UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

CONSTRUCCIÓN DE LA CURVA CUPÓN CERO MEDIANTE EL MÉTODO BOOTSTRAPPING APLICADO A TASAS TIIE 28 DÍAS

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

ACTUARIO

P R E S E N T A:

FERNANDO ISAÍ GUZMÁN RIVERA

DIRECTOR DE TESIS:
ACT. ENRIQUE MATURANO RODRÍGUEZ
2014

Agradecimientos

Primeramente a mis padres, por haberse sacrificado para mantenerme en estos años de estudio, por ustedes cumplí esta hazaña.

A mis profesores de la carrera, por sus enseñanzas, tareas y uno que otro consejo.

A mis amigos, por los momentos buenos y malos que pasamos durante esta etapa.

A mi asesor de tesis, por su tiempo y ayuda brindada para la realización de este trabajo.

A mis sinodales, por su apoyo y dedicación para revisar esta tesis.

Al profesor Eduardo Torres, por recibirme de oyente, ya que sin él, no tendría los conocimientos para hacer posible esta meta.

A la Universidad, por hacernos profesionistas.

Índice general

Introducción

En el ámbito financiero, es de suma importancia el conocimiento de las tasas de interés, ya que pueden ser utilizadas para descontar flujos en inversiones o para realizar proyecciones al momento de solicitar créditos. Un concepto que va muy ahunado a esto es la *Curva de Rendimientos*, la cual es la representación gráfica de la relación que guardan los rendimientos de algún activo financiero con su respectivo vencimiento.

Es esencial conocer y saber interpretar esta curva, cuya importancia radica en la información que lleva implícita acerca de la perspectiva que tienen los inversionistas y los mercados mundiales sobre la política financiera aplicada por el Banco Central de algún país, su posible inflación, advertir el comportamiento futuro de las tasas de interés, el impacto de estas en las inversiones, los costes de financiamiento, así como para anticipar la actividad económica del país seleccionado en la posteridad.

La Curva de Rendimientos generalmente es construida con *bonos gubernamentales* debido a su amplia gama de plazos de vencimientos y que estos son comercializados libremente y en grandes cantidades en *mercados secundarios*[1], aunque sólo sirve para valuar instrumentos colocados en el *mercado primario*[2].

Para una correcta valuación de activos financieros en el mercado secundario, la Curva de Referencia típica se construye con instrumentos de *renta fija* con pagos intermedios o *cupones*, y a partir de ésta, es posible derivar la relación con los instrumentos financieros de un sólo pago al final del plazo o *cupón cero* y su correspondiente vencimiento.

Este trabajo tiene como objetivo dar a conocer la manera en la que se construye una curva cupón cero aplicando la metodología de *Bootstrapping* ya que ésta parte generalmente se omite en los cursos de valuación de instru-

[1]Mercado cuyos instrumentos ya han sido intercambiados al menos una vez

[2]Mercado cuyos instrumentos son totalmente nuevos

mentos financieros como los swaps, y la curva es proporcionada sin indicar como fué hecha. Esto se realizará al introducir los conceptos necesarios al lector para poder realizar la construcción de la Curva de Rendimientos, desde que es una tasa de interés, hasta la selección y explicación de cada uno de los instrumentos requeridos por el método de *Bootstrapping*, así como el procedimiento paso a paso para el caso LIBOR, que opera en gran parte del mundo, y se enfoca en el panorama mexicano. Para la realización de los cálculos, se implementó el uso del software **Microsoft Excel**, el cual resulta muy eficiente para la organización, cálculo y presentación de los datos obtenidos aplicando el procedimiento antes indicado.

En el primer capítulo de este trabajo se esclarecerán los conceptos de tasa de interés, los modelos que se aplican actualmente para cuantificarla, tales como son el modelo *simple, compuesto y continuo*, también se abordarán los temas del valor del dinero a través del tiempo con los conceptos de *Valor Presente* y *Valor Futuro*, y al final de este capítulo, la comparación de este valor en el tiempo con la *Ecuación de Valor*, la cual se apoya en un diagrama que ayuda a la resolución de problemas de manera gráfica, el *Diagrama de Tiempo*.

El segundo capítulo va dirigido a los insumos o instrumentos de mercado que serán necesarios para la construcción de la Curva Cupón Cero, se dará a conocer su definición, sus principales características y la fórmula para su valuación respectivamente. Entre los temas principales se encuentra el *Mercado de dinero*. Posteriormente se hablará del *Mercado de deuda*, *CETES* y *tasas gubernamentales. Bonos*, fórmulas para el cálculo de su precio y tipos de tasa que se encontrarán en estos. Después se hallarán los tipos de tasas respectivas de instrumentos como *Futuros sobre tasa* y *Swaps*, las *convenciones de conteo de días* que son adoptadas por los bancos o entidades financieras para el cálculo de los instrumentos mencionados anteriormente y al final su metodología de valuación.

