuando el desarrollo de las aplicaciones está completa y finaliza cuando se han probado todas las aplicaciones y su interacción.

- **De aceptación (también conocidas como "de usuario")**: En este tipo de prueba se valida que el sistema cumpla con los requerimientos de usuario y de negocio, y proporciona confiabilidad a la aplicación antes de entrar a producción.

[3]Las empresas, de acuerdo a sus estándares y metodología, tienen sus documentos para evaluar el riesgo y así identificar que tipo de prueba realizar.

Cabe mencionar que si se ha detectado algún defecto implica la re-ejución de cualquiera de los tipos de pruebas.

Roles

Cuatro roles principales están involucrados en la disciplina de la prueba:

- **Test manager**: Tiene la responsabilidad total para garantizar el éxito de las pruebas. Este rol involucra calidad, planeación y administración, y busca la resolución de defectos que impiden el éxito de la prueba.

- **Test analyst**: Es el responsable de identificar y definir los requerimientos de las pruebas. monitoreo detallado del progreso de las pruebas y los resultados de cada ciclo de pruebas, así como la evaluación de la calidad total obtenida de las actividades de pruebas.

- **Test designer**: Es el responsable de definir la propuesta de pruebas y asegurar su implementación satisfactoria. Este rol implica identificar las técnicas, herramientas y lineamientos apropiados para implementar los requerimientos de pruebas y dar una guía sobre los requerimientos correspondientes.

- **Tester**: Es el responsable de ejecutar las pruebas del sistema. En este rol se incluye la instalación y ejecución de las pruebas, evaluación de la ejecución de las pruebas, re-ejecutar las pruebas en caso de detectar un defecto y obtener la evidencia de los resultados de las pruebas.

Productos

Los productos más importantes de pruebas son:

- **Plan de pruebas**: contiene información acerca de la propuesta y objetivos de las pruebas del proyecto dentro de su planeación. El plan de pruebas identifica las estrategias a usar y los recursos necesarios para la implementación de la ejecución de la prueba

- **El análisis de pruebas**: esto es una lista de ideas de pruebas, de manera parcial, para identificar el tipo de pruebas a ejecutar.
- **Casos de pruebas**: algunas ideas evolucionan a casos de prueba completamente desarrollados los cuales especificaran una prueba, sus condiciones de ejecución y los datos de prueba asociados.
- **Datos de prueba**.
- **Scrips de prueba**: son los procedimientos manuales o automáticos usados por el tester para ejecutar las pruebas.
- **Set de pruebas**: los scripts de pruebas pueden ser ensamblados en el set de pruebas.
- **Documento de defectos**.

A la representación de qué se va a probar y cómo debe hacerse es a lo que se llama el *modelado de pruebas*, que incluye la colección de casos de prueba, procedimientos de pruebas, scripts, resultados esperados, datos de pruebas.

Es importante mencionar que RUP diferencia entre un plan de pruebas global y una plan de pruebas específico para cada iteración:

- **Plan de pruebas global**: Se describen los objetivos y mecanismos a utilizar para el proyecto en general.
- **Plan de pruebas específico para cada iteración**: Este plan específica qué elementos deben probar, cuáles son los objetivos que se persiguen con esas pruebas y la aproximación a utilizar para conseguir esos objetivos, se incluye también una estimación de los recursos necesarios para llevarlos a cabo.

Workflow de pruebas

El desarrollo del flujo de trabajo consiste en planificar que es lo que se va a probar, diseñar cómo se va hacer, implementar lo necesario para llevarlos a cabo, ejecutarlos en los niveles necesarios y obtener los resultados (siempre van de acuerdo a los requerimientos) de forma que la información obtenida sirva para ir refinado el producto a desarrollar, además incluye la obtención de evidencias.

IV.3.6. Despliegue

El objetivo de esta disciplina es producir con éxito distribuciones del producto final y distribuirlo a los usuarios.

Principales actividades del despliegue

- Probar el producto en su entorno de ejecución final.
- Empaquetar el software para su distribución.
- Distribuir el software
- Instalar el software
- Proveer asistencia o ayuda a los usuarios.
- Formar a los usuarios.
- Migrar el software existente o convertir bases de datos.

Workflow de despliegue

Este flujo de trabajo se desarrolla con mayor intensidad en la fase de transición, debido a que el propósito del flujo es asegurar una aceptación y adaptación sin complicaciones del software por parte de los usuarios. Su ejecución inicia en fases anteriores para preparar el camino, sobre todo con actividades de planificación, en la elaboración del manual de usuario y tutoriales.

Productos

Aunque el artefacto clave es una distribución (release) del producto en general puede consistir de:

- Software ejecutable.
- Productos de instalación: scripts, herramientas, archivos, guías, información sobre licencia.
- Notas de la distribución describiéndola al usuario final.
- Material de apoyo, como pueden ser los manuales de usuario, de operaciones y mantenimiento.
- Materiales formativos.

IV.3.7. Administración del proyecto

La administración del proyecto tiene por objetivo lograr un balance al gestionar objetivos, riesgos y restricciones para desarrollar un producto que sea acorde a los requerimientos de los clientes y usuarios.

Objetivos de la administración del proyecto

- Proveer un marco de trabajo para la administración de proyectos de software intensivos.
- Proveer guías prácticas, realizar planeación, contratar personal, ejecutar y monitorear el proyecto.
- Proveer un marco de trabajo para administrar riesgos.

Productos

- **Plan de desarrollo o plan de fases**: Este plan contiene las fechas esperadas para los hitos principales, cuándo se tendrá la arquitectura, cuándo estará la primera versión beta, etc. También puede tener una previsión de las necesidades del personal y medios. Este plan debe obtenerse temprano en la fase de inicio. Se debe de actualizar siempre que sea necesario.

- **Plan de iteración**: En este plan se detallan fechas importantes para la iteración como son para las compilaciones importantes, revisiones o llegada de componentes.

- **Lista de riesgos**: En cada riesgo hay que indicar su magnitud, una descripción, su impacto, indicadores para monitorizar, una estrategia para mitigarlo y el plan de contingencia por si el riesgo se hace real.

- **Caso de negocio**: Consiste en el contexto del negocio, criterios de éxito del proyecto y una previsión financiera. Si se espera vender el sistema, también tendrá que haber una aproximación a los beneficios que se obtendrán: el ROI (*Return Of Investment*, en inglés).

IV.3.8. Administración de configuración y cambios

El objetivo de esta actividad es mantener la integridad de todos los productos que se crean durante proceso, así como de mantener información del proceso evolutivo que han seguido.

Funciones de administración de configuración y cambios

- La gestión de la configuración que maneja la estructura del producto, la identificación de los elementos, configuraciones validas de las mismas versiones, versiones y espacios de trabajo.

- Gestión de la peticiones de cambio que coordina el proceso de modificar artefactos de una manera consistente.

- Métricas y status que se encargan de extraer información para la correcta administración del proyecto de las herramientas que soportan las dos funciones anteriores.

IV.3.9. Entorno o ambiente

El objetivo de esta actividad es dar soporte al proyecto con las herramientas adecuadas, procesos y métodos. Brinda una especificación de las herramientas que se van a necesitar en cada momento, así como definir la instancia concreta del proceso que se va a seguir.

Principales actividades de Entorno

- Selección y adquisición de herramientas.
- Establecer y configurar las herramientas para que se ajusten a la organización.
- Configuración del proceso.
- Mejora del proceso.
- Servicios técnicos.
- Preparar el entorno.
- Preparar el entorno de una iteración.
- Preparar las líneas de guía para una iteración.
- Dar soporte al entorno durante la iteración.

Productos

- **Caso de desarrollo**: Especifica la aplicación el proceso unificado, qué productos se van a utilizar y cómo van a ser utilizados. Además se definen las líneas guía para los distintos aspectos del proceso, como pueden ser el modelado de negocio y los casos de uso, para la interfaz del usuario, el diseño, la programación, el manual de usuario, etc.

IV.4. Aplicación de la metodología (RUP) para la implementación de la curva cero por medio de los bonos que determinan las tasas swaps utilizando el método Bootstrapping

En esta sección se muestra un caso practico en cuanto al seguimiento de la metodología RUP para la implementación de un software.

IV.4.1. Requisitos o requerimientos

A continuación se muestran las siguientes matrices:

- Relación de requerimientos de negocio.
- Relación de requerimientos de usuario.
- Relación de requerimientos de sistema.
- Relación de requerimientos de seguimiento y control de requerimientos.

Los requerimientos de negocio debe tener asociado por lo menos un requerimientos de usuario y los requerimientos de usuario deben tener asociado por lo menos un requerimiento de sistema. Este punto se puede visualizar en la relación de requerimientos de seguimiento y control de requerimientos.

Relación de Requerimientos de Negocio

Requerimientos de Negocio	
Identificador	**Descripción de Requerimiento**
RN-0010	Crear una aplicación que permita generar la curva cero por medio de los Bonos que determinan las Tasas Swaps utilizando el Método Bootstrapping.

Relación de Requerimientos de Usuario

Requerimientos de Usuario		
N° Secuencial	**Acción**	**Descripción de Requerimiento**
RU-0010	ALTA	Calcular las tasas par swap utilizando la tasa demandada y ofertada.
RU-0020	ALTA	Calcular las tasas cero con el método Bootstrapping, utilizando la tasa par swap para calcular el cupón.
RU-0030	ALTA	Calcular la gráfica de la curva cero (vencimiento vs tasas cero).
RU-0040	ALTA	Calcular la gráfica de los factores de descuento

Relación de Requerimientos de Sistema

Requerimientos de Sistema	
N° de RS	**DESCRIPCION DEL REQUERIMIENTO**
RS-0010	Crear la pantalla de tasa ofertada y tasa demandada para calcular las tasas par swaps
RS-0020	Crear la pantalla de tasas par swap para calcular las tasas par swaps utilizando la media aritmética y la interpolación lineal de acuerdo al plazo de intercambios en el swap
RS-0030	Crear la pantalla de tasas cero para calcular las tasas cero en cada vencimiento utilizando el método Bootstrapping
RS-0040	Crear la pantalla de gráfica para obtener gráfica de la curva cero
RS-0050	Crear la pantalla de gráfica Factor de descuento para obtener la gráfica de los factores de descuento
RS-0060	Establecer la comunicación entre la pantalla de tasa ofertada y tasa demandada con la pantalla de tasas par swap
RS-0070	Establecer la comunicación entre la pantalla de tasas par swap con la pantalla de tasas cero
RS-0080	Establecer la comunicación entre la pantalla de tasas cero con la pantalla gráfica de tasas cero
RS-0090	Establecer la comunicación entre la pantalla de tasas cero con la pantalla gráfica de factores de descuento
RS-0100	Crear la carga automática en la pantalla de tasa ofertada y demandada utilizando el archivo de datos de tasas ofertadas y demandadas
RS-0110	Crear la carga automática en la pantalla tasas cero utilizando el archivo de datos de tasas cero

Relación de Seguimiento y Control de Requerimientos

Seguimiento y Control de Requerimientos						
Tipo de Requerimiento	Categoría	ID de Seguimiento				
		ID de requerimientos de Negocio	ID requerimientos del Usuario	Casos de Prueba Usuario	ID de requerimientos del Sistema	Casos de Prueba de Sistemas
Funcional	Operational processes	RN-0010	RU-0010	10	RS-0010	10
Funcional	Operational processes				RS-0020	20
Funcional	Operational processes				RS-0060	60
Funcional	Operational processes			20	RS-0070	70
Funcional	Operational processes		RU-0020	30	RS-0030	30
Funcional	Operational processes				RS-0080	80
Funcional	Operational processes				RS-0090	90
Funcional	Operational processes			40	RS-010	100
Funcional	Operational processes				RS-0110	110
Funcional	Operational processes		RU-0030	50	RS-0040	40
Funcional	Operational processes		RU-0040	60	RS-0050	50

IV.4.2. Análisis y diseño

Aquí se analiza y diseña cada uno de los requerimientos de sistemas. A continuación se muestran los prototipos del sistema a implementar.

- La figura (IV.2) muestra el prototipo de la Pantalla de Tasas Demandada y Ofertada.
- La figura (IV.3) muestra el prototipo de la Pantalla de Tasas Swaps.
- La figura (IV.4) muestra el prototipo de la Pantalla de Tasas Cero.
- La figura (IV.5) muestra el prototipo de la Pantalla de Gráfica de Factor de Descuento.
- La figura (IV.6) muestra el prototipo de la Pantalla de Curva Cero.

Se incluye también los siguientes layouts:

- Layout de Datos para Tasas Ofertada y Demandada.
- Layout de Datos para Tasas Cero.

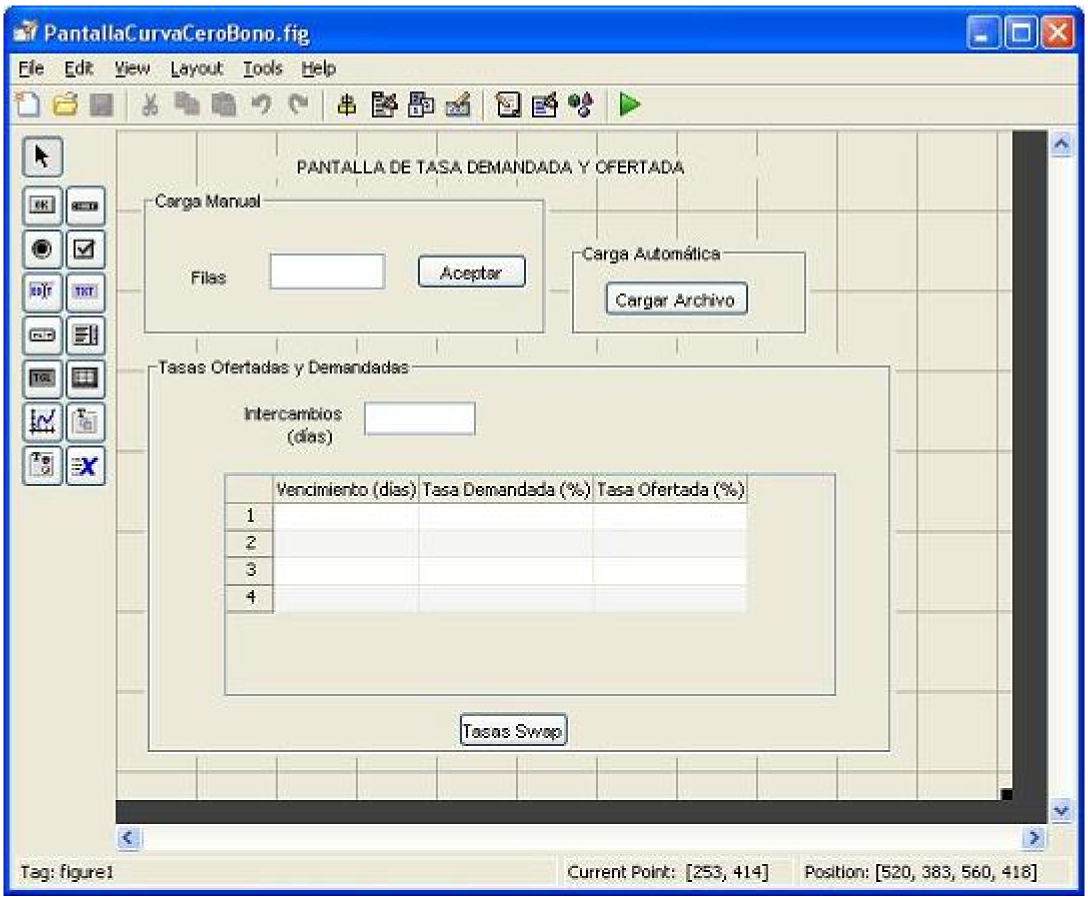


Figura IV.2. Prototipo de la Pantalla de Tasas Demandada y Ofertada.

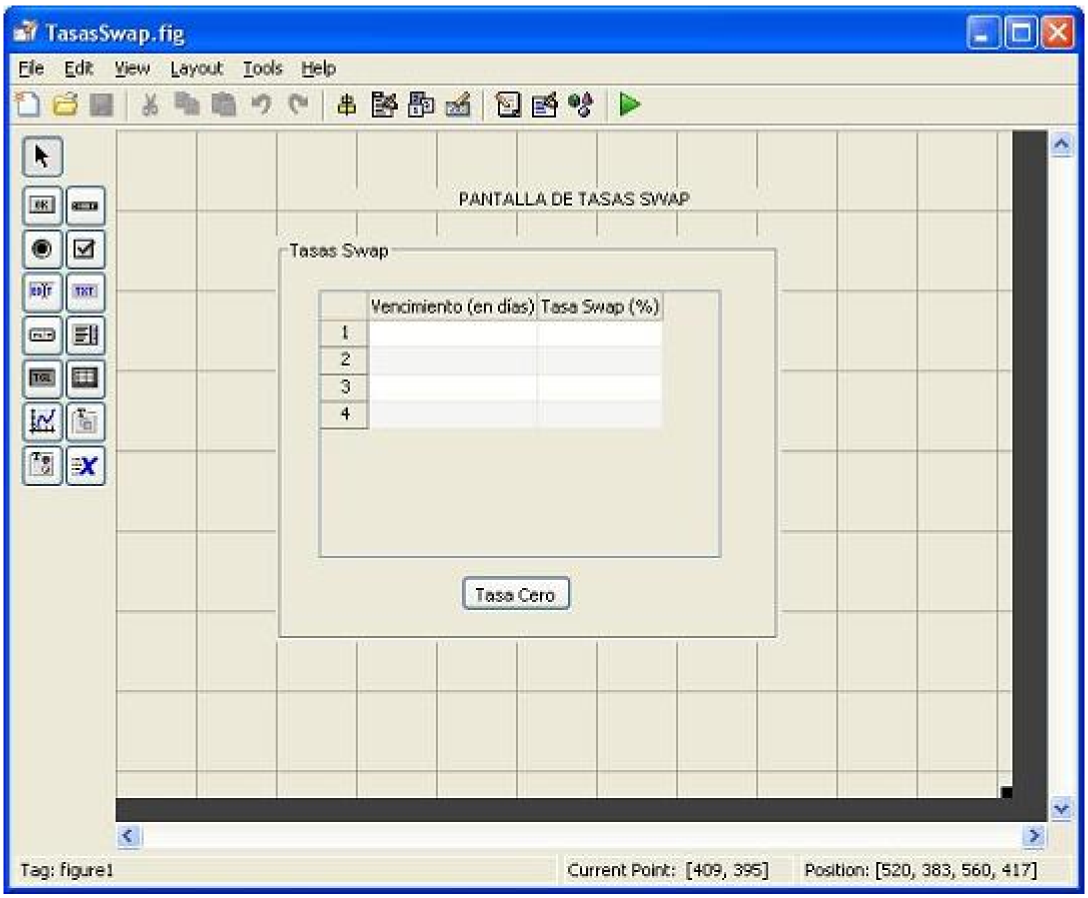


Figura IV.3. Prototipo de la Pantalla de Tasas Swaps.

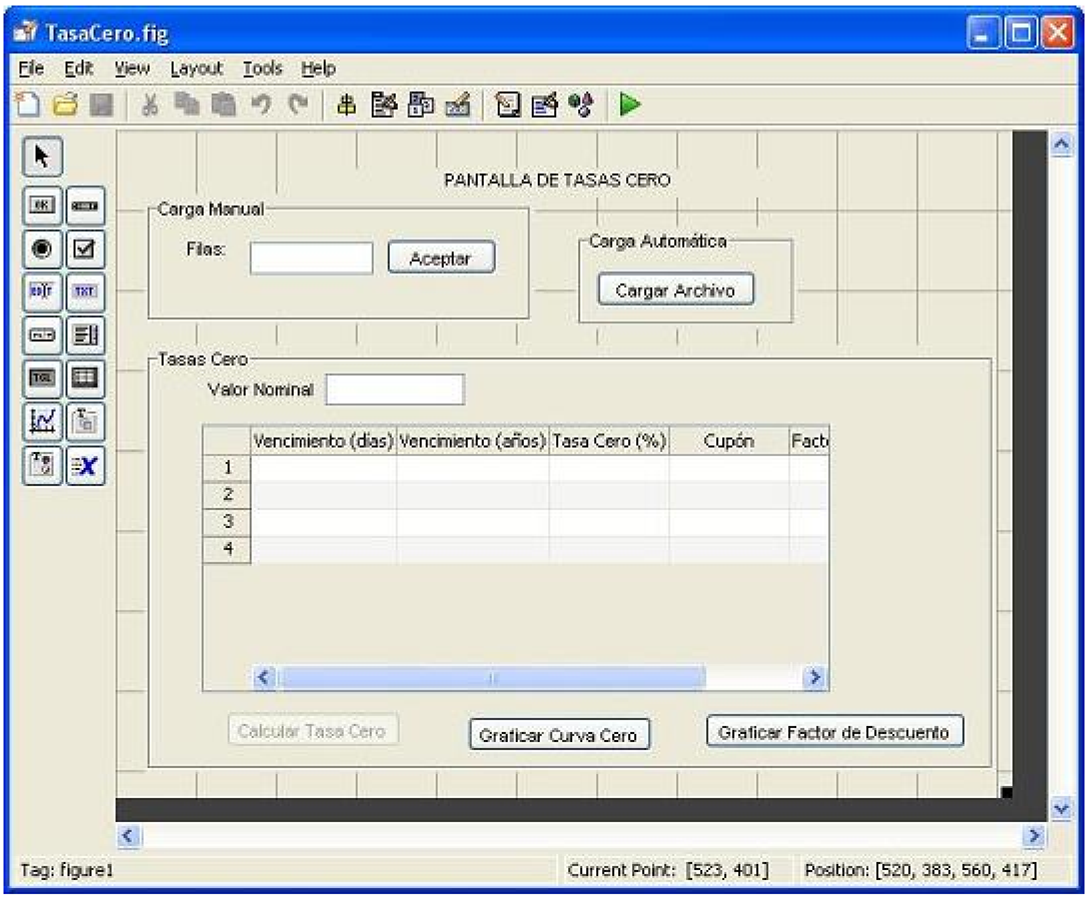


Figura IV.4. Prototipo de la Pantalla de Tasas Cero.

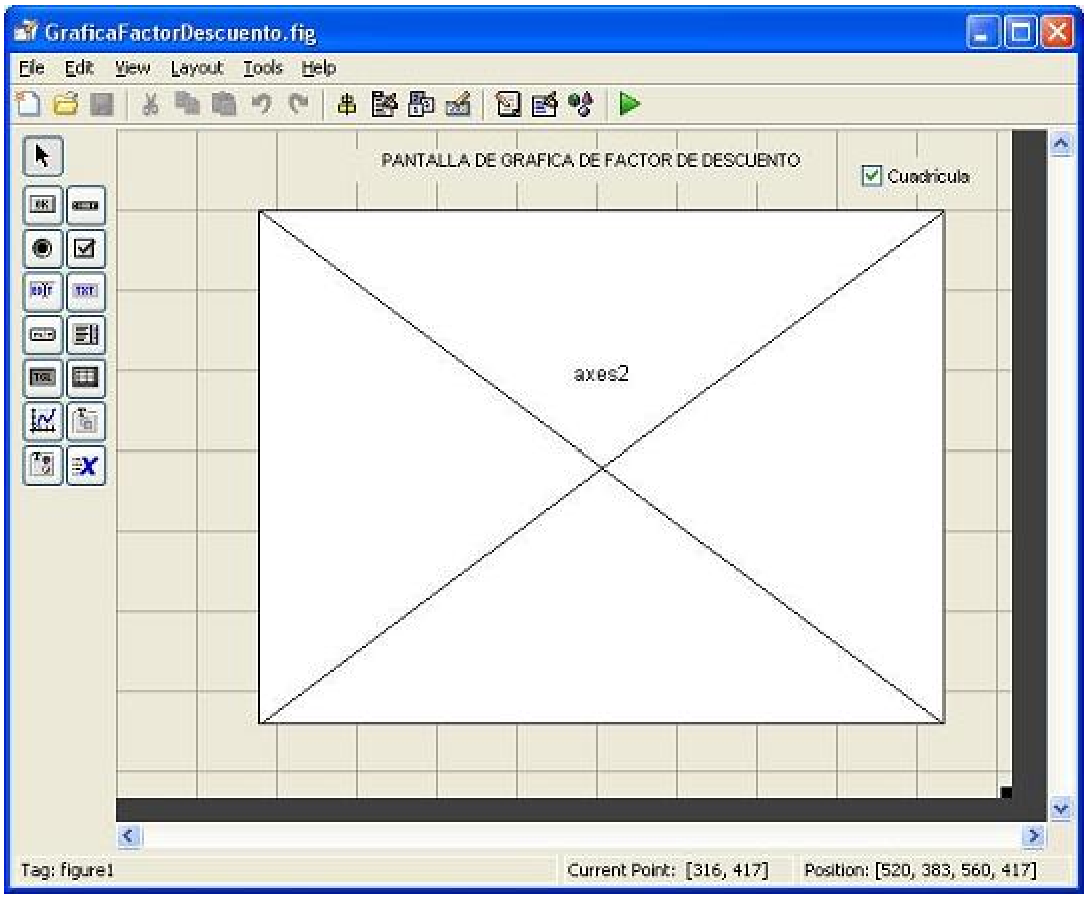


Figura IV.5. Prototipo de la Pantalla de Gráfica Factor de Descuento.