El tercer capítulo es dedicado a la explicación de lo que es una curva de interés, así como la construcción paso a paso de la Curva Cupón Cero mediante el método de Bootstrapping dividido en corto, mediano y largo plazo.

En el capítulo final se ejemplificará la construcción, utilizando datos de mercado extraídos previamente para la tasa LIBOR de 3 meses la cual opera internacionalmente entre distintas entidades mundiales. Para este capítulo se utilizaron notas de clase del Profesor Eduardo Torres, referenciado en la bibliografía, igualmente, se recreará la construcción de la curva para el caso de México, dividido en corto y largo plazo debido al poco volumen y liquidez de operación en instrumentos de mediano plazo. Al igual que en la curva LIBOR, se utilizarán datos de mercado y software informático, y una vez hecho esto, se presentarán las conclusiones finales del trabajo.

Capítulo 1

Medición de tasas de interés

1.1. Tasa de interés

Se define la *tasa de interés* como el precio del uso del dinero, es decir, la renta en porcentaje, que un prestamista cobra a un prestatario, para compensar el tiempo que el prestador se queda sin el dinero, mientras la contraparte lo utiliza para su beneficio propio. De igual manera si una persona deposita su dinero en una institución bancaria, ésta última pagará una tasa de interés por utilizar dinero que no le pertenece, esta tasa es conocida como la *tasa pasiva*, ya que representa una obligación, por ejemplo, en inversiones. El banco a su vez, cobrará una tasa de interés llamada *tasa activa*, ya que es un recurso a favor de la institución, en caso de conceder un préstamo crediticio a algún solicitante.

1.2. Valor Futuro

La operación financiera de invertir una unidad monetaria (la cual denotaremos a partir de ahora como una u.m.) a cierta tasa de interés es muy común en los bancos. La cantidad inicial la llamaremos *Principal* y el monto total que se recibe al final del periodo de inversión lo llamaremos *Valor Acumulado* o *Valor Futuro*. La diferencia entre el Valor futuro y el Principal se llamará *monto de interés* o simplemente *interés*, el cual obtuvimos sólo en ese tiempo. Tenemos que asumir que durante el periodo de inversión no habrá movimientos como retiros o depósitos en ésta, y que los únicos movimientos que habrá serán los generados por el interés. Introduzcamos lo siguiente: T

será la variable para medir el tiempo que durará la inversión, usualmente es medido en años, pero también puede ser medido en meses, días o incluso cada segundo como veremos posteriormente. Suponga que se invertirá una u.m. de Principal. Se definirá una *función de acumulación* $a(t)$ que depende del tiempo, la cual calculará el Valor Acumulado o futuro al tiempo t solicitado $(t > 0)$ de una u.m. y tiene las siguientes propiedades:

1. $a(0) = 1$, ya que al inicio del tiempo sólo tenemos la unidad monetaria que se va a invertir.

2. $a(t)$ es una función creciente pero puede ser decreciente, lo cual implica una tasa de interés negativa. Esto es posible en teoría, mas no es muy común en la práctica. Un ejemplo de esto sería un fondo que a partir de cierto tiempo tuviera pérdidas. En caso de ser una función constante implica que no hay pago de intereses, o lo que es lo mismo, una tasa de $0\,\%$ de interés, aunque las tasas reales pueden ser negativas.

3. Si el interés se paga continuamente, la función será continua. Sin embargo hay escenarios donde el interés no se paga sino hasta el final del periodo, en este caso, $a(t)$ es discontinua. Dadas estas propiedades, debemos intuir que no siempre será invertida una u.m., sino k u.m., donde $k > 0$.

Ahora se define una función $A(t)$, la cual nos dará el valor acumulado o valor futuro de una inversión de k u.m. al tiempo $t > 0$ del principal original. Entonces:

$$A(t) = k{\cdot}a(t)$$

y

$$A(0) = k$$

Las propiedades 2 y 3 de la función $a(t)$ aplican de manera análoga en esta función $A(t)$.