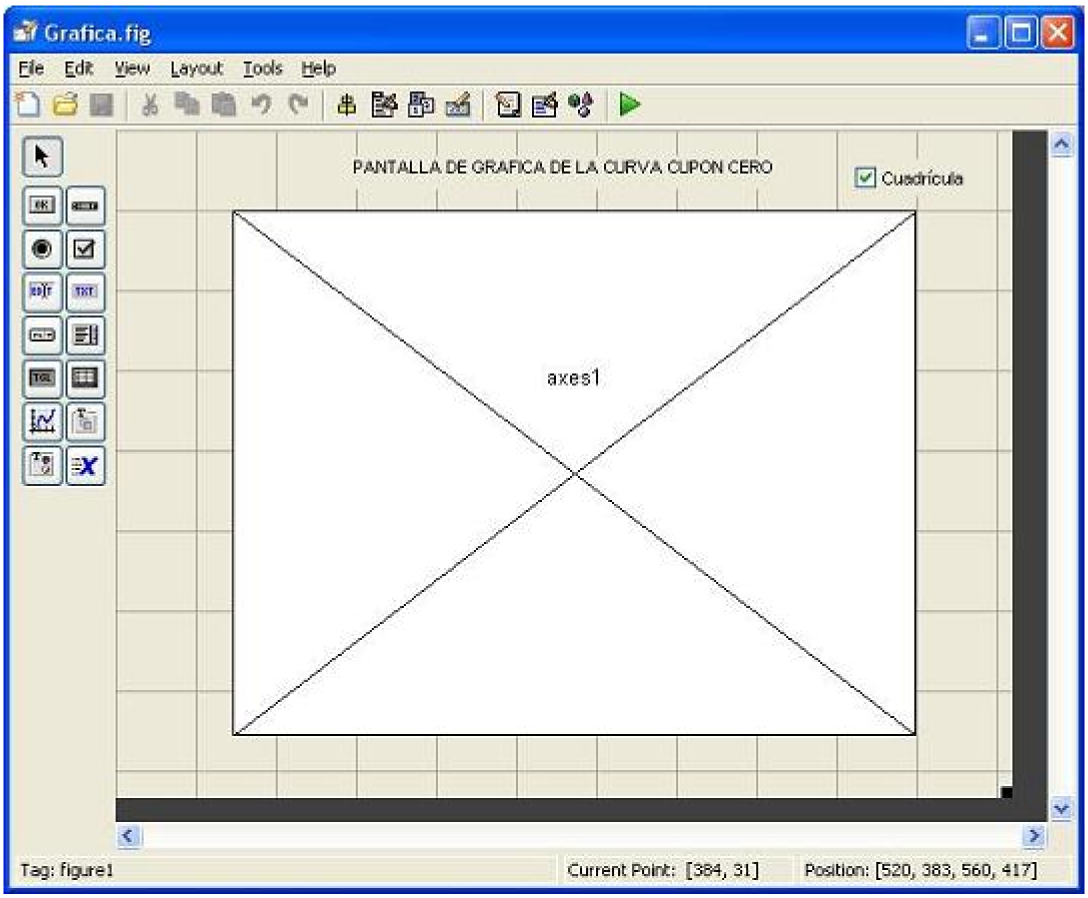
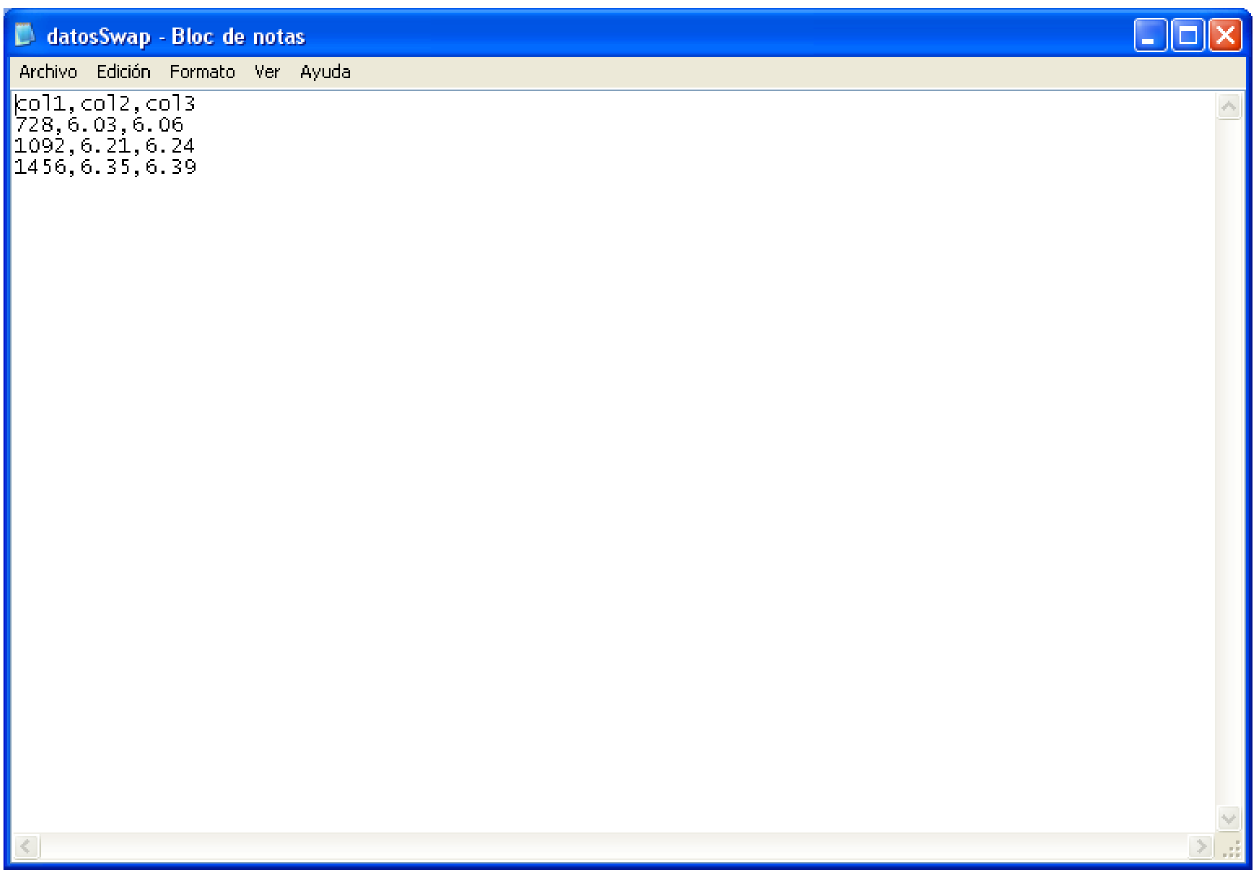


Figura IV.6. Prototipo de la Pantalla de Gráfica Curva Cero.

Layout de Datos para Tasa Demanda y Ofertada

Layout Archivo "datosSwap"			
REGISTRO HEADER	Longitud	Descripción	Valor
col1	4	Etiqueta	col1
,	1	Coma	,
col2	4	Etiqueta	col2
,	1	Coma	,
col3	4	Etiqueta	col3
REGISTRO DATOS	Longitud	Descripción	Valor
col1	9(10)	Vencimiento en días	double
,	1	Coma	,
col2	999.9999	Tasa Demandada en porcentaje	double
,	1	Coma	,
col3	999.9999	Tasa Ofertada en porcentaje	double

Ejemplo de Archivo “datosSwap.txt”:

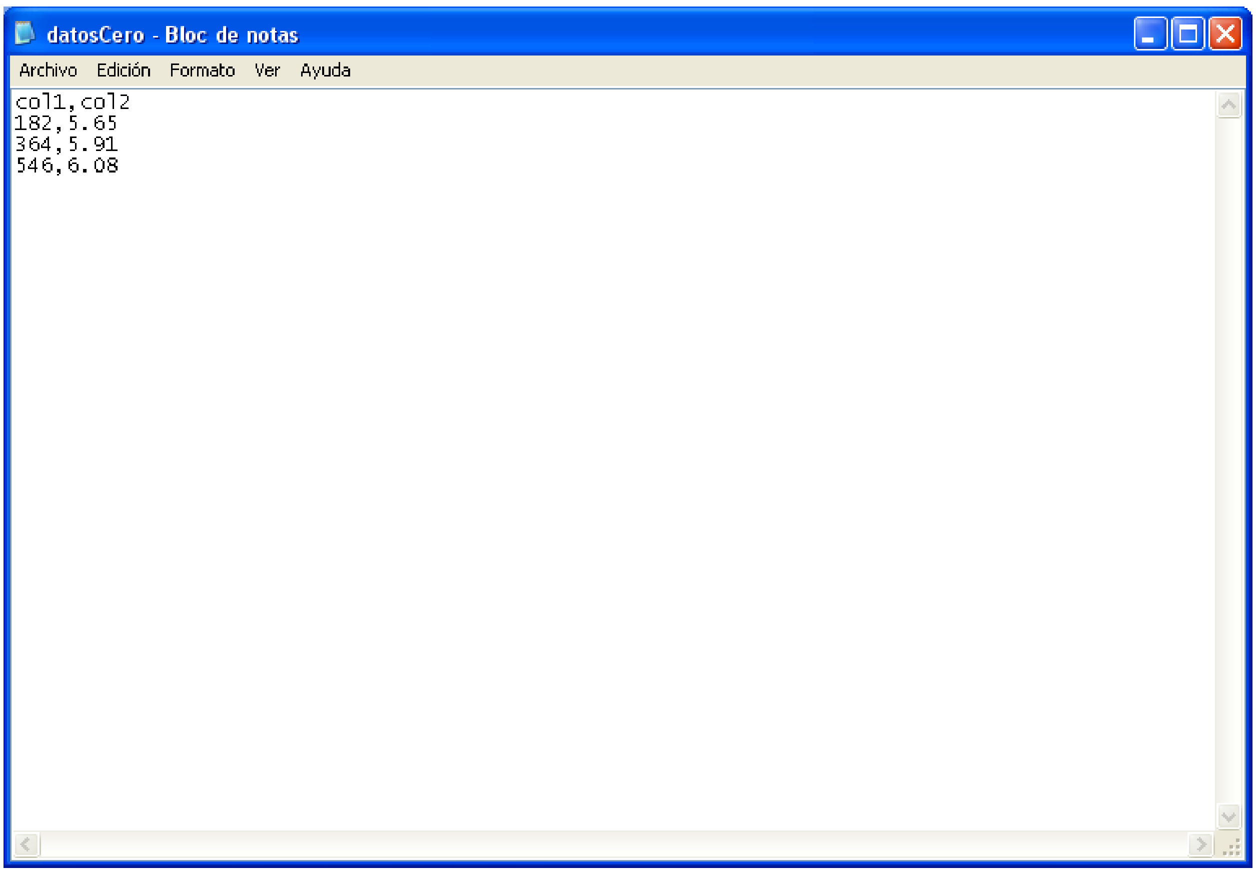



```
col1,col2,col3
728,6.03,6.06
1092,6.21,6.24
1456,6.35,6.39
```

Layout de Datos para Tasas Cero

Layout Archivo "datosCero"			
REGISTRO HEADER	Longitud	Descripción	Valor
col1	4	Etiqueta	col1
,	1	Coma	,
col2	4	Etiqueta	col1
REGISTRO DATOS	Longitud	Descripción	Valor
col1	9(10)	Vencimiento en días	Doublé
,	1	Coma	,
col2	999.9999	Tasa Cero en porcentaje	Doublé

Ejemplo de archivo “datosCero.txt”:



IV.4.3. Implementación

En la implementación se desarrolla el sistema de acuerdo a los requerimientos de sistema y a los prototipos. Para esta implementación se utilizo Matlab R2010a.

Código de la Pantalla de Tasas Demandada y Ofertada

```
function varargout = PantallaCurvaCeroBono(varargin)
% PANTALLACURVACEROBONO M-file for PantallaCurvaCeroBono.fig
%      PANTALLACURVACEROBONO, by itself, creates a new
%      PANTALLACURVACEROBONO or raises the existing singleton*.
%
%      H = PANTALLACURVACEROBONO returns the handle to a new
%      PANTALLACURVACEROBONO or the handle to the existing singleton*.
%
%      PANTALLACURVACEROBONO('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
%      calls the local function named CALLBACK in PANTALLACURVACEROBONO.M
%      with the given input arguments.
%
%      PANTALLACURVACEROBONO('Property','Value',...) creates a new
%      PANTALLACURVACEROBONO or raises the existing singleton*.  Starting
%      from the left, property value pairs are applied to the GUI before
%      PantallaCurvaCeroBono_OpeningFcn gets called.  An unrecognized
%      property name or invalid value makes property application stop.  All
%      inputs are passed to PantallaCurvaCeroBono_OpeningFcn via varargin.
%
%      *See GUI Options on GUIDE's Tools menu.  Choose "GUI allows only one
%      instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help PantallaCurvaCeroBono

% Last Modified by GUIDE v2.5 25-Sep-2011 12:21:45

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @PantallaCurvaCeroBono_OpeningFcn, ...
                   'gui_OutputFcn',  @PantallaCurvaCeroBono_OutputFcn, ...
                   'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
```

```
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT


% --- Executes just before PantallaCurvaCeroBono is made visible.
function PantallaCurvaCeroBono_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
         varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to PantallaCurvaCeroBono (see VARARGIN)

% Choose default command line output for PantallaCurvaCeroBono
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);

% UIWAIT makes PantallaCurvaCeroBono wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% Sets the dialog to confirm the application output
set( hObject, 'CloseRequestFcn', @cierraVentana )
movegui( hObject, 'center' );

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = PantallaCurvaCeroBono_OutputFcn(hObject, eventdata,
         handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in btnTasaCero.
function btnTasaCero_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btnTasaCero (see GCBO)
```

```
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

openfig( 'TasaCero.fig', 'reuse' )

% --- Executes on button press in btnTasaSwap.
function btnTasaSwap_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btnTasaSwap (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

intercambiosTexto = get( handles.txtIntercambios, 'String' );

%Validate that the exchange period is numeric
if isnan( str2double( intercambiosTexto ) )
    msgbox( 'El Intercambio debe ser un dato numérico.', 'Error', 'error');
    return
end

%Gets the table data Defendant and Offered
celdasTasaDemandadaOfertada = get( handles.tablaDemOf, 'data' );
%Gets the value of the trade
intercambios = str2double( get( handles.txtIntercambios, 'String' ) );
%Gets the period to divide
periodo = cell2mat( celdasTasaDemandadaOfertada(
          size( celdasTasaDemandadaOfertada, 1 ),1 ) )
          - cell2mat( celdasTasaDemandadaOfertada(1,1) );

for i = 1:1:size( celdasTasaDemandadaOfertada, 1 )

    if mod( cell2mat( celdasTasaDemandadaOfertada( i, 1 ) ), intercambios )
          ~= 0.0
      msgbox( sprintf( 'Error en los datos, renglón: %d\n', i ) , 'Error',
                     'error');
      return;
    end

end

%It creates the window TasasSwap
openfig( 'TasasSwap.fig', 'reuse' );
%Gets a pointer to the window TasasSwap
hTasasSwap = TasasSwap;
%Obtains a pointer to the window components TasasSwap
handlesTasasSwap = guidata( hTasasSwap );
%Initialize the data table TasasSwap
celdasTasasSwap = cell( 0, 0 ) ;
```

```
%Gets the number of times that the exchange will add to the initial time
%table Defendant Offered
numeroIteracionPeriodo = periodo / intercambios;

%Place the values for the periods in the table TasasSwap
for i = 1:1:numeroIteracionPeriodo + 1;

    if i == 1
        celdasTasasSwap( i,1 ) = celdasTasaDemandadaOfertada( i, 1 );
    else
        %It takes the value of the previous iteration and adds the value of
        %trade
        celdasTasasSwap( i,1 ) = num2cell( cell2mat(
                        celdasTasasSwap( i - 1,1 ) ) + intercambios );
    end

end

%Two arrays are initialized with zeros to store temporarily or Swap average
%rates that are already known.
tasaPromedio = zeros( size( celdasTasaDemandadaOfertada, 1 ) );
posicionTasaSwapConocida = zeros( size( celdasTasaDemandadaOfertada, 1 ) );

%Calculates the Rate Swap (Average) by rates are initially loaded.
for i = 1:1:size( celdasTasaDemandadaOfertada, 1 )

    %It is the average between the defendant and the rate offered rate
    tasaPromedio( i ) =( ( cell2mat( celdasTasaDemandadaOfertada(i,2) )
                 + cell2mat( celdasTasaDemandadaOfertada(i,3) ) ) / 2.0 ) ;

    %Assign the value calculated grid Rate Swap
    for j = 1:1:size( celdasTasasSwap, 1 )
        if cell2mat( celdasTasasSwap( j,1 ) ) ==
                cell2mat( celdasTasaDemandadaOfertada( i,1 ) )
           celdasTasasSwap( j,2 ) = num2cell( tasaPromedio( i ) );
           %Bookmark the standing line in the Rate Swap with known values
           posicionTasaSwapConocida( i ) = j;
           break;
        end
    end
end

%Missing swap rates calculated through interpolation.
for i = 1:1:size( celdasTasaDemandadaOfertada, 1 ) - 1

   %Takes less known values for this cycle
   x2 = cell2mat(celdasTasasSwap( posicionTasaSwapConocida( i + 1 ), 1 ) );
```

```
   y2 = cell2mat(celdasTasasSwap( posicionTasaSwapConocida( i + 1 ), 2 ) );

    %Gets the interpolation for lines that are between the values already
    %known
   for j = posicionTasaSwapConocida( i ):1:
           posicionTasaSwapConocida( i + 1 ) - 2
        x1 = cell2mat(celdasTasasSwap( j, 1 ) );
        y1 = cell2mat(celdasTasasSwap( j, 2 ) );
        x = cell2mat( celdasTasasSwap( j + 1, 1 ) );

        y = interpolar( x, x1, x2, y1, y2 );

        celdasTasasSwap( j + 1, 2 ) = num2cell( y );
    end

end

%Storing in memory the values of the window TasasSwap
guidata( hTasasSwap );
%Updates the values in the table swap rates
set( handlesTasasSwap.tablaSwap, 'Data', celdasTasasSwap );

% --- Executes on key press with focus on btnTasaSwap and none of its
% controls.
function btnTasaSwap_KeyPressFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btnTasaSwap (see GCBO)
% eventdata  structure with the following fields (see UICONTROL)
% Key: name of the key that was pressed, in lower case
% Character: character interpretation of the key(s) that was pressed
% Modifier: name(s) of the modifier key(s) (i.e., control, shift) pressed
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function txtFilas_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to txtFilas (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
         get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

function edit_col_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit_col (see GCBO)
```

```
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of edit_col as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of edit_col as
%        a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function edit_col_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to edit_col (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
        get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in btnAceptar.
function btnAceptar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btnAceptar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

filas = str2double( get( handles.txtFilas, 'String' ) );

if isnan( filas )
    msgbox( 'El número de filas debe ser un entero positivo.', 'Error',
            'error');
    return
end

celdas = cell( filas, 3 );

set( handles.tablaDemOf, 'Data', celdas );

% --- Executes on button press in pushbutton7.
function pushbutton7_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton7 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

%Functions
function cierraVentana( fuente, evento )
```

```
    seleccion = questdlg('¿Desea salir de la aplicación?',' ','Sí',
                         'No','Sí');

    switch seleccion
        case 'Sí', delete( get( 0, 'Children' ) )
        case 'No'
          return
    end

% --- Executes on button press in btnAceptarDias.
function btnAceptarDias_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btnAceptarDias (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

function txtIntercambios_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to txtIntercambios (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of txtIntercambios as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
%        txtIntercambios as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function txtIntercambios_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to txtIntercambios (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
         get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in btnCargarArchivo.
function btnCargarArchivo_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btnCargarArchivo (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

    [filename,pathname] = uigetfile(
         {'*.txt','Todos los documentos (*.txt)';
    '*.txt','Documento Texto(*.txt)'},'Seleccionar Archivo');
```

```
    %Validate if a file is selected, otherwise exit the function
    if isequal( filename , 0 )
        return
    end

    %Gets data from comma separated file
    archivo = importdata( fullfile( pathname, filename ), ',' );

    %Convert the file header in a horizontal arrangement.
    columnasArchivo = genvarname( archivo.textdata );

    %Create matrix with each column based on the horizontal array
    for i = 1:length( columnasArchivo )
        %Create column i of the grid with the lines (':' indicates that all
        %lines are read) file in column i
        cuadricula.( columnasArchivo{i} ) = archivo.data(:, i);
    end

    %Returns an array of cells
    cols = fieldnames( cuadricula );

    %It gets the length of the columns of the file for this case are three
    %columns.
    for i = 1:length( cols )
        %Reads each row corresponding to the column i
        renglones = cuadricula.( cols{ i } );

        %It gets the length of rows in each column
        for j = 1:length( renglones )
           %Get to enter it in the data table cells
           celdas( j , i ) = num2cell( renglones( j ) );
        end

    end

    %Assigns file data to the table
    set( handles.tablaDemOf, 'Data', celdas );

function y = interpolar( x, x1, x2, y1, y2 )

    y =  ( ( ( y2 - y1 ) / ( x2 - x1 ) ) * ( x - x1 ) ) + y1;

function txtFilas_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to txtFilas (see GCBO) eventdata  reserved - to be
% defined in a future version of MATLAB handles    structure with handles
% and user data (see GUIDATA)
```

```
% Hints: get(hObject,'String') returns contents of txtFilas as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of txtFilas as
%        a double

% --- Executes when entered data in editable cell(s) in tablaDemOf.
function tablaDemOf_CellEditCallback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to tablaDemOf (see GCBO)
% eventdata  structure with the following fields (see UITABLE)
% Indices: row and column indices of the cell(s) edited PreviousData:
% previous data for the cell(s) edited EditData: string(s) entered by the
% user NewData: EditData or its converted form set on the Data property.
% Empty if Data was not changed Error: error string when failed to
% convert EditData to appropriate value for Data
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

Código de la Pantalla de Tasas Swaps

```
function varargout = TasasSwap(varargin)
% TASASSWAP M-file for TasasSwap.fig
%      TASASSWAP, by itself, creates a new TASASSWAP or raises the existing
%      singleton*.
%
%      H = TASASSWAP returns the handle to a new TASASSWAP or the handle to
%      the existing singleton*.
%
%      TASASSWAP('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%      function named CALLBACK in TASASSWAP.M with the given input
%      arguments.
%
%      TASASSWAP('Property','Value',...) creates a new TASASSWAP or raises
%      the existing singleton*.  Starting from the left, property value
%      pairs are applied to the GUI before TasasSwap_OpeningFcn gets
%      called.  An unrecognized property name or invalid value makes
%      property application stop.  All inputs are passed to
%      TasasSwap_OpeningFcn via varargin.
%
%      *See GUI Options on GUIDE's Tools menu.  Choose "GUI allows only one
%      instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help TasasSwap

% Last Modified by GUIDE v2.5 29-Oct-2011 23:19:27

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
```

```
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @TasasSwap_OpeningFcn, ...
                   'gui_OutputFcn',  @TasasSwap_OutputFcn, ...
                   'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before TasasSwap is made visible.
function TasasSwap_OpeningFcn(hObject, ~, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to TasasSwap (see VARARGIN)
% Choose default command line output for TasasSwap
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
movegui( hObject, 'center' );

% UIWAIT makes TasasSwap wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = TasasSwap_OutputFcn(~, ~, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in btnTasaCero.
function btnTasaCero_Callback(~, ~, ~) %#ok<DEFNU>
```

```
% hObject    handle to btnTasaCero (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
hTasaCero = openfig( 'TasaCero.fig', 'reuse' );
movegui( hTasaCero, 'center' );
```

Código de la Pantalla de Tasas Cero

```
function varargout = TasaCero(varargin)
% TASACERO M-file for TasaCero.fig
%      TASACERO, by itself, creates a new TASACERO or raises the existing
%      singleton*.
%
%      H = TASACERO returns the handle to a new TASACERO or the handle to
%      the existing singleton*.
%
%      TASACERO('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%      function named CALLBACK in TASACERO.M with the given input
%      arguments.
%
%      TASACERO('Property','Value',...) creates a new TASACERO or raises
%      the existing singleton*.  Starting from the left, property value
%      pairs are applied to the GUI before TasaCero_OpeningFcn gets called.
%      An unrecognized property name or invalid value makes property
%      application stop.  All inputs are passed to TasaCero_OpeningFcn via
%      varargin.
%
%      *See GUI Options on GUIDE's Tools menu.  Choose "GUI allows only one
%      instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help TasaCero

% Last Modified by GUIDE v2.5 23-Oct-2011 16:35:00

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @TasaCero_OpeningFcn, ...
                   'gui_OutputFcn',  @TasaCero_OutputFcn, ...
                   'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
```

```
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before TasaCero is made visible.
function TasaCero_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to TasaCero (see VARARGIN)

% Choose default command line output for TasaCero
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata( hObject, handles);

% UIWAIT makes TasaCero wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = TasaCero_OutputFcn(~, ~, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function txtFilas_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to txtFilas (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
         get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
```

```
end

% --- Executes on button press in btnCargarArchivo.
function btnCargarArchivo_Callback( hObject, eventdata, handles )
% hObject    handle to btnCargarArchivo (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

%Gets the pointer to the current window (TasaCero)
h = TasaCero;
hDatos = guidata( h );

%Initializes an array of cells
celdasDatos = cell( 0, 0 );

%Read the name of the file to load
[filename,pathname] = uigetfile( {'*.txt','Todos los documentos (*.txt)';
'*.txt','Documento Texto(*.txt)'},'Seleccionar Archivo');

%Validate if a file is selected, otherwise exit the function
if isequal( filename , 0 )
    return
end

%Gets data from comma separated file
archivoCero = importdata( fullfile(pathname, filename), ',' );

%Convert the file header in a horizontal arrangement.
colheaders = genvarname( archivoCero.textdata );

%Create matrix with each column based on the horizontal array
for i = 1:length(colheaders)
    %Create column i of the grid with the lines (':' indicates that all
    %lines are read) file in column i
    columna.(colheaders{i}) = archivoCero.data(:, i);
end

%Returns an array of cells
cols = fieldnames( columna );

%Gets the length of the columns of the file to our case are three columns
for i = 1:length( cols )

    %Reads each row corresponding to the column i
    renglones = columna.( cols{ i } );

    for j = 1:length( renglones )
```

```
        %It gets the length of rows in each column
        if i == 1
            %We get the data from the first column of the file to enter it
            %in the first column table
            celdasDatos( j , i ) = num2cell( renglones( j ) );
        else
            %Gets the data from the second column of the file to enter it
            %in the third column of the table
            celdasDatos( j , i + 1 ) = num2cell( renglones( j ) );
        end
    end

end

%Updates the values in Table Data
set( hDatos.tablaDatos, 'Data', celdasDatos );
set( hDatos.txtCalcularTasaCero, 'Enable', 'on' );

function txtValorNominal_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to txtValorNominal (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of txtValorNominal as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of
%        txtValorNominal as a double

% --- Executes during object creation, after setting all properties.
function txtValorNominal_CreateFcn(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to txtValorNominal (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    empty - handles not created until after all CreateFcns called

% Hint: edit controls usually have a white background on Windows.
%       See ISPC and COMPUTER.
if ispc && isequal(get(hObject,'BackgroundColor'),
         get(0,'defaultUicontrolBackgroundColor'))
    set(hObject,'BackgroundColor','white');
end

% --- Executes on button press in txtCalcularTasaCero.
function txtCalcularTasaCero_Callback( hObject, ~, handles)
% hObject    handle to txtCalcularTasaCero (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

```
%Gets the pointer in the window "Tasas Demandadas y Ofertadas"
h = PantallaCurvaCeroBono;
hTasasDemandadaOfertada = guidata( h );

%Gets the pointer in window "Tasas Swap"
hTasasSwap = TasasSwap;
tasasSwapDatos = guidata( hTasasSwap );

%Gets the pointer in the window of "Tasas Cero"(current) to place it in
%front of other windows.
hTasaCero = TasaCero;
guidata(hTasaCero);

%Gets the data table swap rates
celdasSwap = get( tasasSwapDatos.tablaSwap, 'data' );

%Read the value of trade
intercambios = str2double( get( hTasasDemandadaOfertada.txtIntercambios,
                          'String' ) );
%Redas the Nominal Value
valorNominal = str2double( get( handles.txtValorNominal, 'String' ) );

%Validate that the nominal value is numeric
if isnan( valorNominal )
    msgbox( 'El Valor Nominal debe ser un dato numérico.', 'Error',
           'error');
    return
end

%Gets data Zero Rates table
celdasCero = get( handles.tablaDatos, 'data' );

sumaBi = 0;
renglones = 0;

%Calculate the maturity in years, the coupons, the discount factor for the
%values of the zero rate assumptions
for j = 1:1:size( celdasCero, 1 )

    %Converts days to years
    celdasCero( j, 2 ) = num2cell( diasAAnio(
                         cell2mat( celdasCero( j, 1 ) ) ) );
    %Place a - to indicate that they know the value of the coupon
    celdasCero( j , 4 ) = cellstr( '-' );
    %Gets the discount factor of the existing values of the zero rate
    celdasCero( j , 5 ) = num2cell( valorPeso( cell2mat(
                celdasCero( j , 3 ) ), cell2mat( celdasCero( j , 1 ) ) ) );
```

```
end

%Count the rows for data assumptions
renglones = size( celdasCero, 1 );

%Calculate the sum from i = 1 to n-1 of the B (0, t_i) of the assumed data
for i = 1:1:size( celdasCero, 1 )

    %Gets the expired coupons to calculate the cell (i, 1)
    plazoI = cell2mat( celdasCero(i,1) );

    %Gets the alleged zero cell (i, 1)
    Ri = cell2mat( celdasCero( i, 3 ) ) / 100;

    %Calculates the sum of the Bi's to the late maturity
    sumaBi = sumaBi + valorPeso( Ri, plazoI );

end

%Calculates the coupons, the discount factor and zero rates for zero rates
%are not known
for j = 1:1:size( celdasSwap, 1 )

    %Determines the row in which the values are placed
    renglones = renglones + 1;

    %Gets the swaps rate from window "Tasas Swap"
    tasasSwapi = cell2mat( celdasSwap( j, 2 ) );

    %Gets the maturity of window "Tasas Swap"
    plazoI = cell2mat( celdasSwap( j, 1 ) );

    %Calculates the coupon (i)
    Ii = calcularCupon( valorNominal, intercambios, tasasSwapi );

    %Calculate the zero rate in percent
    Ri = tasaCero( Ii, valorNominal, plazoI, sumaBi ) * 100;

    %Place the calculated values in their corresponding cell in the
    %window "Ventana Tasa Cero"
    celdasCero( renglones, 1 ) = celdasSwap( j, 1 );
    celdasCero( renglones, 2 ) = num2cell( diasAAnio(
                                cell2mat( celdasCero( renglones, 1 ) ) ) );
    celdasCero( renglones, 3 ) = num2cell( Ri );
    celdasCero( renglones, 4 ) = num2cell( Ii );
    celdasCero( renglones, 5 ) = num2cell( valorPeso( Ri, plazoI ) );
```

```
    %Calculates the sum of the Bi's the current expiration
    sumaBi = sumaBi + valorPeso( Ri, plazoI );

end

%Updates the values in Table Zero Rate
set( handles.tablaDatos, 'Data', celdasCero );

%Disables the "Calcular Tasas Cero" button after use it
set (hObject, 'Enable', 'off')

%Function that calculates the coupon
function Ii = calcularCupon( valorNominal, intercambios, tasaSwapi )
    Ii = valorNominal * ( tasaSwapi / 100 ) * intercambios / 360;

%Function that computes the zero
function Ri = tasaCero( Ii, valorNominal, plazoI, sumaBi )
    Ri = ( ( ( Ii + valorNominal ) /
         ( valorNominal - ( Ii * sumaBi ) ) ) - 1 ) * (360 / plazoI);

%Function that calculates the discount factor
function Bi = valorPeso( Ri, plazoI )
    Bi = 1 / ( 1 + ( ( Ri / 100 ) * ( plazoI / 360 ) ) );

%Function that converts the maturity of days to years
function anio = diasAAnio( dia )
    anio = dia / 364;

% --- Executes on button press in btnFilas.
function btnFilas_Callback(~, ~, ~)
% hObject    handle to btnFilas (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

%Gets the pointer to the current window (TasaCero)
h = TasaCero;
hTasaCero = guidata( h );

%Gets the number of rows that are entered in Table Zero Rate
filas = str2double( get( hTasaCero.txtFilas, 'String' ) );

%Validates to enter a numeric value
if isnan( filas )
    msgbox( 'El número de filas debe ser un entero positivo.', 'Error',
            'error');
    return
```

```
end

%Create a matrix of cells
celdas = cell( filas, 5 );

%Upgrade the array of cells in zero rate table
set( hTasaCero.tablaDatos, 'Data', celdas );
set( hTasaCero.txtCalcularTasaCero, 'Enable', 'on' );

function txtFilas_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to txtFilas (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hints: get(hObject,'String') returns contents of txtFilas as text
%        str2double(get(hObject,'String')) returns contents of txtFilas as
%        a double

% --- Executes on button press in btnGraficar.
%Función que Gráfica la Curva Cero
function btnGraficar_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to btnGraficar (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

%Open the window containing the graph
openfig( 'Grafica.fig', 'reuse' );

%Gets the pointer to the window "Gráfica"
h = Grafica;
hGraficaCurvaCero = guidata( h );

%Put default grid
set( gca, 'Xgrid', 'on', 'YGrid', 'on' )

%Gets data Zero Curve graph
celdasDatos = get( handles.tablaDatos, 'data' );

%Place the first point on the graph
x1 = 0;
y1 = cell2mat( celdasDatos( 1, 3 ) );

%Gets the array with the remaining data to graph
x2 = cell2mat( celdasDatos(:,2) );
y2 = cell2mat( celdasDatos(:,3) );

%Concatenate all values in x corresponding to Maturity in years
```

```
x = [ x1; x2 ];
%Concatenate in "y all values for the zero rate.
y = [ y1; y2 ];

plot( hGraficaCurvaCero.axes1, x , y );

%Place the axis titles
xlabel( 'Vencimiento (años)' );
ylabel( 'Tasa Cero (%)' );

%Place grid by default
set( gca, 'Xgrid', 'on', 'YGrid', 'on' )

% --- Executes on button press in pushbutton6.
%Function that plots the discount factor
function pushbutton6_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to pushbutton6 (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

%Open the window containing the Discount Factor Chart
openfig( 'GraficaFactorDescuento.fig', 'reuse' );

%Get the pointer to the window of the graph discount factor
h = GraficaFactorDescuento;
hGraficaFactorDescuento = guidata( h );

%Put default grid
set( gca, 'Xgrid', 'on', 'YGrid', 'on' )

%Gets the data to graph the discount factor
celdasDatos = get( handles.tablaDatos, 'data' );

%Place the first point on the graph
x1 = 0;
y1 = cell2mat( celdasDatos( 1, 5 ) );

%Gets the array with the remaining data to graph
x2 = cell2mat( celdasDatos(:,2) );
y2 = cell2mat( celdasDatos(:,5) );

%Concatenate all values in x corresponding to Maturity in years
x = [ x1; x2 ];
%Concatenate all values in y for the Discount Factor
y = [ y1; y2 ];

plot( hGraficaFactorDescuento.axes2, x , y );
```

```
%Place the axis titles
xlabel( 'Vencimiento (años)' );
ylabel( 'Factor de Descuento' );

%Put default grid
set( gca, 'Xgrid', 'on', 'YGrid', 'on' )

% --- Executes when entered data in editable cell(s) in tablaDatos.
function tablaDatos_CellEditCallback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to tablaDatos (see GCBO)
% eventdata  structure with the following fields (see UITABLE)
% Indices: row and column indices of the cell(s) edited PreviousData:
% previous data for the cell(s) edited EditData: string(s) entered by the
% user NewData: EditData or its converted form set on the Data property.
% Empty if Data was not changed Error: error string when failed to
% convert EditData to appropriate value for Data
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
```

Código de la Pantalla de Gráfica de Factor de Descuento

```
function varargout = GraficaFactorDescuento(varargin)
% GRAFICAFACTORDESCUENTO M-file for GraficaFactorDescuento.fig
%      GRAFICAFACTORDESCUENTO, by itself, creates a new FACTORDESCUENTO or
%      raises the existing singleton*.
%
%      H = FACTORDESCUENTO returns the handle to a new
%      GRAFICAFACTORDESCUENTO or the handle to the existing singleton*.
%
%      GRAFICAFACTORDESCUENTO('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...)
%      calls the local function named CALLBACK in GRAFICAFACTORDESCUENTO.M
%      with the given input arguments.
%
%      GRAFICAFACTORDESCUENTO('Property','Value',...) creates a new
%      GRAFICAFACTORDESCUENTO or raises the existing singleton*.  Starting
%      from the left, property value pairs are applied to the GUI before
%      GraficaFactorDescuento_OpeningFcn gets called.  An unrecognized
%      property name or invalid value makes property application stop.  All
%      inputs are passed to GraficaFactorDescuento_OpeningFcn via varargin.
%
%      *See GUI Options on GUIDE's Tools menu.  Choose "GUI allows only one
%      instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES

% Edit the above text to modify the response to help GraficaFactorDescuento
```

```
% Last Modified by GUIDE v2.5 29-Oct-2011 20:47:12

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @GraficaFactorDescuento_OpeningFcn, ...
                   'gui_OutputFcn',  @GraficaFactorDescuento_OutputFcn, ...
                   'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before GraficaFactorDescuento is made visible.
function GraficaFactorDescuento_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles,
         varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to GraficaFactorDescuento (see VARARGIN)

% Choose default command line output for GraficaFactorDescuento
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
movegui( hObject, 'center' );

% UIWAIT makes GraficaFactorDescuento wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = GraficaFactorDescuento_OutputFcn(hObject, eventdata,
         handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in chCuadricula.
function chCuadricula_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to chCuadricula (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of chCuadricula
seleccionado = get(hObject,'Value');

if seleccionado == 1
  set( gca, 'Xgrid', 'on', 'YGrid', 'on' );
else
  set( gca, 'Xgrid', 'off', 'YGrid', 'off' );
end
}

\textbf{Código de la Pantalla de Gráfica de Curva Cero}

{\footnotesize
\begin{verbatim}
function varargout = Grafica(varargin)
% GRAFICA M-file for Grafica.fig
%      GRAFICA, by itself, creates a new GRAFICA or raises the existing
%      singleton*.
%
%      H = GRAFICA returns the handle to a new GRAFICA or the handle to the
%      existing singleton*.
%
%      GRAFICA('CALLBACK',hObject,eventData,handles,...) calls the local
%      function named CALLBACK in GRAFICA.M with the given input arguments.
%
%      GRAFICA('Property','Value',...) creates a new GRAFICA or raises the
%      existing singleton*.  Starting from the left, property value pairs
%      are applied to the GUI before Grafica_OpeningFcn gets called.  An
%      unrecognized property name or invalid value makes property
%      application stop.  All inputs are passed to Grafica_OpeningFcn via
%      varargin.
%
%      *See GUI Options on GUIDE's Tools menu.  Choose "GUI allows only one
%      instance to run (singleton)".
%
% See also: GUIDE, GUIDATA, GUIHANDLES
```

```
% Edit the above text to modify the response to help Grafica

% Last Modified by GUIDE v2.5 29-Oct-2011 20:32:50

% Begin initialization code - DO NOT EDIT
gui_Singleton = 1;
gui_State = struct('gui_Name',       mfilename, ...
                   'gui_Singleton',  gui_Singleton, ...
                   'gui_OpeningFcn', @Grafica_OpeningFcn, ...
                   'gui_OutputFcn',  @Grafica_OutputFcn, ...
                   'gui_LayoutFcn',  [] , ...
                   'gui_Callback',   []);
if nargin && ischar(varargin{1})
    gui_State.gui_Callback = str2func(varargin{1});
end

if nargout
    [varargout{1:nargout}] = gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
else
    gui_mainfcn(gui_State, varargin{:});
end
% End initialization code - DO NOT EDIT

% --- Executes just before Grafica is made visible.
function Grafica_OpeningFcn(hObject, eventdata, handles, varargin)
% This function has no output args, see OutputFcn.
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)
% varargin   command line arguments to Grafica (see VARARGIN)

% Choose default command line output for Grafica
handles.output = hObject;

% Update handles structure
guidata(hObject, handles);
movegui( hObject, 'center' );

% UIWAIT makes Grafica wait for user response (see UIRESUME)
% uiwait(handles.figure1);

% --- Outputs from this function are returned to the command line.
function varargout = Grafica_OutputFcn(hObject, eventdata, handles)
% varargout  cell array for returning output args (see VARARGOUT);
% hObject    handle to figure
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
```

```
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Get default command line output from handles structure
varargout{1} = handles.output;

% --- Executes on button press in chCuadricula.
function chCuadricula_Callback(hObject, eventdata, handles)
% hObject    handle to chCuadricula (see GCBO)
% eventdata  reserved - to be defined in a future version of MATLAB
% handles    structure with handles and user data (see GUIDATA)

% Hint: get(hObject,'Value') returns toggle state of chCuadricula

seleccionado = get(hObject,'Value');

if seleccionado == 1
  set( gca, 'Xgrid', 'on', 'YGrid', 'on' );
else
  set( gca, 'Xgrid', 'off', 'YGrid', 'off' );
end
```

IV.4.4. Pruebas

En esta disciplina se diseñan los casos de prueba. cada requerimiento de usuario y de sistema debe de tener asociado un caso de prueba. A continuación se muestran las siguientes matrices:

- Matriz de Casos de Prueba de Sistemas.
- Matriz de Casos de Prueba de Usuario.

Una vez finalizado el software, se ejecutan los casos de prueba. Primero se ejecutan los casos de prueba de sistemas y posteriormente los casos de prueba de usuario. Para llevar a cabo la ejecución de pruebas se puede hacer uso de alguna herramienta para la administración de las pruebas o simplemente seguir las matrices de casos de pruebas. Se muestra también la ejecución de casos de prueba de sistemas y de usuario donde se detectaron defectos.

Matriz de Casos de Prueba de Sistemas

Nombre del Caso de prueba	Descripción del Caso de Prueba	Nombre del paso	Descripción del paso	Resultado esperado
10-PantallaTasaOfertadayDemandad_CapturaManual	Validar la pantalla de Tasa Ofertada y Tasa Demandada	1	El tester ingresa: - Número de filas Da clic en el botón: - Aceptar	Se despliega el número de filas introducidas
		2	El tester captura: - Vencimiento (en días) - Tasa Demandada - Tasa Ofertada	La pantalla muestra los datos capturados
		3	El tester ingresa: - El intercambio en días Da clic en el botón: - Tasas Swaps	Se despliega la pantalla de Tasas Swaps
20-PantallaTasasSwaps	Validar la pantalla de Tasas Swaps. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "PantallaTasaOfertadayDemandad_CapturaManual"	1	El tester válida en la pantalla Tasas Swap que los datos obtenidos estén correctos. de acuerdo la regla de Negocio	Los datos son correctos.
		2	El tester presiona el botón: - Tasa Cero	Se despliega la pantalla de Tasas Cero
30-PantallaTasasCero_CapturaManual	Validar la pantalla de Tasas Cero. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "20-PantallaTasasSwaps"	1	El tester ingresa: - Número de filas Da clic en el botón: - Aceptar	Se despliega en número de filas introducidas
		2	El tester captura: - Vencimiento (en días) - Tasa Cero	La pantalla muestra los datos capturados
		3	El tester captura:- Valor NominalDa clic en el botón:- Calcular Tasas Cero	La pantalla muestra las siguientes columnas con información:- Vencimiento (días)-Vencimiento (años)- Tasas Cero (%)- Cupón- Factor de Descuento
		4	El tester válida los datos obtenidos en la pantalla de acuerdo al Método de Bootstrapping	Los datos son correctos.
		5	El tester da clic en el botón: - Graficar Curva Cero	Se despliega la pantalla de Gráfica de Curva Cupón Cero

		6	El tester da clic en el botón: - Graficar Factor de Descuento	Se despliega la pantalla de Gráfica de Factor de Descuento
40-PantallaGraficaCurvaCero	Validar la pantalla de Gráfica Curva Cupón Cero. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "30-PantallaTasasCero_CapturaManual"	1	El tester da clic en el botón: - Graficar Curva Cero	Se despliega la pantalla de Gráfica de Curva Cupón Cero
		2	El tester válida que en la pantalla de Grafica de Tasas Cero muestre la gráfica de las tasas Cero obtenidas	Se muestra la gráfica de Tasas Cero
		3	El tester válida que la gráfica sea creciente.	La gráfica es creciente
50-PantallaGraficaFactorDescuento	Validar la pantalla de Gráfica Factor de Descuento Cero. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "30-PantallaTasasCero_CapturaManual"	1	El tester da clic en el botón: - Graficar Factor de Descuento	Se despliega la pantalla de Gráfica de Factor de Descuento
		2	El tester válida que en la pantalla de Grafica Factor de Descuento muestre la gráfica de los factores de descuento obtenidas	Se muestra la gráfica de Factores de Descuento
		3	El tester válida que la gráfica sea decreciente	La gráfica es decreciente
60-ComTasaOferTasaDemcon TasaSwap	Validar que exista la comunicación entre la pantalla de Tasas Ofertada y Demandada con la Pantalla de Tasas Swap. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "10-PantallaTasaOfertadayDemandad_CapturaManual"	1	El tester válida que los datos en la pantalla Tasa Ofertada y Demandada: - Vencimiento (días) Deben estar en la pantalla Tasas Swaps	En la pantalla de Tasas Swap se observan los datos (Vencimiento) deben da la pantalla Tasa Ofertada y Tasa Demandada
70-ComTasaSwapcon TasaCero	Validar que exista la comunicación entre la pantalla de Tasas Swaps con la Pantalla de Tasas Cero. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "20-PantallaTasasSwaps"	1	El tester válida que los datos en la pantalla Tasas Swap: - Vencimiento (días) Deben estar en la pantalla Tasas Cero	En la pantalla de Tasas Cero se observan los datos (Vencimiento) de la pantalla Tasas Swaps

80-ComTasaCeroconGraficaTasaCero	Validar que exista la comunicación entre la pantalla de Tasas Cero con la Pantalla de Gráfica Tasas Cero. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "40-PantallaGrafica"	1	El tester válida que los datos en la pantalla Tasas Cero: - Vencimiento (años) - Tasa Cero (%) Deben de observarse en la gráfica Tasas Cero	En la pantalla de Gráfica Curva Cupón Cero se observa la gráfica con los datos de la pantalla Tasas Cero
90-ComFactDescconGraficaFactorDescuento	Validar que exista la comunicación entre la pantalla de Tasas Cero con la Pantalla de Gráfica Factor de Descuento. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "40-PantallaGrafica"	1	El tester válida que los datos en la pantalla Tasas Cero: - Vencimiento (años) - Factor de Descuento Deben de observarse en la gráfica Factor de Descuento	En la pantalla de Gráfica Factor de Descuento se observa la gráfica con los datos de la pantalla Tasas Cero
100-CargaAutomTasaDemyOfeconPantallaDemyOfer	Validar la carga automática en la pantalla de tasa ofertada y demandada utilizando el archivo de datos de tasas ofertadas y demandadas. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "80-ArchivoTasaDemanyOfer"	1	El tester da clic en el botón:- Cargar Archivode la pantalla Tasa Demandada y Ofertada	Se despliega la pantalla Seleccionar archivo
		2	El tester selecciona la ruta del archivo "datosSwap.txt" - Da clic en abrir	La pantalla de Tasa Demandada y Ofertada muestra los datos capturados en las columnas: - Vencimiento (días) - Tasa Demandada - Tasa Ofertada
110-CargaAutomTasaCeroconPantallaTasaCero	Validar la carga automática en la pantalla tasas cero utilizando el archivo de datos de tasas cero. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "90-ArchivoTasaCero"	1	El tester da clic en el botón: - Cargar Archivo de la pantalla de Tasas Cero	Se despliega la pantalla Seleccionar archivo
		2	El tester selecciona la ruta del archivo "datosCero.txt" - Da clic en abrir	La pantalla de Tasas Cero muestra los datos capturados en las columnas: - Vencimiento (días) - Vencimiento (años) - Tasa Cero (%)

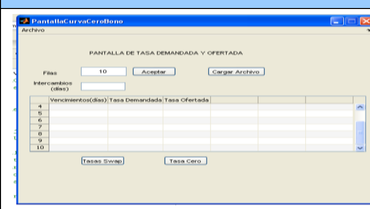
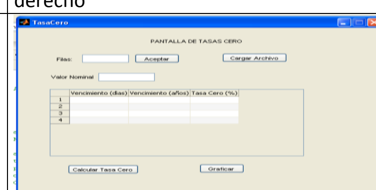
Matriz de Casos de Prueba de Usuario

Nombre del Caso de prueba	Descripción del Caso de Prueba	Nombre del paso	Descripción del paso	Resultado esperado
10-TasaParSwapconTasaDemandayOfertada_CapturaManual	Validar el cálculo de las tasas par swap obtenidas con las tasas demandadas y Ofertadas capturando manualmente las tasas demandadas y ofertadas	1	El tester ingresa: - Número de filas Da clic en el botón: - Aceptar	Se despliega el número de filas introducidas
		2	El tester captura: - Vencimiento (en días) - Tasa Demandada - Tasa Ofertada	La pantalla muestra los datos capturados
		3	El tester ingresa: - El intercambio en días Da clic en el botón: - Tasas Swaps	Se despliega la pantalla de Tasas Swaps
		4	El tester válida en la pantalla de Tasas Swap que los datos obtenidos estén correctos.	Los datos son correctos.
20-TasaParSwapconTasaDemandayOfertada_CargaAutomatica	Validar el cálculo de las tasas par swap obtenidas con las tasas demandadas y Ofertadas utilizando la carga automática de tasas ofertadas y demandadas	1	El tester da clic en el botón: - Cargar Archivo de la pantalla Tasa Demandada y Ofertada	Se despliega la pantalla Seleccionar archivo
		2	El tester selecciona la ruta del archivo "datosSwap.txt" - Da clic en abrir	La pantalla de Tasa Demandada y Ofertada muestra los datos capturados en las columnas: - Vencimiento (días) - Tasa Demandada - Tasa Ofertada
		3	El tester válida en la pantalla de Tasas Swap que los datos obtenidos estén correctos.	Los datos son correctos.
30-TasaCeroconBootstrapping_CapturaManual	Validar el cálculo de las tasa cero obtenidas con el método Bootstrapping, utilizando la tasa par swap para calcular el cupón capturando manualmente las tasas cero. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "10-TasaParSwapconTasaDemandayOfertada_CapturaManual"	1	El tester ingresa:- Número de filas Da clic en el botón: - Aceptar	Se despliega en número de filas introducidas

		2	El tester captura: - Vencimiento (en días) - Tasa Cero	La pantalla muestra los datos capturados
		3	El tester captura: - Valor Nominal Da clic en el botón: - Calcular Tasas Cero	La pantalla muestra las tasas cero
		4	El tester válida los datos obtenidos en la pantalla estén correctos de acuerdo al Método Bootstrapping	Los datos son correctos de acuerdo al Método Bootstrapping
40-TasaCeroconBootstrapping_CargaAutomatica	Validar el cálculo de las tasa cero obtenidas con el método Bootstrapping, utilizando la tasa par swap para calcular el cupón utilizando la carga automática de tasas ofertadas y demandadas. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "10-TasaParSwapconTasaDemandayOfertada_CapturaManual"	1	El tester da clic en el botón: - Cargar Archivo de la pantalla de Tasas Cero	Se despliega la pantalla Seleccionar archivo
		2	El tester selecciona la ruta del archivo "datosCero.txt" - Da clic en abrir	La pantalla de Tasas Cero muestra los datos capturados en las columnas: - Vencimiento (días) - Vencimiento (años) - Tasa Cero (%)
		3	El tester captura: - Valor Nominal Da clic en el botón: - Calcular Tasas Cero	La pantalla muestra las tasas cero
		4	El tester válida los datos obtenidos en la pantalla estén correctos de acuerdo al Método Bootstrapping	Los datos son correctos de acuerdo al Método Bootstrapping
50-GraficaTasasCero	Validar que la gráfica curva cupón cero sea vencimiento vs tasa cero. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "20-TasaCeroconBootstrapping"	1	El tester da clic en el botón de la pantalla Curva Cero: - Graficar Curva Cero	Se despliega la pantalla de Gráfica de Curva Cupón Cero

		2	El tester válida que en el eje X se encuentren los datos de vencimiento y en el eje Y las tasas cero	La gráfica es creciente
60-GraficaFactordeDescuento	Validar que la gráfica factor de descuento sea vencimiento vs factor de descuento. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "20-TasaCeroconBootstrapping"	1	El tester da clic en el botón de la pantalla Curva Cero: - Graficar Factor de Descuento	Se despliega la pantalla de Gráfica de Factor de Descuento
		2	El tester válida que en el eje X se encuentren los datos de vencimiento y en el eje Y los factores de descuento	La gráfica es decreciente

Relación de Defectos de Casos de Prueba de Sistemas

Nombre del Caso de prueba	Descripción del Caso de Prueba	Nombre del paso	Descripción del paso	Resultado esperado	Defectos
10-PantallaTasaOfertadayDemandad_CapturaManual	Validar la pantalla de Tasa Ofertada y Tasa Demandada	1	El tester ingresa: - Número de filas Da clic en el botón: - Aceptar	Se despliega el número de filas introducidas	 Se desplegaron Filas en la parte lado derecho
30-PantallaTasasCero_CapturaManual	Validar la pantalla de Tasas Cero. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "20-PantallaTasasSwaps"	1	El tester ingresa: - Número de filas Da clic en el botón: - Aceptar	Se despliega en número de filas introducidas	 Al introducir las filas no se desplegaron las filas

Relación de Defectos de Casos de Prueba de Usuario

Nombre del Caso de prueba	Descripción del Caso de Prueba	Nombre del paso	Descripción del paso	Resultado esperado	Defectos
10-TasaParSwapconTasaDemandayOfertada_CapturaManual	Validar el cálculo de las tasas par swap obtenidas con las tasas demandadas y Ofertadas capturando manualmente las tasas demandadas y ofertadas	2	El tester captura: - Vencimiento (en días) - Tasa Demandada - Tasa Ofertada	La pantalla muestra los datos capturados	 Falta el signo de % en Tasa Demandada y Ofertada
30-TasaCeroconBootstrapping_CapturaManual	Validar el cálculo de las tasa cero obtenidas con el método Bootstrapping, utilizando la tasa par swap para calcular el cupón capturando manualmente las tasas cero. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "10-TasaParSwapconTasaDemandayOfertada_CapturaManual""	1	El tester ingresa: - Número de filas Da clic en el botón: - Aceptar	Se despliega en número de filas introducidas	 Incluir las columnas: Cupón y Flujos de Efectivo
50-GraficaTasasCero	Validar que la gráfica curva cupón cero sea vencimiento vs tasa cero. Nota: Se debe de ejecutar antes el caso de prueba "20-TasaCeroconBootstrapping"	1	El tester válida que en el eje X se encuentren los datos de vencimiento y en el eje Y las tasas cero	La gráfica es creciente	 Cambiar Maduración por Vencimiento

IV.4.5. Despliegue

En el despliegue se muestra el producto final y la distribución a los usuarios. La figura (IV.7) muestra la manera de cómo se distribuirá a los usuarios, adicionalmente se les distribuirá un manual de usuario que también se muestra a continuación.

Figura IV.7. Distribución al Usuario.

Manual de Usuario: Pantalla Curva Cero

Versión 1.0

Tabla de Contenidos

Manual de Usuario: Pantalla Curva Cero

1. Introducción

Debido a la necesidad de contar con una herramienta que nos permita calcular la curva de tasas cero que sirva como referencia para poder valuar instrumentos financieros se ha desarrollado una aplicación.

Dicha aplicación está compuesta por varias pantallas, por lo tanto el presente describirá documento la utilización de estas pantallas que nos llevarán a calcular la curva cupón cero por medio de los bonos que determinan las Tasas Swaps utilizando el Método Bootstrapping.

Este manual está organizado de la siguiente manera:

- Objetivo del Manual
- Datos del Sistema
- Alcance del Manual
- Pantalla de Tasa Demandada y Tasa Ofertada
- Pantalla de Tasas Swap
- Pantalla de Tasas Cero
- Pantalla de Gráfica de Tasas Cero
- Pantalla de Gráfica de Factor de Descuento
- Referencias e información adicional

1.1 Objetivo del Manual

El objetivo de este manual es mostrar al usuario de Tasas Cero el funcionamiento del aplicativo para obtener la curva cupón cero determinada mediante bonos asociados a tasas swap usando el método Bootstrapping.

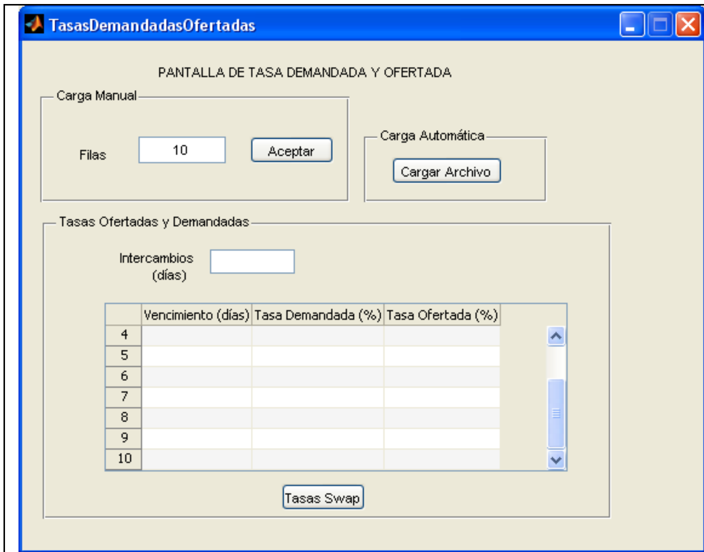
1.2 Datos del Sistema

Para el uso de la aplicación es necesario tener instalado en la PC Matlab R2010a o MCR (MATLAB Compiler Runtime 7.13).

1.3 Alcance del manual

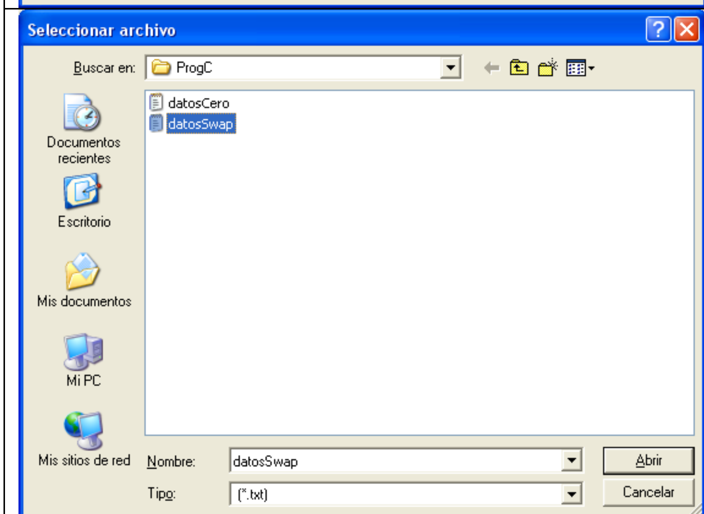
El alcance de este manual es proporcionar una guía para el usuario de Tasas Cero acerca de cómo utilizar las pantallas del aplicativo y así obtener una curva cero mediante bonos asociados a tasas swap usando el método Bootstrapping.

2. Pantalla de Tasa Demandada y Tasa Ofertada

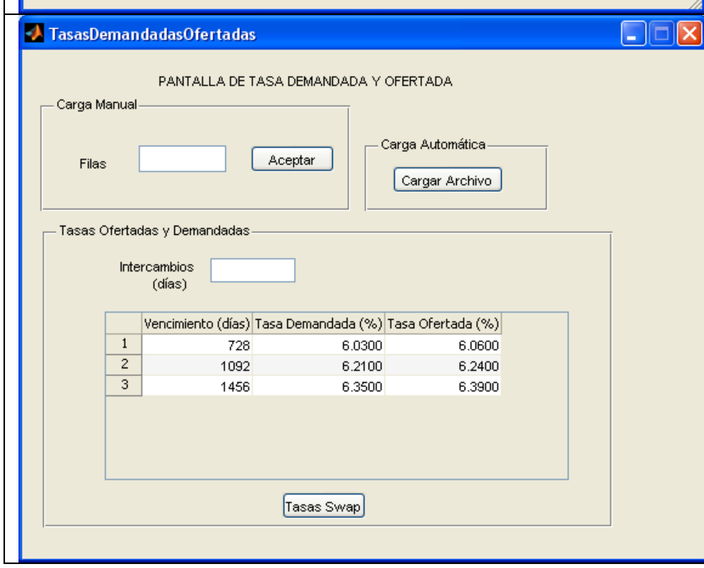


Para ingresar los datos (Tasa Demandada y Tasa Ofertada) existen dos formas:

a. Capturando los datos uno por uno:
   1. Ingresar el número de filas a capturar en el campo "Filas" y dar clic en el botón "Aceptar".
   2. Capturar el vencimiento en días de las tasas demandadas y ofertadas en la columna "Vencimiento (días)".
   3. Capturar la tasa demanda en la columna "Tasa Demandada" y capturar la tasa ofertada en la columna "Tasa Ofertada" de acuerdo a su vencimiento. Las tasas demandadas y ofertadas son las que se observan en el Mercado de Swaps

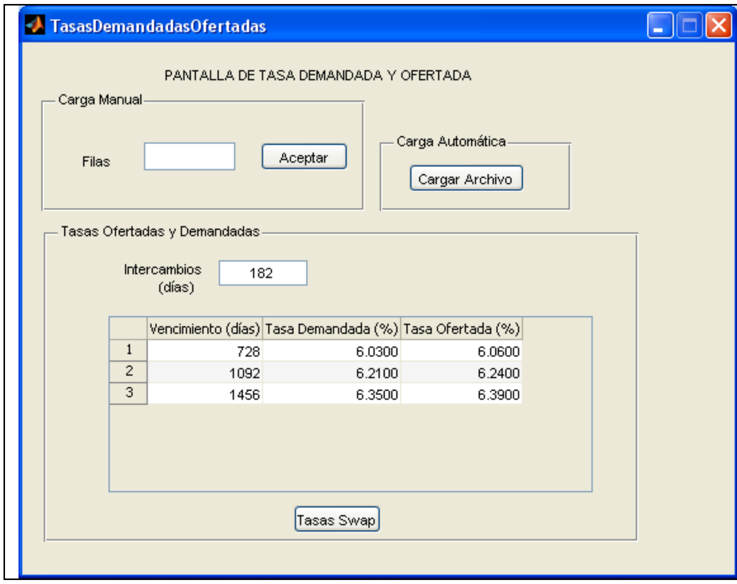


b. Cargar un archivo:
   1. Dar clic en el botón "Cargar Archivo".
   2. Seleccionar la ruta especificada donde se tenga guardado el archivo.
   3. Seleccionar el archivo "datosSwap.txt". Para ver la estructura del archivo ir a la sección 7. Referencias e información adicional
   4. Dar clic en el botón "Abrir"



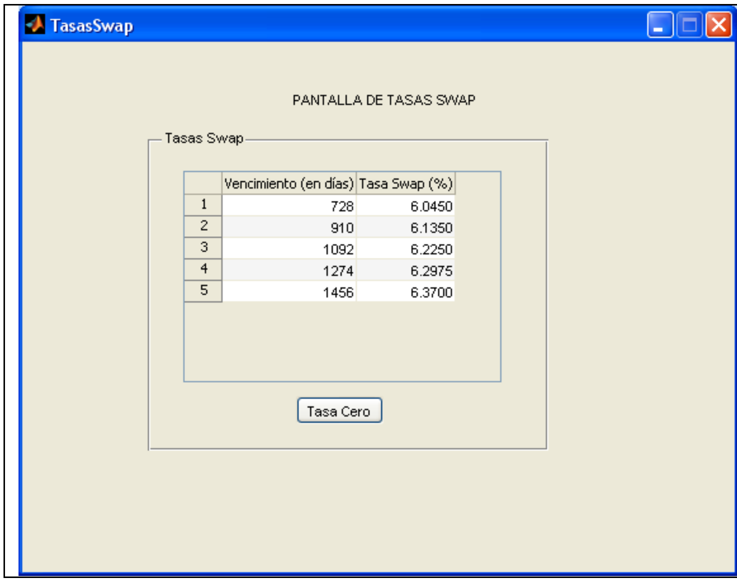
Una vez que tengamos las tasas demandadas y ofertadas:

1. Capturar el periodo en días que considere para realizar los intercambios de pagos o tasas en el campo "Intercambios (días)"



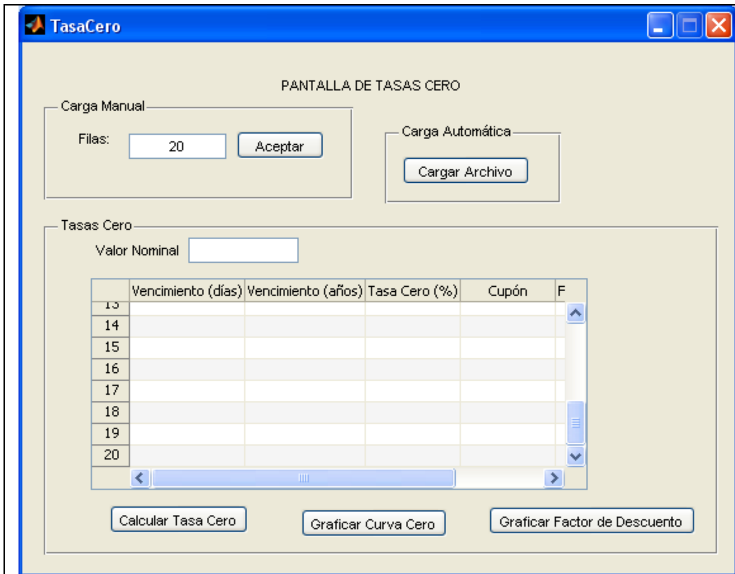
Para desplegar la pantalla de Tasas Swaps dar clic el botón “Tasas Swap”

3. Pantalla de Tasas Swaps



Una vez que tengamos abierta la Pantalla de Tasas Swap podemos abrir la Pantalla de Tasas Cero dando clic en el botón “Tasa Cero”

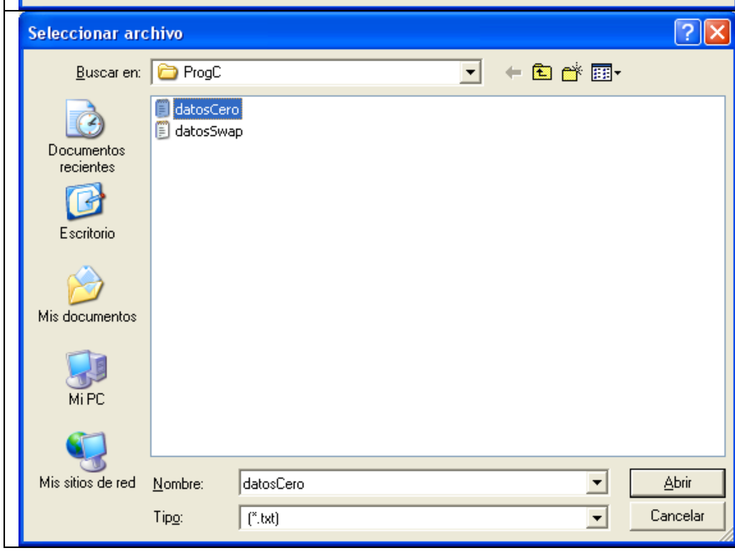
4. Pantalla de Tasas Cero



Para ingresar los datos (Tasas Cero) existen dos formas. Se capturan las tasas cero suponiendo que se ha determinado dichas tasas y de acuerdo a su vencimiento:

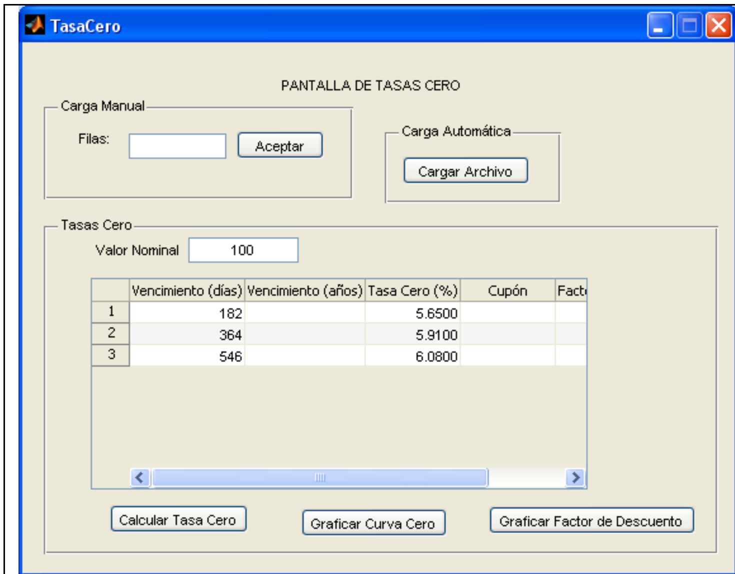
a. Capturando los datos uno por uno:
   1. Ingresar el número de filas a capturar en el campo “Filas” y dar clic en el botón “Aceptar”.
   2. Capturar el vencimiento en días de las tasas cero en la columna “Vencimiento (días)”.
   3. Capturar la tasa cero en la columna “Tasa Cero (%)”.

Nota: El botón “Calcular Tasas Cero” sólo se habilitará al dar clic en el botón “Aceptar” de la pantalla “TasaCero”



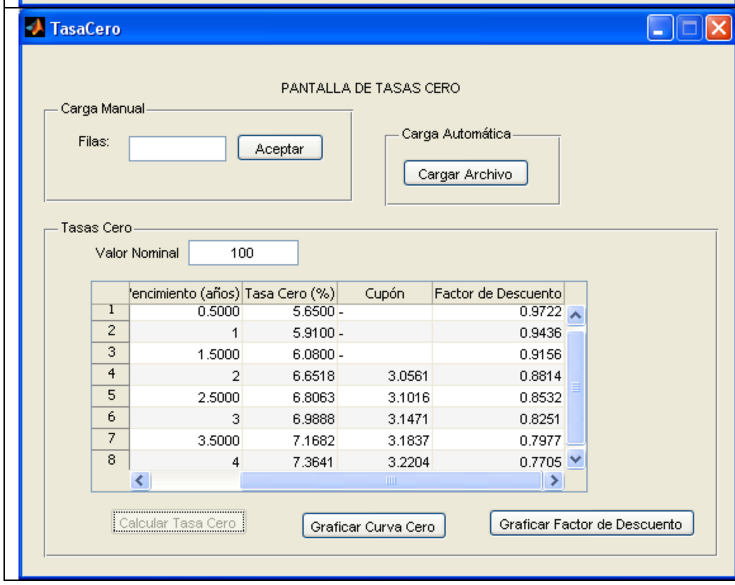
b. Cargar un archivo:
   1. Dar clic en el botón “Cargar Archivo”.
   2. Seleccionar la ruta especificada donde se tenga guardado el archivo.
   3. Seleccionar el archivo “datosCero.txt”. Para ver la estructura del archivo ir a la sección 7. Referencias e información adicional
   4. Dar clic en el botón “Abrir”

Nota: El botón “Calcular Tasas Cero” sólo se habilitará al dar clic en el botón “Aceptar” de la pantalla “Seleccionar Archivo”



Una vez que tenemos nuestras tasas cero:

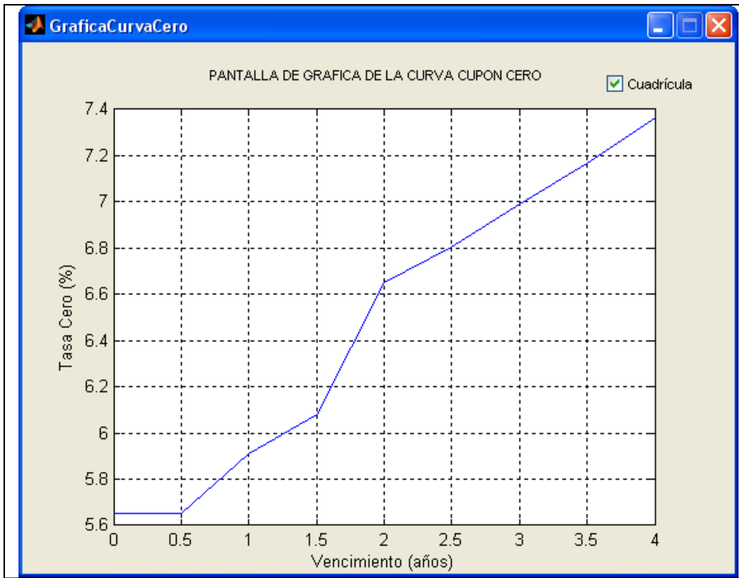
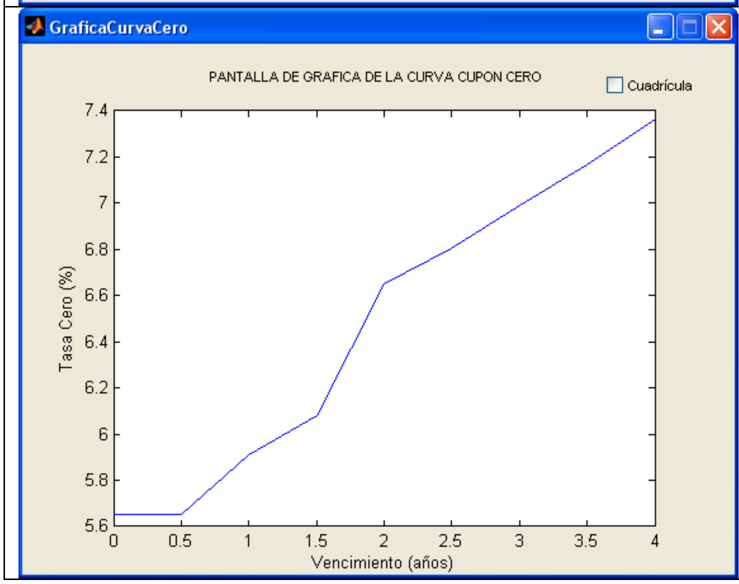
1. Capturamos el valor nominal de los bonos suponiendo que es el mismo para todos, en el campo "Valor Nominal"
2. Dar clic en el botón "Calcular Tasa Cero"



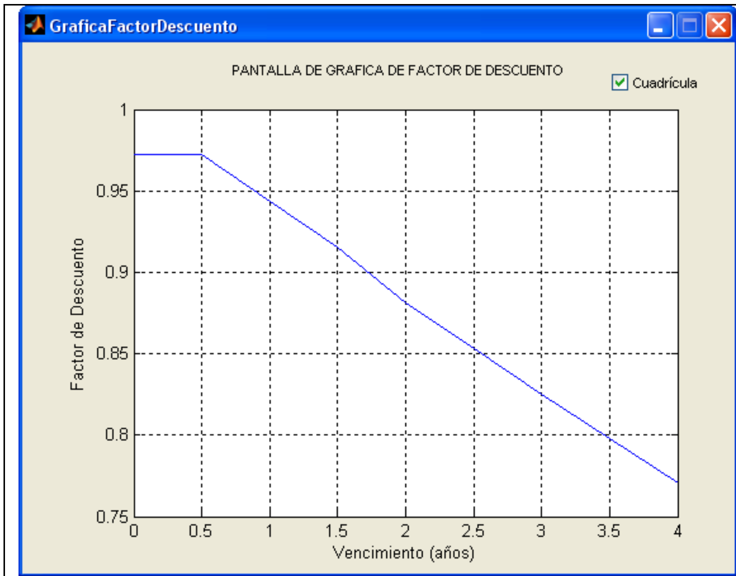
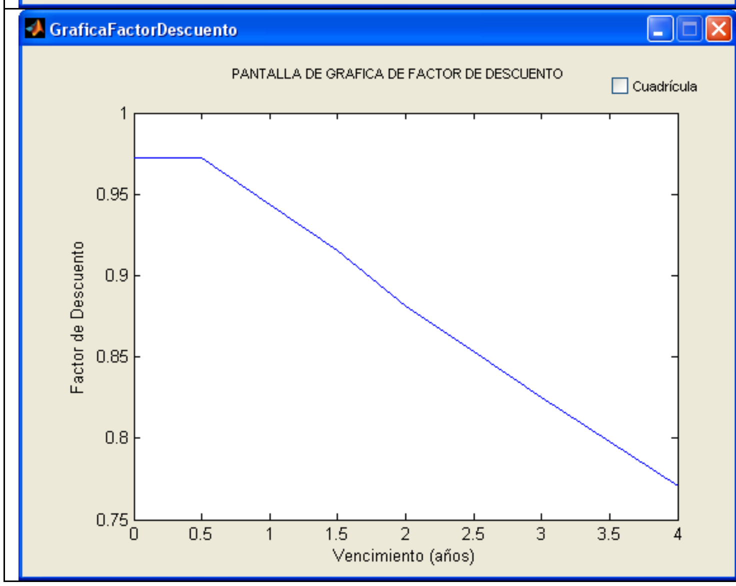
3. Para obtener la gráfica de la curva cero dar clic en el botón "Graficar Curva Cero".
4. Para obtener la gráfica de los factores de descuento dar clic en el botón "Graficar Factor de Descuento".

Nota: Si se desea obtener una nueva Curva Cero con los mismos datos de Tasas Swap, se debe cerrar la pantalla "TasaCero" y abrirla nuevamente desde la pantalla "TasasSwap".

5. Pantalla de Gráfica Tasas Cero

	1. En la pantalla de gráfica Curva Cero, observamos la curva cupón cero.
	2. Para quitar la cuadricula dar clic en el check “Cuadricula”.

6. Pantalla de Gráfica Factor de Descuento

	1. En la pantalla de gráfica factor de descuento observamos la gráfica de los factores de descuento.
	2. Para quitar la cuadricula dar clic en el check "Cuadricula".

7. Referencias e información adicional

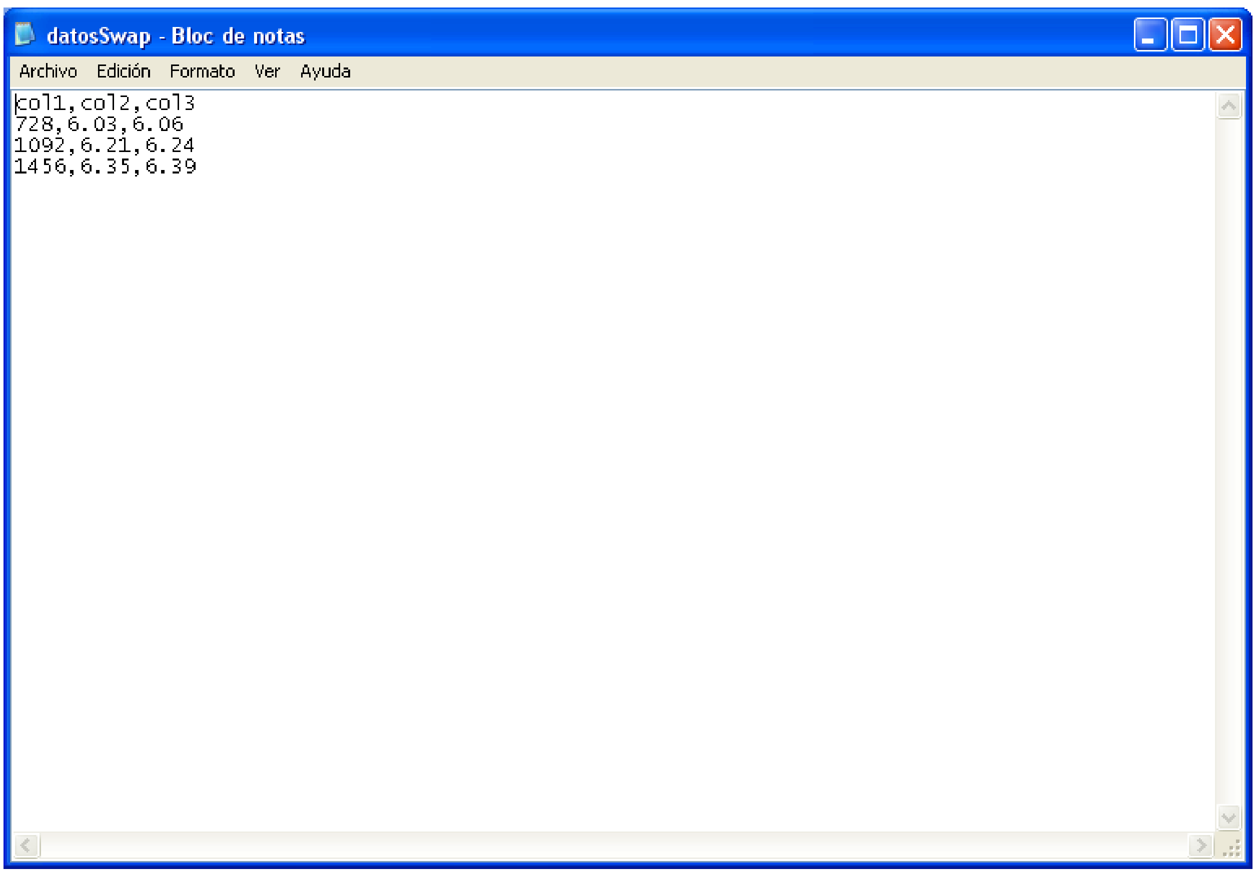
Cuando se utilicé el botón "Cargar Archivo" para las pantallas:

- Pantalla de Tasa Demanda y Ofertada.
- Pantalla de Tasas Cero

Es importante tener en consideración el siguiente layout:

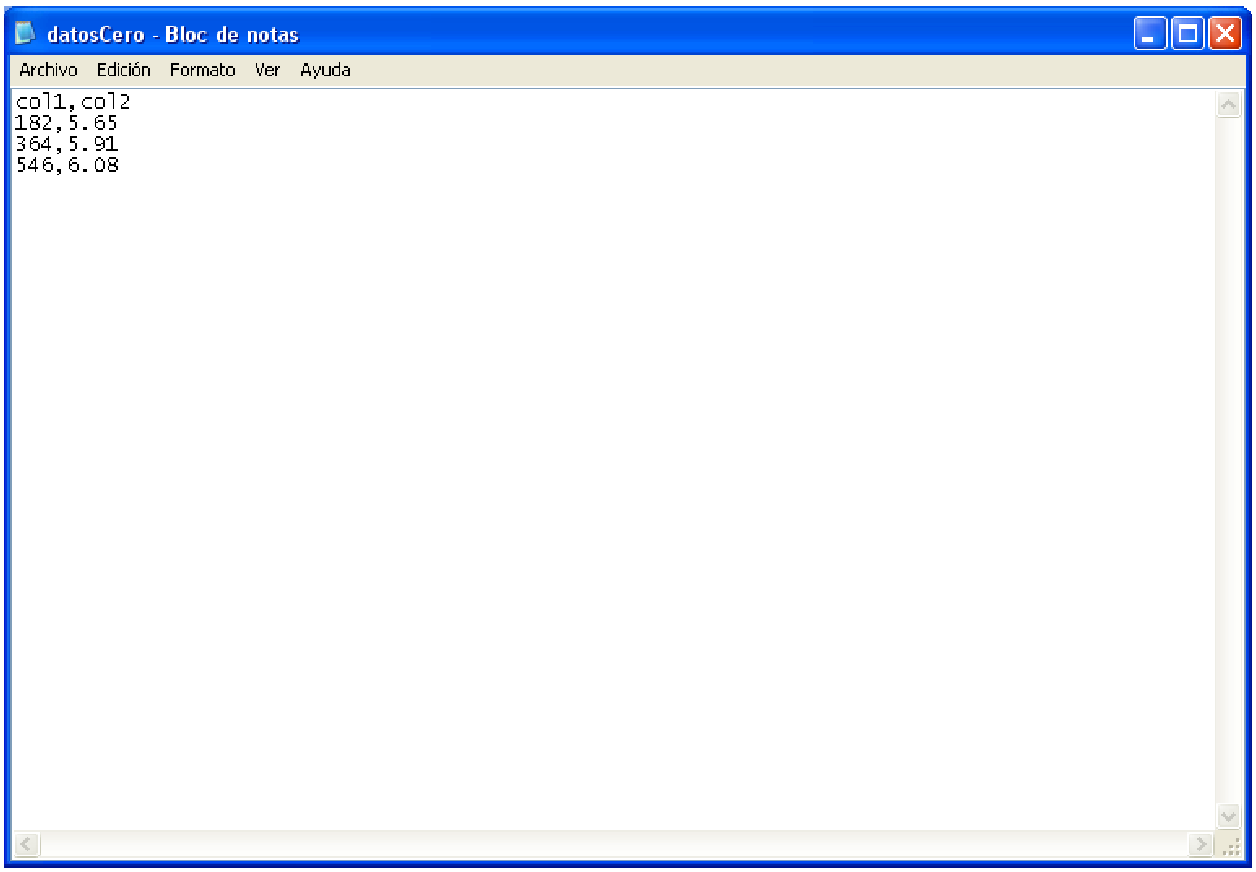
Layout Archivo "datosSwap"			
REGISTRO HEADER	Longitud	Descripción	Valor
col1	4	Etiqueta	col1
,	1	Coma	,
col2	4	Etiqueta	col2
,	1	Coma	,
col3	4	Etiqueta	col3
REGISTRO DATOS	Longitud	Descripción	Valor
col1	9(10)	Vencimiento en días	double
,	1	Coma	,
col2	999.9999	Tasa Demandada en porcentaje	double
,	1	Coma	,
col3	999.9999	Tasa Ofertada en porcentaje	double

Ejemplo de Archivo “datosSwap.txt”:



Layout Archivo "datosCero"			
REGISTRO HEADER	Longitud	Descripción	Valor
col1	4	Etiqueta	col1
,	1	Coma	,
col2	4	Etiqueta	col1
REGISTRO DATOS	Longitud	Descripción	Valor
col1	9(10)	Vencimiento en días	Doublé
,	1	Coma	,
col2	999.9999	Tasa Cero en porcentaje	Doublé

Ejemplo de archivo “datosCero.txt”:

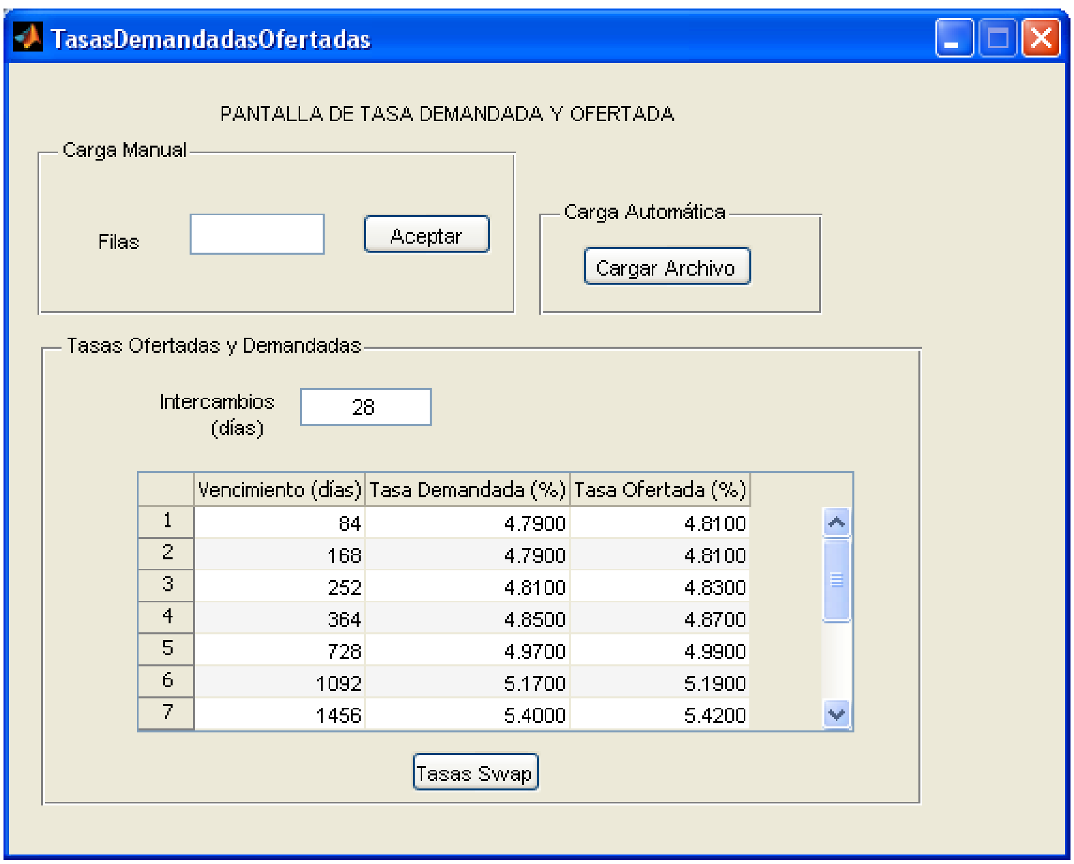


IV.4.6. Ejemplo práctico del cálculo de la curva cero

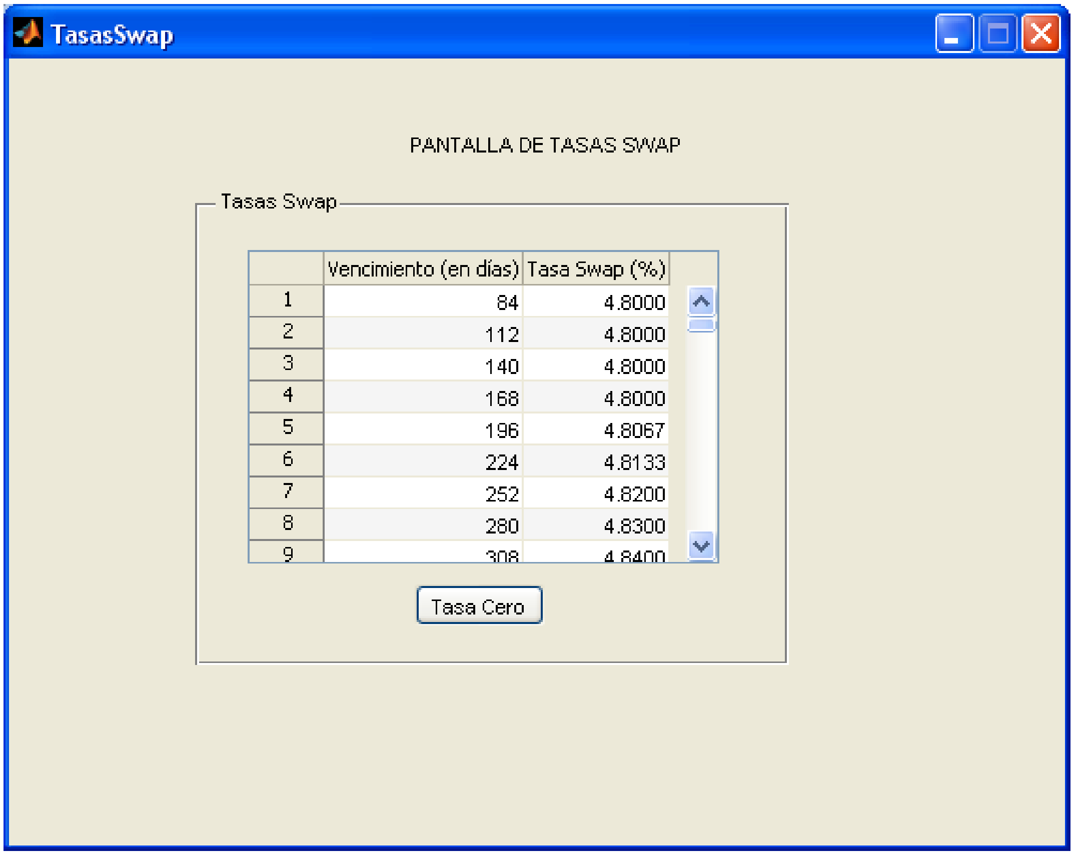
Este ejemplo se realizo con tasas derivadas de la pantalla de cotización de un swaps de mercado en México el 15 de febrero de 2012, proporcionadas por un proveedor de tasas.

1. Se carga el archivo que contiene las tasas demandadas y ofertadas del swap, obtenidas del mercado y se captura el periodo (en días) de intercambios.

Contrato	Vencimiento (en días)	Tasa Demandada (BID)	Tasa Ofertada (OFFER)
3X1	84	4.79	4.81
6X1	168	4.79	4.81
9X1	252	4.81	4.83
13X1	364	4.85	4.87
26X1	728	4.97	4.99
39X1	1092	5.17	5.19
52X1	1456	5.4	5.42
65X1	1820	5.62	5.64
91X1	2548	6.09	6.11
130X1	3640	6.55	6.57
195X1	5460	7.3	7.32
260X1	7280	7.7	7.72
390X1	10920	8	8.02



2. Para obtener las tasas swaps se presiona el botón Tasas Swap de la “Pantalla de Tasa Demanda y Ofertada”.

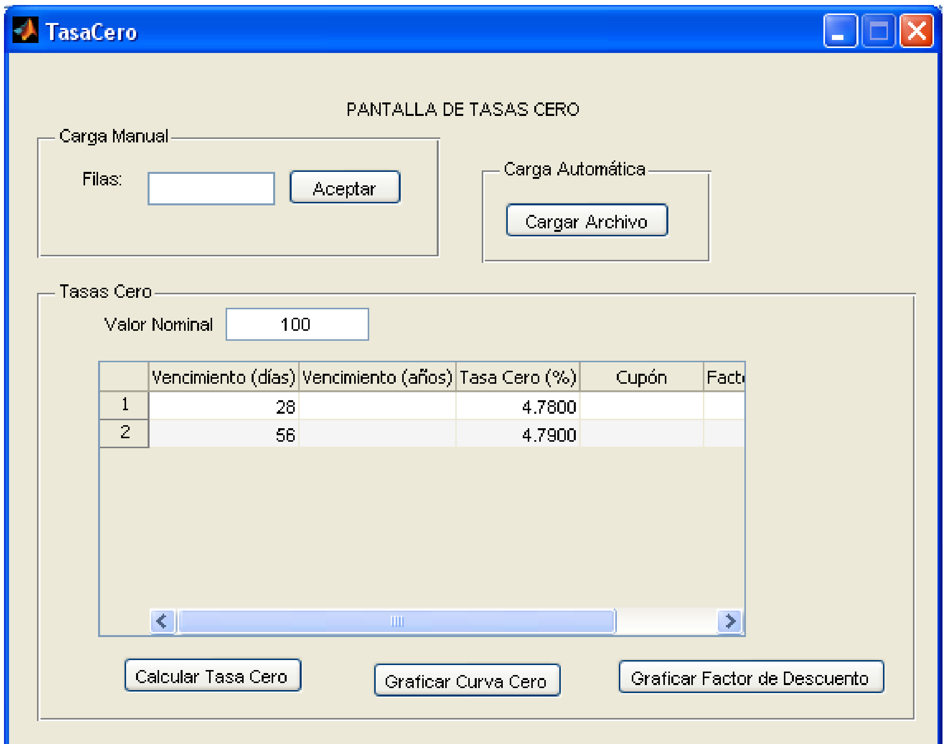


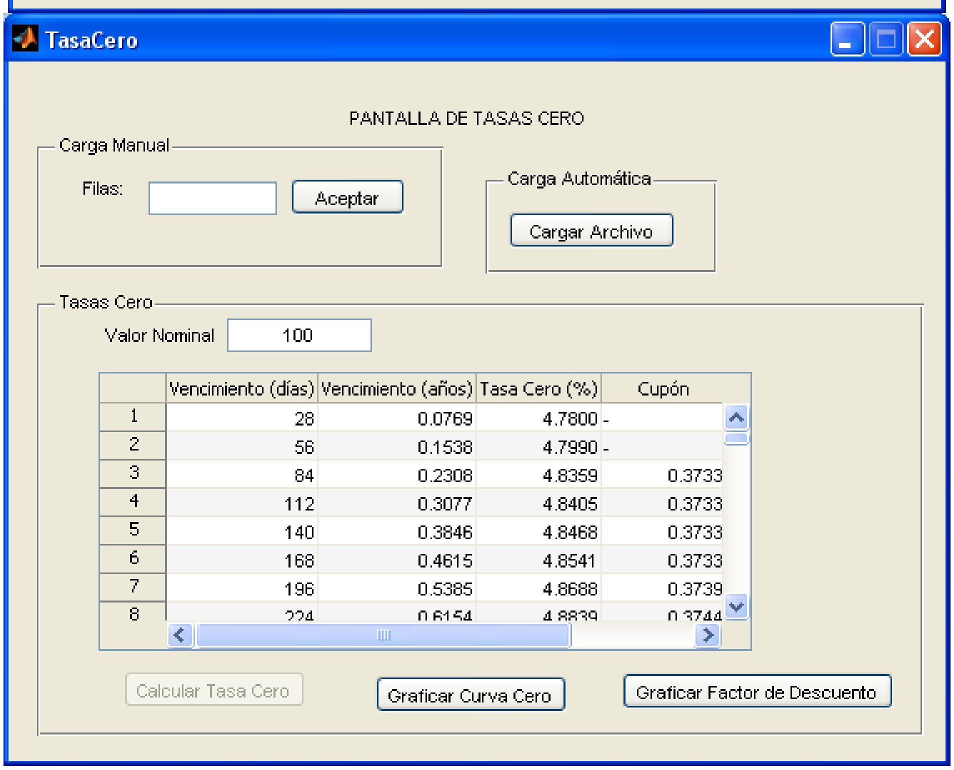
Vencimiento (en días)	Tasas Swap para cada 28 días	Vencimiento (en días)	Tasas Swap para cada 28 días	Vencimiento (en días)	Tasas Swap para cada 28 días	Vencimiento (en días)	Tasas Swap para cada 28 días
84	4.8	**1204**	5.2508	**2324**	5.9554	**3444**	6.4774
112	4.8	**1232**	5.2685	**2352**	5.9735	**3472**	6.4892
140	4.8	**1260**	5.2862	**2380**	5.9915	**3500**	6.501
168	4.8	**1288**	5.3038	**2408**	6.0096	**3528**	6.5128
196	4.8067	**1316**	5.3215	**2436**	6.0277	**3556**	6.5246
224	4.8133	**1344**	5.3392	**2464**	6.0458	**3584**	6.5364
252	4.82	**1372**	5.3569	**2492**	6.0638	**3612**	6.5482
280	4.83	**1400**	5.3746	**2520**	6.0819	**3640**	6.56
308	4.84	**1428**	5.3923	**2548**	6.1	**3668**	6.5715
336	4.85	**1456**	5.41	**2576**	6.1118	**3696**	6.5831
364	4.86	**1484**	5.4269	**2604**	6.1236	**3724**	6.5946
392	4.8692	**1512**	5.4438	**2632**	6.1354	**3752**	6.6062
420	4.8785	**1540**	5.4608	**2660**	6.1472	**3780**	6.6177
448	4.8877	**1568**	5.4777	**2688**	6.159	**3808**	6.6292
476	4.8969	**1596**	5.4946	**2716**	6.1708	**3836**	6.6408
504	4.9062	**1624**	5.5115	**2744**	6.1826	**3864**	6.6523
532	4.9154	**1652**	5.5285	**2772**	6.1944	**3892**	6.6638
560	4.9246	**1680**	5.5454	**2800**	6.2062	**3920**	6.6754
588	4.9338	**1708**	5.5623	**2828**	6.2179	**3948**	6.6869
616	4.9431	**1736**	5.5792	**2856**	6.2297	**3976**	6.6985
644	4.9523	**1764**	5.5962	**2884**	6.2415	**4004**	6.71
672	4.9615	**1792**	5.6131	**2912**	6.2533	**4032**	6.7215
700	4.9708	**1820**	5.63	**2940**	6.2651	**4060**	6.7331
728	4.98	**1848**	5.6481	**2968**	6.2769	**4088**	6.7446
756	4.9954	**1876**	5.6662	**2996**	6.2887	**4116**	6.7562
784	5.0108	**1904**	5.6842	**3024**	6.3005	**4144**	6.7677
812	5.0262	**1932**	5.7023	**3052**	6.3123	**4172**	6.7792
840	5.0415	**1960**	5.7204	**3080**	6.3241	**4200**	6.7908
868	5.0569	**1988**	5.7385	**3108**	6.3359	**4228**	6.8023
896	5.0723	**2016**	5.7565	**3136**	6.3477	**4256**	6.8138
924	5.0877	**2044**	5.7746	**3164**	6.3595	**4284**	6.8254
952	5.1031	**2072**	5.7927	**3192**	6.3713	**4312**	6.8369
980	5.1185	**2100**	5.8108	**3220**	6.3831	**4340**	6.8485
1008	5.1338	**2128**	5.8288	**3248**	6.3949	**4368**	6.86
1036	5.1492	**2156**	5.8469	**3276**	6.4067	**4396**	6.8715
1064	5.1646	**2184**	5.865	**3304**	6.4185	**4424**	6.8831
1092	5.18	**2212**	5.8831	**3332**	6.4303	**4452**	6.8946
1120	5.1977	**2240**	5.9012	**3360**	6.4421	**4480**	6.9062
1148	5.2154	**2268**	5.9192	**3388**	6.4538	**4508**	6.9177
1176	5.2331	**2296**	5.9373	**3416**	6.4656	**4536**	6.9292

Vencimiento (en días)	Tasas Swap para cada 28 días	Vencimiento (en días)	Tasas Swap para cada 28 días	Vencimiento (en días)	Tasas Swap para cada 28 días	Vencimiento (en días)	Tasas Swap para cada 28 días
4564	6.9408	**5684**	7.3592	**6804**	7.6054	**7924**	7.7631
4592	6.9523	**5712**	7.3654	**6832**	7.6115	**7952**	7.7654
4620	6.9638	**5740**	7.3715	**6860**	7.6177	**7980**	7.7677
4648	6.9754	**5768**	7.3777	**6888**	7.6238	**8008**	7.77
4676	6.9869	**5796**	7.3838	**6916**	7.63	**8036**	7.7723
4704	6.9985	**5824**	7.39	**6944**	7.6362	**8064**	7.7746
4732	7.01	**5852**	7.3962	**6972**	7.6423	**8092**	7.7769
4760	7.0215	**5880**	7.4023	**7000**	7.6485	**8120**	7.7792
4788	7.0331	**5908**	7.4085	**7028**	7.6546	**8148**	7.7815
4816	7.0446	**5936**	7.4146	**7056**	7.6608	**8176**	7.7838
4844	7.0562	**5964**	7.4208	**7084**	7.6669	**8204**	7.7862
4872	7.0677	**5992**	7.4269	**7112**	7.6731	**8232**	7.7885
4900	7.0792	**6020**	7.4331	**7140**	7.6792	**8260**	7.7908
4928	7.0908	**6048**	7.4392	**7168**	7.6854	**8288**	7.7931
4956	7.1023	**6076**	7.4454	**7196**	7.6915	**8316**	7.7954
4984	7.1138	**6104**	7.4515	**7224**	7.6977	**8344**	7.7977
5012	7.1254	**6132**	7.4577	**7252**	7.7038	**8372**	7.8
5040	7.1369	**6160**	7.4638	**7280**	7.71	**8400**	7.8023
5068	7.1485	**6188**	7.47	**7308**	7.7123	**8428**	7.8046
5096	7.16	**6216**	7.4762	**7336**	7.7146	**8456**	7.8069
5124	7.1715	**6244**	7.4823	**7364**	7.7169	**8484**	7.8092
5152	7.1831	**6272**	7.4885	**7392**	7.7192	**8512**	7.8115
5180	7.1946	**6300**	7.4946	**7420**	7.7215	**8540**	7.8138
5208	7.2062	**6328**	7.5008	**7448**	7.7238	**8568**	7.8162
5236	7.2177	**6356**	7.5069	**7476**	7.7262	**8596**	7.8185
5264	7.2292	**6384**	7.5131	**7504**	7.7285	**8624**	7.8208
5292	7.2408	**6412**	7.5192	**7532**	7.7308	**8652**	7.8231
5320	7.2523	**6440**	7.5254	**7560**	7.7331	**8680**	7.8254
5348	7.2638	**6468**	7.5315	**7588**	7.7354	**8708**	7.8277
5376	7.2754	**6496**	7.5377	**7616**	7.7377	**8736**	7.83
5404	7.2869	**6524**	7.5438	**7644**	7.74	**8764**	7.8323
5432	7.2985	**6552**	7.55	**7672**	7.7423	**8792**	7.8346
5460	7.31	**6580**	7.5562	**7700**	7.7446	**8820**	7.8369
5488	7.3162	**6608**	7.5623	**7728**	7.7469	**8848**	7.8392
5516	7.3223	**6636**	7.5685	**7756**	7.7492	**8876**	7.8415
5544	7.3285	**6664**	7.5746	**7784**	7.7515	**8904**	7.8438
5572	7.3346	**6692**	7.5808	**7812**	7.7538	**8932**	7.8462
5600	7.3408	**6720**	7.5869	**7840**	7.7562	**8960**	7.8485
5628	7.3469	**6748**	7.5931	**7868**	7.7585	**8988**	7.8508
5656	7.3531	**6776**	7.5992	**7896**	7.7608	**9016**	7.8531

Vencimiento (en días)	Tasas Swap para cada 28 días	Vencimiento (en días)	Tasas Swap para cada 28 días
9044	7.8554	**10164**	7.9477
9072	7.8577	**10192**	7.95
9100	7.86	**10220**	7.9523
9128	7.8623	**10248**	7.9546
9156	7.8646	**10276**	7.9569
9184	7.8669	**10304**	7.9592
9212	7.8692	**10332**	7.9615
9240	7.8715	**10360**	7.9638
9268	7.8738	**10388**	7.9662
9296	7.8762	**10416**	7.9685
9324	7.8785	**10444**	7.9708
9352	7.8808	**10472**	7.9731
9380	7.8831	**10500**	7.9754
9408	7.8854	**10528**	7.9777
9436	7.8877	**10556**	7.98
9464	7.89	**10584**	7.9823
9492	7.8923	**10612**	7.9846
9520	7.8946	**10640**	7.9869
9548	7.8969	**10668**	7.9892
9576	7.8992	**10696**	7.9915
9604	7.9015	**10724**	7.9938
9632	7.9038	**10752**	7.9962
9660	7.9062	**10780**	7.9985
9688	7.9085	**10808**	8.0008
9716	7.9108	**10836**	8.0031
9744	7.9131	**10864**	8.0054
9772	7.9154		
9800	7.9177		
9828	7.92		
9856	7.9223		
9884	7.9246		
9912	7.9269		
9940	7.9292		
9968	7.9315		
9996	7.9338		
10024	7.9362		
10052	7.9385		
10080	7.9408		
10108	7.9431		
10136	7.9454		

3. Se carga el archivo de tasas cero, para el primer nodo la TIIE es de 4.78%, y para el segundo, se toma la media de las tasas correspondientes a los vencimientos de 28 y 84, lo que da una tasa de 4.79% para el vencimiento a 56 días. Se captura el valor nominal. Posteriormente se presiona el botón “Calcular Tasa Cero”.





Vencimiento (días)	Vencimiento (años)	Tasa Cero (%)	Cupón	Factor de Descuento
28	0.0769	4.78	-	0.9963
56	0.1538	4.79	-	0.9926
84	0.2308	4.8359	0.3733	0.9888
112	0.3077	4.8405	0.3733	0.9852
140	0.3846	4.8468	0.3733	0.9815
168	0.4615	4.8541	0.3733	0.9778
196	0.5385	4.8688	0.3739	0.9742
224	0.6154	4.8839	0.3744	0.9705
252	0.6923	4.8993	0.3749	0.9668
280	0.7692	4.9184	0.3757	0.9632
308	0.8462	4.9378	0.3764	0.9595
336	0.9231	4.9573	0.3772	0.9558
364	1	4.9771	0.378	0.9521
392	1.0769	4.9961	0.3787	0.9484
420	1.1538	5.0153	0.3794	0.9447
448	1.2308	5.0347	0.3802	0.941
476	1.3077	5.0542	0.3809	0.9374
504	1.3846	5.0738	0.3816	0.9337
532	1.4615	5.0936	0.3823	0.93
560	1.5385	5.1135	0.383	0.9263
588	1.6154	5.1335	0.3837	0.9226
616	1.6923	5.1536	0.3845	0.919
644	1.7692	5.1739	0.3852	0.9153
672	1.8462	5.1944	0.3859	0.9116
700	1.9231	5.2149	0.3866	0.9079
728	2	5.2356	0.3873	0.9043
756	2.0769	5.2636	0.3885	0.9005
784	2.1538	5.2918	0.3897	0.8967
812	2.2308	5.3202	0.3909	0.8929
840	2.3077	5.3487	0.3921	0.889
868	2.3846	5.3775	0.3933	0.8852
896	2.4615	5.4065	0.3945	0.8814
924	2.5385	5.4357	0.3957	0.8776
952	2.6154	5.4651	0.3969	0.8737
980	2.6923	5.4948	0.3981	0.8699
1008	2.7692	5.5246	0.3993	0.866
1036	2.8462	5.5547	0.4005	0.8622
1064	2.9231	5.585	0.4017	0.8583
1092	3	5.6155	0.4029	0.8545
1120	3.0769	5.6492	0.4043	0.8505

Vencimiento (días)	Vencimiento (años)	Tasa Cero (%)	Cupón	Factor de Descuento
1148	3.1538	5.6831	0.4056	0.8466
1176	3.2308	5.7173	0.407	0.8426
1204	3.3077	5.7518	0.4084	0.8387
1232	3.3846	5.7865	0.4098	0.8347
1260	3.4615	5.8215	0.4111	0.8307
1288	3.5385	5.8568	0.4125	0.8268
1316	3.6154	5.8924	0.4139	0.8228
1344	3.6923	5.9283	0.4153	0.8188
1372	3.7692	5.9644	0.4166	0.8148
1400	3.8462	6.0009	0.418	0.8108
1428	3.9231	6.0376	0.4194	0.8068
1456	4	6.0746	0.4208	0.8028
1484	4.0769	6.1109	0.4221	0.7988
1512	4.1538	6.1475	0.4234	0.7948
1540	4.2308	6.1844	0.4247	0.7908
1568	4.3077	6.2216	0.426	0.7868
1596	4.3846	6.259	0.4274	0.7828
1624	4.4615	6.2969	0.4287	0.7788
1652	4.5385	6.335	0.43	0.7748
1680	4.6154	6.3734	0.4313	0.7708
1708	4.6923	6.4122	0.4326	0.7667
1736	4.7692	6.4513	0.4339	0.7627
1764	4.8462	6.4908	0.4353	0.7587
1792	4.9231	6.5305	0.4366	0.7547
1820	5	6.5707	0.4379	0.7506
1848	5.0769	6.6129	0.4393	0.7466
1876	5.1538	6.6556	0.4407	0.7425
1904	5.2308	6.6986	0.4421	0.7384
1932	5.3077	6.7421	0.4435	0.7343
1960	5.3846	6.7859	0.4449	0.7302
1988	5.4615	6.8301	0.4463	0.7261
2016	5.5385	6.8748	0.4477	0.722
2044	5.6154	6.9198	0.4491	0.7179
2072	5.6923	6.9653	0.4505	0.7138
2100	5.7692	7.0111	0.4519	0.7097
2128	5.8462	7.0575	0.4534	0.7056
2156	5.9231	7.1042	0.4548	0.7015
2184	6	7.1514	0.4562	0.6974
2212	6.0769	7.199	0.4576	0.6933
2240	6.1538	7.2471	0.459	0.6892

Vencimiento (días)	Vencimiento (años)	Tasa Cero (%)	Cupón	Factor de Descuento
2268	6.2308	7.2957	0.4604	0.6851
2296	6.3077	7.3447	0.4618	0.681
2324	6.3846	7.3942	0.4632	0.6769
2352	6.4615	7.4442	0.4646	0.6728
2380	6.5385	7.4947	0.466	0.6687
2408	6.6154	7.5457	0.4674	0.6646
2436	6.6923	7.5972	0.4688	0.6605
2464	6.7692	7.6492	0.4702	0.6564
2492	6.8462	7.7017	0.4716	0.6523
2520	6.9231	7.7548	0.473	0.6482
2548	7	7.8084	0.4744	0.6441
2576	7.0769	7.85	0.4754	0.6403
2604	7.1538	7.892	0.4763	0.6366
2632	7.2308	7.9343	0.4772	0.6329
2660	7.3077	7.977	0.4781	0.6292
2688	7.3846	8.0201	0.479	0.6255
2716	7.4615	8.0636	0.4799	0.6218
2744	7.5385	8.1074	0.4809	0.6181
2772	7.6154	8.1517	0.4818	0.6144
2800	7.6923	8.1964	0.4827	0.6107
2828	7.7692	8.2414	0.4836	0.607
2856	7.8462	8.2869	0.4845	0.6033
2884	7.9231	8.3328	0.4855	0.5997
2912	8	8.3791	0.4864	0.596
2940	8.0769	8.4258	0.4873	0.5924
2968	8.1538	8.473	0.4882	0.5887
2996	8.2308	8.5206	0.4891	0.5851
3024	8.3077	8.5686	0.49	0.5815
3052	8.3846	8.6171	0.491	0.5779
3080	8.4615	8.6661	0.4919	0.5742
3108	8.5385	8.7155	0.4928	0.5706
3136	8.6154	8.7653	0.4937	0.567
3164	8.6923	8.8157	0.4946	0.5634
3192	8.7692	8.8665	0.4955	0.5599
3220	8.8462	8.9178	0.4965	0.5563
3248	8.9231	8.9695	0.4974	0.5527
3276	9	9.0218	0.4983	0.5492
3304	9.0769	9.0746	0.4992	0.5456
3332	9.1538	9.1279	0.5001	0.5421
3360	9.2308	9.1817	0.501	0.5385

Vencimiento (días)	Vencimiento (años)	Tasa Cero (%)	Cupón	Factor de Descuento
3388	9.3077	9.236	0.502	0.535
3416	9.3846	9.2909	0.5029	0.5315
3444	9.4615	9.3463	0.5038	0.5279
3472	9.5385	9.4022	0.5047	0.5244
3500	9.6154	9.4587	0.5056	0.5209
3528	9.6923	9.5158	0.5066	0.5175
3556	9.7692	9.5734	0.5075	0.514
3584	9.8462	9.6316	0.5084	0.5105
3612	9.9231	9.6904	0.5093	0.507
3640	10	9.7497	0.5102	0.5036
3668	10.0769	9.809	0.5111	0.5001
3696	10.1538	9.8688	0.512	0.4967
3724	10.2308	9.9292	0.5129	0.4933
3752	10.3077	9.9902	0.5138	0.4899
3780	10.3846	10.0519	0.5147	0.4865
3808	10.4615	10.1142	0.5156	0.4831
3836	10.5385	10.1771	0.5165	0.4797
3864	10.6154	10.2407	0.5174	0.4764
3892	10.6923	10.3049	0.5183	0.473
3920	10.7692	10.3699	0.5192	0.4697
3948	10.8462	10.4354	0.5201	0.4663
3976	10.9231	10.5017	0.521	0.463
4004	11	10.5687	0.5219	0.4597
4032	11.0769	10.6364	0.5228	0.4564
4060	11.1538	10.7048	0.5237	0.453
4088	11.2308	10.774	0.5246	0.4498
4116	11.3077	10.8439	0.5255	0.4465
4144	11.3846	10.9146	0.5264	0.4432
4172	11.4615	10.986	0.5273	0.4399
4200	11.5385	11.0582	0.5282	0.4367
4228	11.6154	11.1312	0.5291	0.4334
4256	11.6923	11.205	0.53	0.4302
4284	11.7692	11.2796	0.5309	0.4269
4312	11.8462	11.3551	0.5318	0.4237
4340	11.9231	11.4314	0.5327	0.4205
4368	12	11.5085	0.5336	0.4173
4396	12.0769	11.5865	0.5345	0.4141
4424	12.1538	11.6655	0.5354	0.4109
4452	12.2308	11.7453	0.5362	0.4077
4480	12.3077	11.826	0.5371	0.4046

Vencimiento (días)	Vencimiento (años)	Tasa Cero (%)	Cupón	Factor de Descuento
4508	12.3846	11.9077	0.538	0.4014
4536	12.4615	11.9903	0.5389	0.3983
4564	12.5385	12.0738	0.5398	0.3951
4592	12.6154	12.1584	0.5407	0.392
4620	12.6923	12.2439	0.5416	0.3889
4648	12.7692	12.3305	0.5425	0.3858
4676	12.8462	12.4181	0.5434	0.3827
4704	12.9231	12.5067	0.5443	0.3796
4732	13	12.5964	0.5452	0.3765
4760	13.0769	12.6872	0.5461	0.3735
4788	13.1538	12.7791	0.547	0.3704
4816	13.2308	12.8721	0.5479	0.3674
4844	13.3077	12.9662	0.5488	0.3643
4872	13.3846	13.0615	0.5497	0.3613
4900	13.4615	13.158	0.5506	0.3583
4928	13.5385	13.2557	0.5515	0.3553
4956	13.6154	13.3547	0.5524	0.3523
4984	13.6923	13.4548	0.5533	0.3493
5012	13.7692	13.5563	0.5542	0.3463
5040	13.8462	13.659	0.5551	0.3434
5068	13.9231	13.7631	0.556	0.3404
5096	14	13.8685	0.5569	0.3375
5124	14.0769	13.9753	0.5578	0.3345
5152	14.1538	14.0835	0.5587	0.3316
5180	14.2308	14.1931	0.5596	0.3287
5208	14.3077	14.3041	0.5605	0.3258
5236	14.3846	14.4166	0.5614	0.3229
5264	14.4615	14.5307	0.5623	0.32
5292	14.5385	14.6462	0.5632	0.3172
5320	14.6154	14.7634	0.5641	0.3143
5348	14.6923	14.8821	0.565	0.3114
5376	14.7692	15.0025	0.5659	0.3086
5404	14.8462	15.1245	0.5668	0.3058
5432	14.9231	15.2482	0.5677	0.303
5460	15	15.3736	0.5686	0.3001
5488	15.0769	15.4628	0.569	0.2979
5516	15.1538	15.5529	0.5695	0.2956
5544	15.2308	15.6439	0.57	0.2933
5572	15.3077	15.7358	0.5705	0.2911
5600	15.3846	15.8287	0.5709	0.2888

Vencimiento (días)	Vencimiento (años)	Tasa Cero (%)	Cupón	Factor de Descuento
5628	15.4615	15.9226	0.5714	0.2866
5656	15.5385	16.0174	0.5719	0.2844
5684	15.6154	16.1133	0.5724	0.2822
5712	15.6923	16.2102	0.5729	0.28
5740	15.7692	16.308	0.5733	0.2778
5768	15.8462	16.407	0.5738	0.2756
5796	15.9231	16.507	0.5743	0.2734
5824	16	16.608	0.5748	0.2712
5852	16.0769	16.7102	0.5753	0.2691
5880	16.1538	16.8135	0.5757	0.2669
5908	16.2308	16.9178	0.5762	0.2648
5936	16.3077	17.0234	0.5767	0.2627
5964	16.3846	17.13	0.5772	0.2606
5992	16.4615	17.2379	0.5776	0.2585
6020	16.5385	17.3469	0.5781	0.2564
6048	16.6154	17.4572	0.5786	0.2543
6076	16.6923	17.5687	0.5791	0.2522
6104	16.7692	17.6814	0.5796	0.2501
6132	16.8462	17.7954	0.58	0.2481
6160	16.9231	17.9107	0.5805	0.246
6188	17	18.0273	0.581	0.244
6216	17.0769	18.1452	0.5815	0.242
6244	17.1538	18.2645	0.582	0.2399
6272	17.2308	18.3852	0.5824	0.2379
6300	17.3077	18.5072	0.5829	0.2359
6328	17.3846	18.6307	0.5834	0.2339
6356	17.4615	18.7556	0.5839	0.2319
6384	17.5385	18.882	0.5844	0.23
6412	17.6154	19.0098	0.5848	0.228
6440	17.6923	19.1392	0.5853	0.2261
6468	17.7692	19.2701	0.5858	0.2241
6496	17.8462	19.4026	0.5863	0.2222
6524	17.9231	19.5367	0.5867	0.2202
6552	18	19.6724	0.5872	0.2183
6580	18.0769	19.8097	0.5877	0.2164
6608	18.1538	19.9487	0.5882	0.2145
6636	18.2308	20.0895	0.5887	0.2126
6664	18.3077	20.2319	0.5891	0.2107
6692	18.3846	20.3761	0.5896	0.2089
6720	18.4615	20.5222	0.5901	0.207

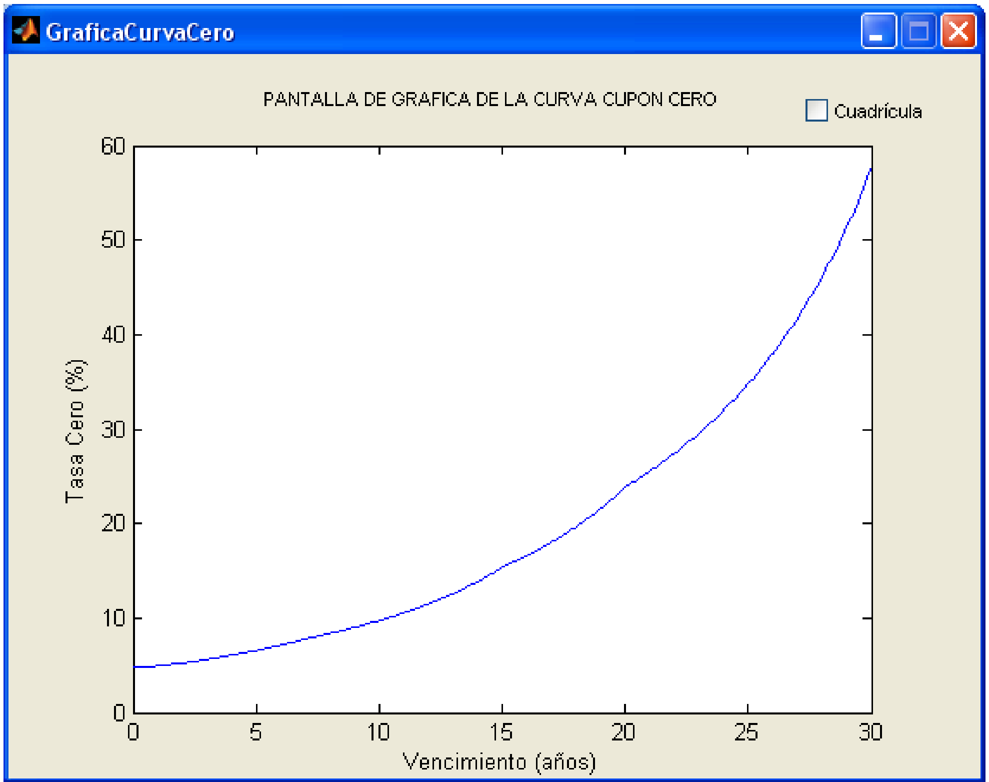
Vencimiento (días)	Vencimiento (años)	Tasa Cero (%)	Cupón	Factor de Descuento
6748	18.5385	20.67	0.5906	0.2052
6776	18.6154	20.8197	0.5911	0.2033
6804	18.6923	20.9713	0.5915	0.2015
6832	18.7692	21.1249	0.592	0.1996
6860	18.8462	21.2804	0.5925	0.1978
6888	18.9231	21.4379	0.593	0.196
6916	19	21.5974	0.5934	0.1942
6944	19.0769	21.759	0.5939	0.1924
6972	19.1538	21.9228	0.5944	0.1906
7000	19.2308	22.0887	0.5949	0.1889
7028	19.3077	22.2568	0.5954	0.1871
7056	19.3846	22.4271	0.5958	0.1853
7084	19.4615	22.5997	0.5963	0.1836
7112	19.5385	22.7747	0.5968	0.1818
7140	19.6154	22.952	0.5973	0.1801
7168	19.6923	23.1317	0.5978	0.1784
7196	19.7692	23.3139	0.5982	0.1767
7224	19.8462	23.4986	0.5987	0.175
7252	19.9231	23.6859	0.5992	0.1733
7280	20	23.8758	0.5997	0.1716
7308	20.0769	23.9983	0.5998	0.1703
7336	20.1538	24.1219	0.6	0.169
7364	20.2308	24.2466	0.6002	0.1678
7392	20.3077	24.3724	0.6004	0.1665
7420	20.3846	24.4993	0.6006	0.1653
7448	20.4615	24.6273	0.6007	0.1641
7476	20.5385	24.7565	0.6009	0.1628
7504	20.6154	24.8868	0.6011	0.1616
7532	20.6923	25.0182	0.6013	0.1604
7560	20.7692	25.1509	0.6015	0.1592
7588	20.8462	25.2847	0.6016	0.158
7616	20.9231	25.4197	0.6018	0.1568
7644	21	25.556	0.602	0.1556
7672	21.0769	25.6934	0.6022	0.1544
7700	21.1538	25.8322	0.6024	0.1533
7728	21.2308	25.9722	0.6025	0.1521
7756	21.3077	26.1134	0.6027	0.1509
7784	21.3846	26.256	0.6029	0.1498
7812	21.4615	26.3999	0.6031	0.1486
7840	21.5385	26.545	0.6033	0.1475

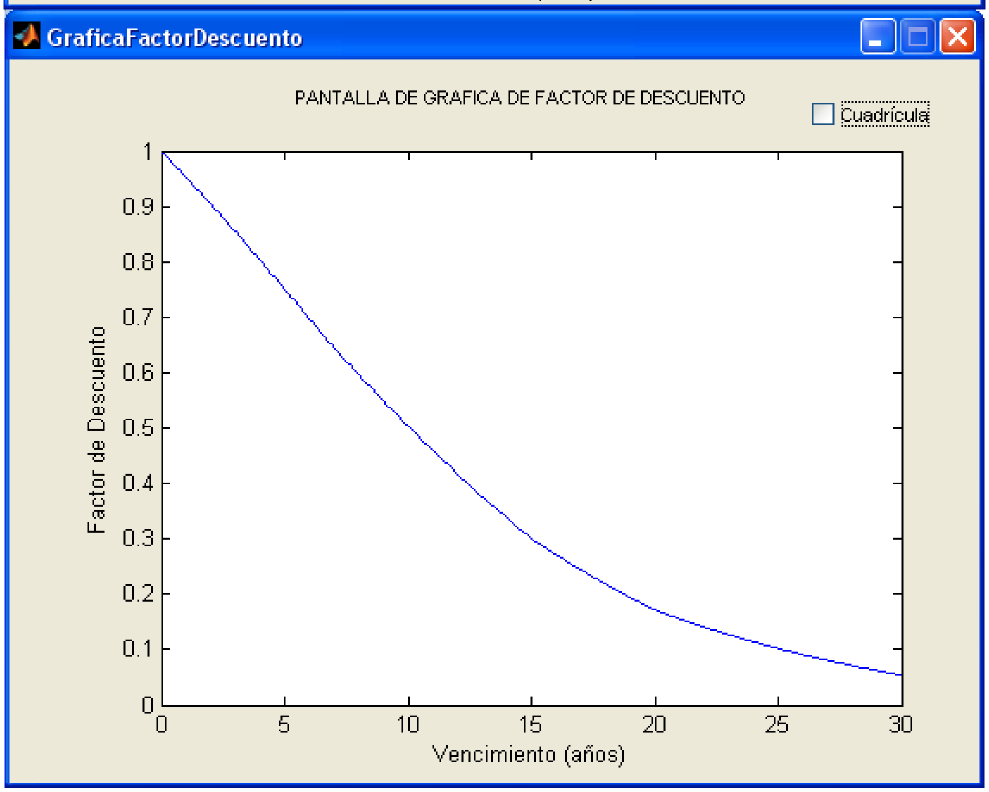
Vencimiento (días)	Vencimiento (años)	Tasa Cero (%)	Cupón	Factor de Descuento
7868	21.6154	26.6916	0.6034	0.1463
7896	21.6923	26.8395	0.6036	0.1452
7924	21.7692	26.9887	0.6038	0.1441
7952	21.8462	27.1394	0.604	0.143
7980	21.9231	27.2915	0.6042	0.1419
8008	22	27.445	0.6043	0.1407
8036	22.0769	27.5999	0.6045	0.1396
8064	22.1538	27.7564	0.6047	0.1386
8092	22.2308	27.9143	0.6049	0.1375
8120	22.3077	28.0737	0.6051	0.1364
8148	22.3846	28.2346	0.6052	0.1353
8176	22.4615	28.3971	0.6054	0.1342
8204	22.5385	28.5611	0.6056	0.1332
8232	22.6154	28.7267	0.6058	0.1321
8260	22.6923	28.894	0.6059	0.1311
8288	22.7692	29.0628	0.6061	0.13
8316	22.8462	29.2333	0.6063	0.129
8344	22.9231	29.4055	0.6065	0.128
8372	23	29.5794	0.6067	0.1269
8400	23.0769	29.755	0.6068	0.1259
8428	23.1538	29.9323	0.607	0.1249
8456	23.2308	30.1114	0.6072	0.1239
8484	23.3077	30.2923	0.6074	0.1229
8512	23.3846	30.475	0.6076	0.1219
8540	23.4615	30.6595	0.6077	0.1209
8568	23.5385	30.8459	0.6079	0.1199
8596	23.6154	31.0342	0.6081	0.1189
8624	23.6923	31.2245	0.6083	0.1179
8652	23.7692	31.4166	0.6085	0.117
8680	23.8462	31.6108	0.6086	0.116
8708	23.9231	31.8069	0.6088	0.115
8736	24	32.0051	0.609	0.1141
8764	24.0769	32.2053	0.6092	0.1131
8792	24.1538	32.4076	0.6094	0.1122
8820	24.2308	32.6121	0.6095	0.1112
8848	24.3077	32.8187	0.6097	0.1103
8876	24.3846	33.0275	0.6099	0.1094
8904	24.4615	33.2385	0.6101	0.1084
8932	24.5385	33.4518	0.6103	0.1075
8960	24.6154	33.6673	0.6104	0.1066

Vencimiento (días)	Vencimiento (años)	Tasa Cero (%)	Cupón	Factor de Descuento
8988	24.6923	33.8852	0.6106	0.1057
9016	24.7692	34.1054	0.6108	0.1048
9044	24.8462	34.328	0.611	0.1039
9072	24.9231	34.5531	0.6112	0.103
9100	25	34.7806	0.6113	0.1021
9128	25.0769	35.0106	0.6115	0.1012
9156	25.1538	35.2431	0.6117	0.1004
9184	25.2308	35.4783	0.6119	0.0995
9212	25.3077	35.7161	0.6121	0.0986
9240	25.3846	35.9565	0.6122	0.0978
9268	25.4615	36.1996	0.6124	0.0969
9296	25.5385	36.4455	0.6126	0.0961
9324	25.6154	36.6942	0.6128	0.0952
9352	25.6923	36.9458	0.6129	0.0944
9380	25.7692	37.2002	0.6131	0.0935
9408	25.8462	37.4576	0.6133	0.0927
9436	25.9231	37.7179	0.6135	0.0919
9464	26	37.9813	0.6137	0.091
9492	26.0769	38.2478	0.6138	0.0902
9520	26.1538	38.5174	0.614	0.0894
9548	26.2308	38.7902	0.6142	0.0886
9576	26.3077	39.0663	0.6144	0.0878
9604	26.3846	39.3456	0.6146	0.087
9632	26.4615	39.6283	0.6147	0.0862
9660	26.5385	39.9145	0.6149	0.0854
9688	26.6154	40.2041	0.6151	0.0846
9716	26.6923	40.4972	0.6153	0.0838
9744	26.7692	40.7939	0.6155	0.083
9772	26.8462	41.0944	0.6156	0.0823
9800	26.9231	41.3985	0.6158	0.0815
9828	27	41.7064	0.616	0.0807
9856	27.0769	42.0182	0.6162	0.08
9884	27.1538	42.3339	0.6164	0.0792
9912	27.2308	42.6537	0.6165	0.0785
9940	27.3077	42.9775	0.6167	0.0777
9968	27.3846	43.3055	0.6169	0.077
9996	27.4615	43.6377	0.6171	0.0762
10024	27.5385	43.9742	0.6173	0.0755
10052	27.6154	44.3151	0.6174	0.0748
10080	27.6923	44.6605	0.6176	0.074

Vencimiento (días)	Vencimiento (años)	Tasa Cero (%)	Cupón	Factor de Descuento
10108	27.7692	45.0104	0.6178	0.0733
10136	27.8462	45.365	0.618	0.0726
10164	27.9231	45.7244	0.6182	0.0719
10192	28	46.0886	0.6183	0.0712
10220	28.0769	46.4577	0.6185	0.0705
10248	28.1538	46.8318	0.6187	0.0698
10276	28.2308	47.211	0.6189	0.0691
10304	28.3077	47.5955	0.6191	0.0684
10332	28.3846	47.9853	0.6192	0.0677
10360	28.4615	48.3806	0.6194	0.067
10388	28.5385	48.7814	0.6196	0.0663
10416	28.6154	49.1879	0.6198	0.0657
10444	28.6923	49.6001	0.6199	0.065
10472	28.7692	50.0183	0.6201	0.0643
10500	28.8462	50.4425	0.6203	0.0636
10528	28.9231	50.8728	0.6205	0.063
10556	29	51.3094	0.6207	0.0623
10584	29.0769	51.7525	0.6208	0.0617
10612	29.1538	52.2021	0.621	0.061
10640	29.2308	52.6584	0.6212	0.0604
10668	29.3077	53.1216	0.6214	0.0597
10696	29.3846	53.5917	0.6216	0.0591
10724	29.4615	54.0691	0.6217	0.0585
10752	29.5385	54.5537	0.6219	0.0578
10780	29.6154	55.0458	0.6221	0.0572
10808	29.6923	55.5456	0.6223	0.0566
10836	29.7692	56.0532	0.6225	0.056
10864	29.8462	56.5688	0.6226	0.0553
10892	29.9231	57.0926	0.6228	0.0547
10920	30	57.6248	0.623	0.0541

4. Para obtener las gráficas de la curva cero y de factor de descuento, dar clic en el botón "Graficar Curva Cero" y "Graficar Factor de Descuento" respectivamente, en la "Pantalla de Tasas Cero". Si se desea que las graficas presenten la cuadricula solo dar clic en el check "Cuadrícula" que se encuentra en la parte superior izquierda de cada pantalla de gráfica.


GraficaCurvaCero
PANTALLA DE GRAFICA DE LA CURVA CUPON CERO
Cuadrícula
Tasa Cero (%)
Vencimiento (años)
0
10
20
30
40
50
60
0
5
10
15
20
25
30


GraficaFactorDescuento
PANTALLA DE GRAFICA DE FACTOR DE DESCUENTO
Cuadrícula
Factor de Descuento
Vencimiento (años)
0
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
0
5
10
15
20
25
30

Conclusiones

Los conceptos y cálculos de tasas de interés plasmados en el Capítulo I de la presente tesis, son fundamentales para entender la valuación de los instrumentos del Mercado de Dinero y los instrumentos sobre tasas de interés del Mercado de Derivados. Las tasas de interés juegan un papel de suma importancia para la toma de decisiones sobre inversiones o créditos, dependiendo de la posición en el instrumento financiero, convendrá tomar una tasa baja o elevada; adicionalmente se debe decidir el riesgo que se quiere afrontar para determinar si consideras una tasa fija o variable. Otros factores que intervienen de forma implícita en las tasas de interés son los plazos, montos y la variación en el mercado.

Los CETES y los bonos fueron identificados como instrumentos muy líquidos debido a que tienen menos riesgo de insolvencia, es decir, pueden ser convertidos en dinero en forma rápida y con muy poco riesgo de pérdida, ya que son emitidos por el Gobierno Federal. En México se usa una metodología dada a conocer por Banxico para regular la valuación de estos instrumentos.

Se definió una curva de rendimiento como una función en la que una inversión con un pago de inicio, durante un periodo de tiempo se incrementa a una cierta tasa; esta inversión es equivalente a instrumentos cupón cero donde no existe riesgo por reinversión. Con esta curva podemos calcular las tasas forwards y ver el comportamiento de las tasas de interés en el mercado en un corto plazo.

El método Bootstrapping permitió determinar la curva cero mediante bonos cupón cero, para calcular esta curva es preciso basarse en que el precio del bono teórico es calculado sacando el valor presente de todos los flujos de efectivo que recibiremos en un futuro e ir calculando la tasa de rendimiento.

El Mercado de Derivados tiene instrumentos sobre tasas de interés tales como los FRAs, que permite eliminar la incertidumbre en la tasa variable que puede llegar a pagar alguien que pide prestado, por lo que se fija una tasa llamada FRA para intercambiarla por una variable. Este contrato también puede ser utilizado para valuar los swaps de tasas de interés.

El swap de tasa de interés plain vanilla nos permite pagar flujos de efectivo iguales a los intereses correspondientes a una tasa de interés fija predeterminada y un cierto nominal durante una serie de años. A cambio permite que recibamos intereses a una tasa de interés variable en el mismo periodo de tiempo. Este contrato elimina la incertidumbre que se encuentra implícita en la tasa flotante. La valuación de este instrumento se puede ver como la diferencia entre un bono a tasa fija y un bono a tasa variable con el mismo nocional y el mismo plazo.

Siempre existe una tasa par swap que hace que el contrato swap valga cero al principio. Cuando sucede esto el precio del bono a tasa variable y el precio del bono a tasa fija son iguales, como sabemos que el precio del bono a tasa variable es igual al nocional del swap, entonces el precio del bono a tasa fija también es igual al nocional y por tanto se valora a la par. En consecuencia la tasa swap (par swap rate) permite definir dos bonos con rendimiento a la par al inicio del contrato swap.

Por lo tanto, varias tasas swap definen varios bonos con rendimiento a la par, este hecho podemos usarlo para generar la curva cero por medio de los bonos que determinan las tasas par swap y aplicar el método Bootstrapping.

Las opciones sobre tasas de interés en el Mercado de Derivados tales como swaptions , caps & floors son valuados mediante el Modelo Black & Scholes. Se plasmó su uso en México. Los swaptions dan el derecho más no la obligación de ejercer un swap. En el cap determinamos un nivel máximo o tope al que podemos dejar que la tasa variable suba. Por ejemplo, en un préstamo hipotecario podemos pactar un cap con el banco para que cuando la tasa variable suba más allá de la tasa cap ya no la paguemos. Es similar el floor pero pone un limite en la baja que pueda presentar la tasa variable.

Se logró desarrollar un prototipo que permite calcular la curva cero mediante bonos que determinan las tasas swap utilizando el método Bootstrapping. Es importante mencionar que este prototipo fue probado con datos reales y cubrió el resultado esperado y plasmado en los objetivos. Un programa siempre tiene posibles mejoras, un ejemplo es considerar programar un calendario que respete días inhábiles en los plazos de tiempo para poder hacer cálculos apegados a la realidad; se requiere mayor tecnología para poder desarrollar el almacenamiento de la información en bases de datos y hacer un software mucho más sofisticado.

Se cumplió con la investigación de la parte teórica de las tasas de interés, los instrumentos más líquidos del Mercado de Dinero Mexicano y los más importantes del Mercado de Derivados Mexicano. Relacionando el ámbito financiero con el de sistemas al crear una aplicación de software que permite determinar la curva cero mediante los bonos que proporcionan las tasas swaps con el método Bootstrapping.

Anexos

Progresión geométrica

Una *progresión geométrica* es una sucesión en la cual cada término, después del primero, se obtiene multiplicando el término anterior por una cantidad constante llamada *razón común*.

En toda progresión geométrica la razón común es igual a la división de un término cualquiera entre el término anterior.

Sea $a_1, a_2, a_3, ..., a_n, ...$ una progresión geométrica, con $a_1 \neq 0$ y sea r su razón común, donde $r \neq 0$.

Por definición,

$$
\begin{aligned}
a_1 &= a_1 \\
a_2 &= a_1 r \\
a_3 &= a_2 r = (a_1 r) r = a_1 r^2 \\
a_4 &= a_3 r = (a_1 r^2) r = a_1 r^3 \\
&. \\
&. \\
&. \\
a_n &= a_1 r^{n-1}
\end{aligned}
$$

El $n-$ésimo término se obtuvo al observar que el exponente de r en cada término es uno menos que el correspondiente número de orden del término.

Por lo tanto, el $n-$ésimo término de una progresión geométrica está dado por la siguiente ecuación:

$$a_n = a_1 r^{n-1} \tag{IV.1}$$

La suma de los términos de una progresión geométrica se le conoce como *serie geométrica*.

Sea $a_1, a_2, a_3, ..., a_n, ...$ una progresión geométrica cuya razón común es r y sea $S_n = a_1 + a_2 + a_3 + ... + a_n$ la $n-$ésima suma parcial.

Debido a que:

$$\begin{aligned} a_1 &= a_1 \\ a_2 &= a_1 r \\ a_3 &= a_1 r^2 \\ a_4 &= a_1 r^3 \\ &. \\ &. \\ &. \end{aligned}$$

Entonces:

$$S_n = a_1 + a_1 r + a_1 r^2 + a_1 r^3 + ... + a_1 r^{n-2} + a_1 r^{n-1} \tag{IV.2}$$

Se multiplica ambos lados por r, se obtiene:

$$rS_n = a_1 r + a_1 r_2 + a_1 r^3 + a_1 r^4 + ... + a_1 r^{n-1} + a_1 r^n \tag{IV.3}$$

Ahora se resta la ecuación (IV.3) de la (IV.2):

$$S_n - rS_n = a_1 - a_1 r^n$$

Se factoriza S_n y a_1:

$$S_n(1-r) = a_1(1-r^n)$$

Se despeja S_n:

$$S_n = \frac{a_1(1-r^n)}{1-r} \tag{IV.4}$$

donde S_n es $n-$ésima suma parcial, a_1 es el primer término de la progresión geométrica, r es la razón común, n es el número de términos en la progresión geométrica y $r \neq 1$.

Anualidades

Una *anualidad* es una serie de pagos generalmente iguales realizados en intervalos de tiempo iguales.

El *periodo de pago* o *periodo de renta* es el tiempo transcurrido entre dos pagos sucesivos. El periodo de pago puede ser anual, semestral o mensual, entre otros.

El *plazo de la anualidad* es el tiempo que transcurre entre el inicio del primer periodo de pago y el final del último periodo.

Existen cuatro formas de clasificación de las anualidades:

1. Utilizando el tiempo como criterio de clasificación:

   Anualidad cierta. Es aquella en la que lo pagos comienzan y terminan en fechas perfectamente definidas

Anualidad contingente. Es aquella en la cual la fecha del primer pago, la fecha del último pago o ambas dependen de algún suceso que se sabe que ocurrirá, pero no se sabe cuándo.

2. Utilizando los pagos o abonos como criterio de clasificación:

Anualidades vencidas. También se conocen como anualidades ordinarias y son aquellas cuyos pagos se realizan al final de cada periodo de pago.

Anualidades anticipadas. Son aquellas cuyos pagos se realizan al principio de cada periodo de pago.

3. Utilizando los intereses como criterio de clasificación:

Anualidad simple. Es aquella cuyo periodo de pago coincide con el periodo de capitalización de los intereses.

Anualidad general. Es aquella cuyo periodo de pago no coincide con el periodo de capitalización de los intereses.

4. Utilizando el momento de iniciación de la anualidad como criterio de clasificación:

Anualidad inmediata. Es aquella en la que no existe aplazamiento alguno de los pagos, es decir, los pagos se realizan desde el primer periodo de pago.

Anualidad diferida. Es aquella en la cual los pagos se aplazan por un cierto número de periodos.

Anualidades vencidas

Las anualidades ciertas, simples, vencidas e inmediatas comúnmente se refieren a ellas como anualidades vencidas u ordinarias.

Se deduce la fórmula general para obtener el monto o valor futuro de una anualidad vencida, así como el valor presente de dicha anualidad.

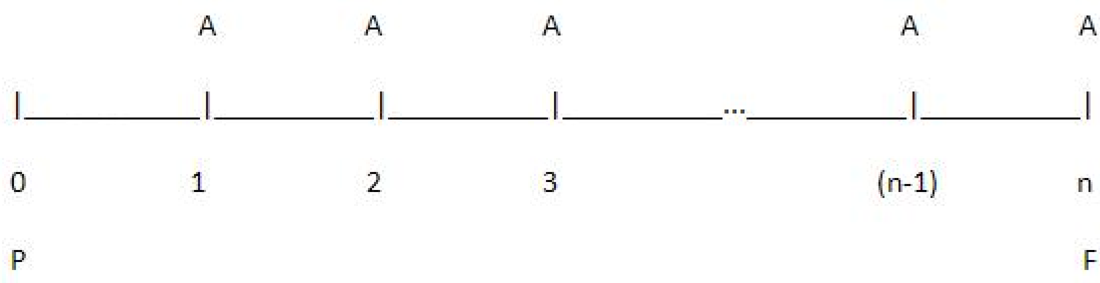


Figura IV.8. Diagrama de tiempo de una anualidad vencida

Monto o valor futuro de una anualidad vencida

Se considera la figura (IV.8), donde A es el pago o depósito hecho al final de cada uno de los n periodos y F es el monto o valor futuro de la anualidad. Sea i la tasa de interés por periodo, expresada en forma decimal.

Debido a que el primer pago se realiza al final del primer periodo gana intereses por $(n-1)$ periodos, el segundo pago gana intereses por $(n-2)$ periodos y así sucesivamente; el pago final no genera intereses. Por lo tanto, si la fecha focal se localiza en el periodo n, el monto o valor futuro de la anualidad es:

$$F = A(1+i)^{n-1}+A(1+i)^{n-2}+A(1+i)^{n-3}+...+A(1+i)^2+A(1+i)+A \quad \text{(IV.5)}$$

Se factoriza A en (IV.5):

$$F = A[(1+i)^{n-1} + (1+i)^{n-2} + (1+i)^{n-3} + ... + (1+i)^2 + (1+i) + 1]$$

$$F = A[1+(1+i)+(1+i)^2+...+(1+i)^{n-3}+(1+i)^{n-2}+(1+i)^{n-1}] \quad \text{(IV.6)}$$

Se observa que en la expresión (IV.6), los términos entre corchetes forman una progresión geométrica, por lo que se utiliza la fórmula (IV.4), donde $a_1 = 1$ y $r = (1 + i)$:

$$S_n = \frac{a_1(1 - r^n)}{1 - r} = \frac{1(1 - (1 + i)^n)}{1 - (1 + i)} = \frac{(1 + i)^n - 1}{i} \tag{IV.7}$$

Sustituyendo (IV.7) en (IV.6), se obtiene la fórmula general para el monto o valor futuro de una anualidad vencida:

$$F = A\left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i}\right] \tag{IV.8}$$

donde F es el monto o valor futuro de una anualidad vencida, A es el pago o depósito hecho al final de cada uno de los n periodos, i es la tasa de interés por periodo, expresada en forma decimal y n es el número de periodos.

Valor presente de una anualidad vencida

Se considera nuevamente la figura (IV.8), donde A es el pago o depósito hecho al final de cada uno de los n periodos y P es valor presente de la anualidad. Sea i la tasa de interés por periodo, expresada en forma decimal. Si la fecha focal se localiza en el momento actual, entonces:

$$P = \frac{A}{(1 + i)} + \frac{A}{(1 + i)^2} + \frac{A}{(1 + i)^3} + ... + \frac{A}{(1 + i)^{n-1}} + \frac{A}{(1 + i)^n}$$

$$P = A(1+i)^{-1}+A(1+i)^{-2}+A(1+i)^{-3}+...+A(1+i)^{-(n-1)}+A(1+i)^{-n} \tag{IV.9}$$

Se factoriza A en (IV.9):

$$P = A[(1+i)^{-1}+(1+i)^{-2}+(1+i)^{-3}+...+(1+i)^{-(n-1)}+(1+i)^{-n}] \tag{IV.10}$$

Se observa que en la expresión (IV.10), los términos entre corchetes forman una progresión geométrica, por lo que se utiliza la fórmula (IV.4), donde $a_1 = (1+i)^{-1}$ y $r = (1+i)^{-1}$:

$$S_n = \frac{a_1(1-r^n)}{1-r} = \frac{(1+i)^{-1}(1-(1+i)^{-n})}{1-(1+i)^{-1}} = \frac{1-(1+i)^{-n}}{i} \qquad \text{(IV.11)}$$

Sustituyendo (IV.11) en (IV.10), se obtiene la fórmula general para el valor presente o valor actual de una anualidad vencida:

$$P = A\left[\frac{1-(1+i)^{-n}}{i}\right] \qquad \text{(IV.12)}$$

donde P es el valor presente de una anualidad vencida, A es el pago o depósito hecho al final de cada uno de los n periodos, i es la tasa de interés por periodo, expresada en forma decimal y n es el número de periodos,.

Anualidades anticipadas

A las anualidades ciertas, simples, anticipadas e inmediatas se les conoce generalmente como anualidades anticipadas.

Se deduce la fórmula general para obtener el monto o valor futuro de una anualidad anticipada, así como el valor presente de dicha anualidad.

Monto o valor futuro de una anualidad anticipada

Se considera la figura (IV.9), donde A es el pago o depósito hecho al final de cada uno de los n periodos y F es el monto o valor futuro de la anualidad. Sea i la tasa de interés por periodo, expresada en forma decimal.

Debido a que el primer pago se realiza al inicio del primer periodo gana intereses por n periodos, el segundo pago gana intereses por $(n-1)$ periodos

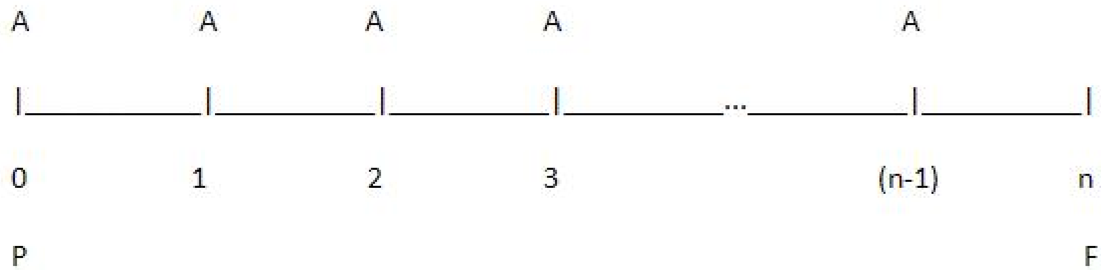


Figura IV.9. Diagrama de tiempo de una anualidad anticipada

y así sucesivamente; el pago final genera intereses por un periodo. Por lo tanto, si la fecha focal se localiza en el periodo n, el monto o valor futuro de la anualidad es:

$$F = A(1+i)^n + A(1+i)^{n-1} + A(1+i)^{n-2} + ... + A(1+i)^2 + A(1+i) \quad \text{(IV.13)}$$

Se factoriza A en (IV.13):

$$F = A[(1+i)^n + (1+i)^{n-1} + (1+i)^{n-2} + ... + (1+i)^2 + (1+i)]$$

$$F = A[(1+i) + (1+i)^2 + ... + (1+i)^{n-2} + (1+i)^{n-1} + (1+i)^n] \quad \text{(IV.14)}$$

Se observa que en la expresión (IV.14), los términos entre corchetes forman una progresión geométrica, por lo que se utiliza la fórmula (IV.4), donde $a_1 = \ (1+i)$ y $r = (1+i)$:

$$S_n = \frac{a_1(1-r^n)}{1-r} = \frac{(1+i)(1-(1+i)^n)}{1-(1+i)} = \frac{[(1+i)^n - 1](1+i)}{i} \quad \text{(IV.15)}$$

Sustituyendo (IV.15) en (IV.14), se obtiene la fórmula general para el monto o valor futuro de una anualidad anticipada:

$$F = A\left[\frac{(1+i)^n - 1}{i}\right](1+i) \qquad \text{(IV.16)}$$

donde F es el monto o valor futuro de una anualidad anticipada, A es el pago o depósito hecho al final de cada uno de los n periodos, i es la tasa de interés por periodo, expresada en forma decimal y n es el número de periodos.

Valor presente de una anualidad anticipada

Se observa la figura (IV.9), donde P es el valor presente de la anualidad, F es el monto de la anualidad e i es la tasa de interés por periodo. Para obtener la fórmula general del valor presente de una anualidad anticipada se logra al calcular el valor presente del monto, por lo tanto:

$$P = F(1+i)^{-n} \qquad \text{(IV.17)}$$

Utilizando la fórmula (IV.16):

$$P = A\left[\frac{(1+i)^n - 1}{i}\right](1+i)(1+i)^{-n} \qquad \text{(IV.18)}$$

Por lo tanto, el valor presente de una anualidad anticipada es:

$$P = A\left[\frac{1-(1+i)^{-n}}{i}\right](1+i) \qquad \text{(IV.19)}$$

donde P es el valor presente de la anualidad vencida, A es el pago o depósito hecho al final de cada uno de los n periodos, i es la tasa de interés por periodo, expresada en forma decimal y n es el número de periodos.

Anualidades diferidas

A las anualidades ciertas, simples y diferidas se les conoce como anualidades diferidas, las cuales pueden ser analizadas como anualidades vencidas o anticipadas.

El periodo de gracia o periodo de diferimiento es el intervalo de tiempo que transcurre entre el momento inicial y el inicio del plazo de la anualidad. El periodo de gracia se mide utilizando como unidad de tiempo el correspondiente a los periodos de pago.

Durante el periodo de diferimiento o periodo de gracia, ocurre una de las siguientes situaciones:

1. Los intereses generados durante el periodo de diferimiento se capitalicen. En este caso, el valor presente de la anualidad es igual al capital original más los intereses capitalizados.

2. Al final de cada periodo de pago se liquiden los intereses que genera el capital original en el periodo. En esta situación, el capital original permanece constante todo el periodo de diferimiento, por lo que el valor presente de la anualidad es igual al capital original

En la realidad, comúnmente se lleva a cabo la situación 1.

Anualidades diferidas vencidas

El diagrama de tiempo de un anualidad diferida vencida, con diferimiento de m periodos, es como se muestra en la figura (IV.10). El plazo total de la anualidad es de $(m + n)$ periodos.

Observando la figura (IV.10) y utilizando la fórmula de la anualidad vencida (IV.12), donde P es el valor presente de la anualidad, F es el monto, i es la tasa de interés por periodo y tomando como fecha focal el momento actual del plazo de la anualidad se obtiene la siguiente ecuación de valor:

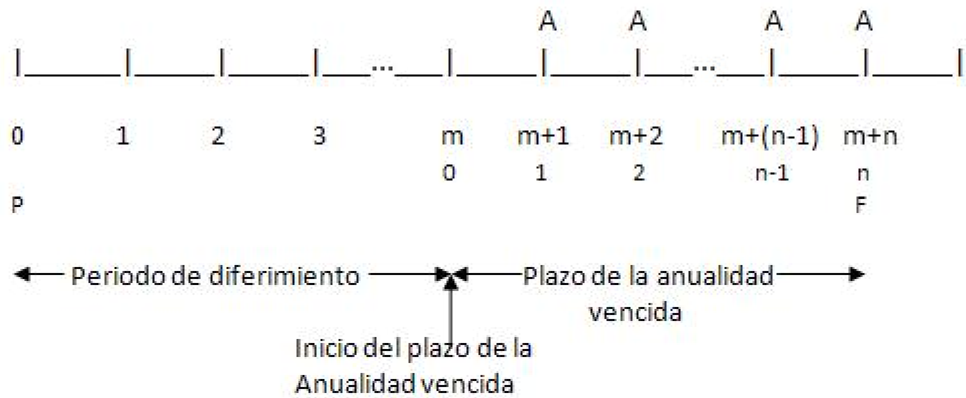


Figura IV.10. Diagrama de tiempo de una anualidad diferida vencida

$$P(1+i)^m = A\left[\frac{1-(1+i)^{-n}}{i}\right] \tag{IV.20}$$

$$P = \frac{A\left[\frac{1-(1+i)^{-n}}{i}\right]}{(1+i)^m} \tag{IV.21}$$

donde P es el valor presente de la anualidad diferida vencida, A es el pago o depósito hecho al final de cada uno de los n periodos, i es la tasa de interés por periodo, expresada en forma decimal, m es el periodo de diferimiento y n es el número de periodos.

Anualidades diferidas anticipadas

El diagrama de tiempo de un anualidad diferida anticipada, diferida m periodos, es como se muestra en la figura (IV.11). El plazo total de la anualidad es de $(m+n)$ periodos

Observando la figura (IV.11) y utilizando la fórmula de la anualidad anticipada (IV.19), donde P es el valor presente de la anualidad, F es el monto, i es la tasa de interés por periodo y tomando como fecha focal el

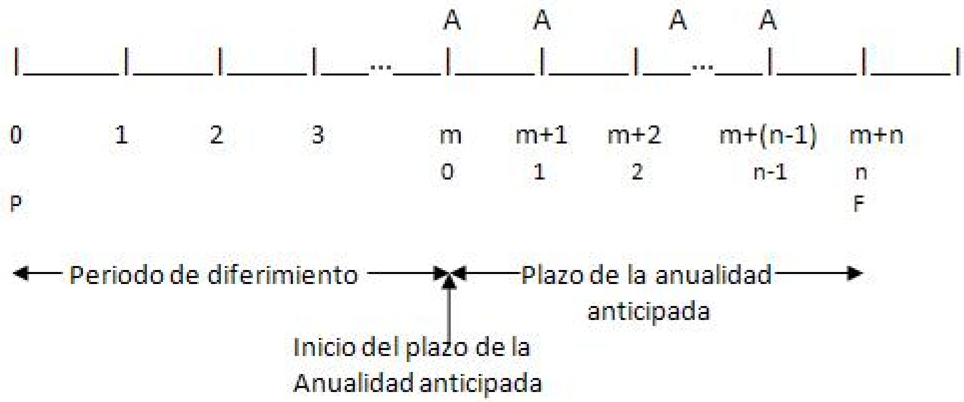


Figura IV.11. Diagrama de tiempo de una anualidad diferida anticipada

momento actual del plazo de la anualidad se obtiene la siguiente ecuación de valor:

$$P(1+i)^m = A\left[\frac{1-(1+i)^{-n}}{i}\right](1+i) \tag{IV.22}$$

$$P = \frac{A\left[\frac{1-(1+i)^{-n}}{i}\right](1+i)}{(1+i)^m} \tag{IV.23}$$

donde P es el valor presente de la anualidad diferida anticipada, A es el pago o depósito hecho al final de cada uno de los n periodos, i es la tasa de interés por periodo, expresada en forma decimal yn es el número de periodos.

Paridad put-call

La relación (IV.24) es conocida como *paridad put-call.*

$$c - p = S_0 - Ke^{-rT} \tag{IV.24}$$

donde c es el precio de una opción call europea para comprar una acción que no paga dividendos, p es el precio de una opción put europea para vender una acción que no paga dividendos, K es el precio strike de la opción, r es la tasa de interés libre de riesgo, T es la fecha de vencimiento y S_0 es el precio actual de las acciones que no pagan dividendos.

Demostración:

Se consideran dos portafolios:

- Portafolio A: una opción call europea larga más una put europea corta.
$$payoff = \max\{S_T - K, 0\} - \max\{K - S_T, 0\}$$
Si $S_T > K$ entonces $payoff = S_T - K$.
Si $S_T < K$ entonces $payoff = S_T - K$.

- Portafolio B: un forward largo.
$$payoff = S_T - K$$

Entonces al tiempo T los portafolios A y B valen lo mismo. Por lo que en el tiempo inicial, el valor del portafolio A es igual al valor del forward Ke^{-rT}:

$$c - p = S_0 - Ke^{-rT}$$

Black and Scholes

El modelo de Black and Scholes sirve para la valoración de opciones europeas de compra y de venta sobre acciones que no pagan dividendos. Las fórmulas son las siguientes:

$$c = S_0 N(d_1) - Xe^{-rT} N(d_2) \tag{IV.25}$$

$$p = Xe^{-rT} N(-d_2) - S_0 N(-d_1) \tag{IV.26}$$

donde $d_1 = \frac{In(\frac{S_0}{X})+(r+\frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}}$, $d_2 = \frac{In(\frac{S_0}{X})+(r-\frac{\sigma^2}{2})T}{\sigma\sqrt{T}} = d_1 - \sigma\sqrt{T}$, c es el precio de la opción europea de compra (call), p es el precio de la opción europea de venta (put), S_0 es el precio de las acciones, X es el precio de ejercicio, r es la tasa de interés libre de riesgo, T es el tiempo hasta el vencimiento, σ es la volatilidad del precio de las acciones y $N(x)$ es la función de distribución probabilidad para una variable normal estándar.

Los supuestos que hicieron Black and Scholes acerca de este modelo son los siguientes:

1. El comportamiento del precio de las acciones corresponden al modelo lognormal con μ y σ constantes.

2. No hay costes de transacción o impuestos.

3. No hay dividendos sobre las acciones durante la vida de la opción.

4. No hay oportunidades de arbitraje libres de riesgo.

5. La negociación de valores financieros es continua.

6. Los inversionistas pueden prestar o pedir prestado a la misma tasa de interés libre de riesgo.

7. La tasa de interés libre de riesgo a corto plazo r es constante.

Modelo de Black

La extensión del modelo Black and Scholes para valorar derivados sobre tasas de interés es conocida como modelo de Black. Dicho modelo se utiliza para la valoración de distintos tipos de derivados sobre tasas de interés.

Uso del modelo Black para la valoración de opciones europeas:

Se considera una opción europea de compra sobre una variable V, además de las siguientes variables:

donde T es el tiempo para el vencimiento de la opción, F es el precio del futuro de V para un contrato con vencimiento en T, F_0 es el valor de F en el tiempo 0, F_T es el valor de F en el tiempo T, X es el precio de ejercicio de la opción, r es el tipo de interés para el vencimiento T, σ es la volatilidad de F y V_T es el valor de V en momento T.

La opción paga $max(V_T - X, 0)$ al momento T, debido a que $V_T = F_T$ se tiene que la opción paga $max(F_T - X, 0)$ al momento T.

El valor de la opción de compra es:

$$c = e^{-rT}[F_0 N(d_1) - XN(d_2)] \tag{IV.27}$$

donde d_1 y d_2 están definidas como:

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{F_0}{R_X}) + \sigma^2 \frac{T}{2}}{\sigma\sqrt{T}}$$

$$d_2 = \frac{\ln(\frac{F_0}{R_X}) - \sigma^2 \frac{T}{2}}{\sigma\sqrt{T}}$$

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

El valor para la opción de venta está dado por:

$$p = e^{-rT}[XN(-d_2) - F_0 N(-d_1)] \tag{IV.28}$$

Se puede extender el modelo de black suponiendo que el momento en el que se cobran los pagos de la opción sea diferente de T. Entonces se considera que el pago de la opción se calcula a partir de la variable V en el momento T, pero dicho pago se retrasa hasta el momento T^* (para $T^* \geq T$) con una tasa de interés r^*, por lo que las ecuaciones (IV.27) y (IV.28) se convierten en:

$$c = e^{-r^*T^*}[F_0 N(d_1) - XN(d_2)] \tag{IV.29}$$

$$p = e^{-r^*T^*}[XN(-d_2) - F_0 N(-d_1)] \tag{IV.30}$$

Se consideran d_1 y d_2 como arriba.

Glosario

Ajustabono. Documento gubernamental con plazo de 3 y 5 años que pagaban un cupón fijo en términos reales y el principal se ajustaba por el índice de inflación.

Arbitraje. Es asegurar una ganancia sin riesgo al realizar transacciones simultaneas en dos o más mercados.

Base gravable. Es el valor monetario o la unidad de medida del hecho imponible al cual se le aplica la tarifa del impuesto.

Bonde. Documento gubernamental que poden pagar intereses cada 28 o 91 días. Su principal característica es que tienen tasa de interés revisable a diferencia de los Tesobonos.

Bonos exentos. Bonos de los que la rentabilidad por cupón está exenta de impuestos sobre la renta federales, estatales y locales.

Bonos gravados. Un instrumento de deuda cuya rentabilidad para el inversor está sujeto a los impuestos a nivel local, estatal o federal, o alguna combinación de los mismos.

Bonos. Los bonos son documentos o títulos de crédito emitidos por un gobierno o una empresa privada, a un plazo determinado, que ganan interés pagaderos a intervalos de tiempo perfectamente definidos.

Cap. Es un instrumento financiero utilizado en los prestamos de interés variable para cubrir el riesgo de que el tipo exceda de un nivel fijado de antemano. El proveedor del contrato cobra como contrapartida una comisión.

Cupón. Con este nombre se conoce a cada uno de los cobros de dividendos o derechos de suscripción que ejerce el accionista propietario de un determinado valor. El nombre le viene dado por las antiguas acciones que llevaban adjuntas unos cupones que el accionista iba recortando para cobrar los dividendos.

Cupón devengado. Cupón que ya a sido autorizado para adquirirse.

Dealer. Agente profesional que trabaja para una institución financiera, o bien de manera individual y actúa en mercados organizados operando por cuenta propia, como poseedor, o por cuenta de clientes, como intermediario.

Devengar. Adquirir el derecho a percibir una retribución por razón de trabajo o servicio.

Dividendo. Es un pago en efectivo realizado al propietario de una acción.

Ecuación de valor. Es una igualdad que establece que la suma de los valores de un conjunto de deudas propuesto para reemplazar al conjunto original, una vez que sus valores de vencimiento se han trasladado a una fecha común, llamada fecha focal.

Fecha de colocación. Fecha en que empiezan a cotizar en bolsa.

Fecha de emisión. En una emisión de títulos, fecha a partir de la cual se devengan intereses. Normalmente coincide con la fecha de pago o de entrada de los fondos.

Fecha de vencimiento. Por lo general, se refiere a la fecha en que vence un contrato, efecto, crédito, etc. En los mercados de futuros, es el día en que finalizan los contratos referidos a esa fecha. Estas fechas coinciden siempre con los terceros viernes de los meses de marzo, junio, septiembre y diciembre, o el día hábil inmediato anterior si ese viernes resultase ser festivo.

Fecha focal. Es una fecha de comparación de dos o más cantidades de dinero no se pueden sumar mientras no se hayan trasladado todas a dicha de fecha.

Fideicomiso. Es un figura jurídica a través del cual los activos de una empresa o persona se pueden retener para su distribución a sus beneficiarios en una fecha posterior.

Flujo de efectivo. Es un dato que comprende la suma de los beneficios, amortizaciones y previsiones y que refleja los recursos generados por una empresa en un determinado periodo.

Instrumento Financiero Derivado. Cualquier instrumento financiero cuyo valor es una función (se "deriva") de otras variables que son en cierta medida más fundamentales.

Libor. Tasa de Oferta Interbancaria de Londres.

Mercado de Capitales. Es el conjunto de instrumentos e instituciones financieras que proporcionan el mecanismo para transferir o distribuir capitales de la masa de ahorradores hacia los demandantes de tales capitales.

Mercado de Valores. Es un mercado organizado para la compra-venta de valores (inversiones financieras).

Mercado organizado. Se trata de grandes mercados a plazo en que los contratos se realizan sobre materias primas, divisas, tipos de interés, acciones e índices bursátiles. En este tipo de mercado, los contratos están normalizados en cuanto a vencimiento e importe nominal, caracterizándose por la liquidez y la seguridad de las operaciones debido a un organismo que actúa de cámara de compensación. Un ejemplo de mercado organizado es el Mexder (Mercado Mexicano de Derivados).

Mercado primario. Lo constituyen las colocaciones nuevas. El Título es negociado directamente del emisor al inversionista, resultando un movimiento de efectivo para el primero, para cubrir una necesidad de financiamiento.

Mercado secundario. Es el mercado en el cual se ofertan y demandan Títulos o Valores que han sido emitidos y cuyo objetivo consiste en dar liquidez a sus tenedores mediante la sesión de dichos títulos o valores al comprador.

Nocional. También conocido como Valor Nocional. Se refiere al importe global que ampara el contrato.

Opción sobre acción. Es el instrumento financiero que te da el derecho más no la obligación de comprar o vender una acción en un determinado tiempo.

Over the Counter. La negociación Over The Counter (OTC) negocia instrumentos financieros (acciones, bonos, materias primas, swaps o derivados de crédito) directamente entre dos partes. Este tipo de negociación se realiza fuera del ámbito de los mercados organizados.

Pagafe. Documento gubernamental indizados al dólar estadounidense en su cotización de tipo de cambio controlado.

Petrobono. Documento gubernamental determinado por el precio del petróleo a plazos de 3 años.

Primas. En los mercados a plazo es el precio pagado por el comprador de opciones al vendedor por adquirir el derecho a comprar una sola acción. Como cada contrato es de cien acciones el precio al contado es cien veces la prima. En general la prima es el exceso que se paga sobre el valor teórico de un activo financiero.

Reporto. El reporto es una operación de crédito a corto plazo que consiste en la inversión en valores por un plazo determinado, vencido el cual, el inversionista se obliga a devolver los mismos u otros de la misma especie, cantidad y emisor a la contraparte, por un precio generalmente superior al negociado en la primera operación.

Reuters. Es una agencia de información y proveedor principal de datos, cotizaciones, análisis técnico y demás herramientas bursátiles de todos los mercados del mundo. Los bancos participantes transmiten al sistema de cotizaciones Reuters las posturas de tasas a diferentes plazos y, con base a esas cotizaciones, Reuters determina y difunde a diario la tasa de referencia.

Riesgo crédito. Es la posible pérdida que asume un agente económico como consecuencia del incumplimiento de las obligaciones contractuales que incumben a las contrapartes con las que se relaciona. El concepto se relaciona habitualmente con las instituciones financieras y los bancos, pero afecta también a empresas y organismos de otros sectores.

Sobretasa. Costo adicional a la tasa de interés que se paga por un crédito. Su nivel depende del costo de fondeo para el banco otorgante, pero también refleja el riesgo que para éste representa el acreditado.

Strike. Palabra inglesa que en los mercados de opciones se traduce por precio del ejercicio.

Tasa spot. Es la tasa de cambio a la cual se perfeccionan los contratos de compraventa de divisas en el mercado cambiario. Es la tasa de las operaciones del mercado cambiario de contado.

Tecnología de la Información. Es el conjunto de procesos y productos derivados de las nuevas herramientas (hardware y software), soportes de la información y canales de comunicación relacionados con el almacenamiento, procesamiento y transmisión digitalizados de la información.

Tenedor. Es el inversionista. Poseedor del título.

Tesobono. Documento similar al Pagafe pero en su cotización de tipo de cambio libre, con plazos menores a 1 año.

Tipo de cambio controlado. El tipo de cambio se ajusta con pequeñas variaciones porcentuales en lugar de hacerlo mediante grandes devaluaciones. El tipo de cambio se ajusta de modo progresivo y controlado de acuerdo a una tasa como la inflación o la de interés, o una combinación de las mismas, o de acuerdo a un cronograma establecido por el gobierno.

Tipo de cambio libre. También se le conoce como tipo de cambio flotante o flexible. Este tipo de cambio se determina sin intervención del gobierno en el mercado de divisas, es decir, que el tipo de cambio es el resultado de la interacción entre la oferta y la demanda de divisas en el mercado cambiario.

Trader. Persona que compra y vende acciones o títulos valores de manera personal o a nombre de su firma y de terceros.

UDIS. Unidades de Inversión. Es una unidad de cuenta que se encuentra indexada a los cambios de precios de bienes y servicios, se actualiza por ello diariamente en función del Índice Nacional de Precios al Consumidor (INPC) que se publica de manera quincenal.

Valor de mercado. Precio al cual los compradores y vendedores negocian los activos de una empresa.

Valor transado. Valor representado en dinero de la cantidad de títulos o valores transados en una determinada transacción.

Bibliografía

[1] Díaz, Manuel (2009): *Mercado de Valores Teoría y práctica.*

[2] Hull, John C. (2002): *Introducción a los Mercados de Futuros y Opciones.*

[3] Hull, John C. (2006): *Options, Futures, and other Derivatives.*

[4] Kruchten, Philippe (2003): *Rational Unified Process an Introduction.*

[5] Rebonato, Riccardo (1998): *Interest Rate Option Models.*

[6] Rodríguez de Castro, J. (1997): *Introducción al análisis de productos financieros derivados.*

[7] Vidaurri, Héctor M. (2008): *Matemáticas Financieras.*

[8] www.banxico.org.mx

[9] www.cbbanorte.com.mx

[10] www.mathworks.com

[11] www.mexder.com