Se define también I_n como el monto de interés del $n-\acute{e}simo$ período, así pues:

$$I_n = A(n) - A(n-1)$$

para $n = 1, 2, 3, ...$

1.3. Tipos de tasa de interés

Una vez conocida la definición de tasa de interés y valor futuro, es muy importante saber cómo podemos medir o cuantificar la renta o costo del préstamo o inversión, es decir, el interés. En la práctica los modelos más utilizados son tres:

- Tasa de interés simple o lineal
- Tasa de interés compuesto o geométrico
- Tasa de interés continuo o exponencial

1.3.1. Tasa efectiva de interés

La primer medida de interés a introducir se llama *tasa efectiva* y es denotada por i. Una definición será:

"Es el monto de dinero que una u.m. invertida al inicio del periodo nos dará durante el periodo, donde el interés es pagado al final de éste".

En términos de la función de acumulación se tiene que:

$$i = a(1) - a(0)$$

o

$$a(1) = 1 + i$$

Algunas observaciones importantes para hacer son:

1. Este término aplica para las tasas cuyo interés es pagado una sola vez al termino del periodo.
2. Esta tasa de interés se puede expresar como porcentaje.
3. El principal no cambia, es decir, no hay depósitos ni retiros.
4. El interés se pagará al final de dicho periodo.

Otra definición puede ser:

> "Es una proporción del monto de interés obtenido durante el periodo con respecto al principal invertido al inicio del periodo".

Entonces:

$$i_n = \frac{A(n) - A(n-1)}{A(n-1)} = \frac{I_n}{A(n-1)}$$

para todo $n = 1, 2, 3, ...$

1.3.2. Tasa de interés simple

Anteriormente se definió el valor futuro, y sabemos que $a(0) = 1$ y $a(1) = 1 + i$. Retomando estos dos conceptos la función $a(t)$ puede ser evaluada en cualquier punto, aunque estos dos son los puntos más evaluados en la práctica. Suponga la inversión de una u.m. tal que los intereses obtenidos durante cada periodo son constantes. Así, en el primer periodo tendremos $1+i$, en el segundo $1+2i$, en el tercero $1+3i$, etc. Generalizando el concepto, se tendrá una función de acumulación lineal, la cual es: $a(t) = 1 + it, t = 1, 2, 3, ...$ A este tipo de crecimiento de interés, se le conocerá como *interés simple*. El tiempo t entonces si es fraccionario, será contado como $\frac{t}{365}$ o $\frac{t}{12}$, dependiendo si son días o meses respectivamente, considerando el supuesto realizado, el cual menciona que el periodo más común de conteo de periodos en inversiones es de 1 año.

1.3.3. Tasa de interés compuesto

El interés simple posee la característica de que los intereses ganados no son reinvertidos para obtener mas interés. El modelo de *interés compuesto* maneja esta característica, asume que los intereses ganados son reinvertidos automáticamente. El hecho de llamar interés "compuesto" refiere a este proceso de reinversión de los intereses obtenidos en un periodo para tener una mayor acumulación de capital al final de n periodos por el concepto de interés. Conociendo el concepto, se procederá a definir una función de acumulación, la cual queda como una de crecimiento geométrico, ya que la razón de crecimiento es la tasa de interés pactada para el periodo de inversión con respecto al tiempo. Entonces la función será:

$$a(t) = (1+i)^t$$

Este factor se puede explicar con el siguiente ejemplo:

Suponga que se invierte una u.m. la cual acumula $1+i$ al final del primer periodo. Este saldo será nuestro nuevo principal o capital inicial y se invertirá al inicio del segundo periodo. Al final de este se obtendrá la cantidad de $i{\cdot}(1+i)$ por concepto de interés. El saldo al final del periodo será entonces el principal más los intereses, es decir: $(1+i)+i{\cdot}(1+i)$. Realizando álgebra obtenemos que: $1+i+i+i^2 = 1+2i+i^2$, lo cual se factoriza en $(1+i)^2$, el cual será el nuevo capital a inicio del tercer periodo, y así continuará sucesivamente. Una vez analizado este resultado se podrá decir que el interés simple y el interés compuesto nos darán el mismo resultado al final del primer periodo, ya que:

$$(1+i)^t = 1+it, \text{ cuando } t = 1$$

$$(1+i)^1 = 1+(i{\cdot}1)$$

$$1+i = 1+i$$

Así mismo, a largo plazo el interés compuesto nos dará un mayor rendimiento que el simple, y a corto plazo el simple es mayor que el compuesto siempre que se considere la misma i.

$$a(t)\begin{cases}(1+i)^t > 1+it & \text{largo plazo}(t > 1 \text{ año})\\ 1+it \geq (1+i)^t & \text{corto plazo}(t \leqslant 1 \text{ año})\end{cases}$$

1.3.4. Tasa de interés nominal

Este tipo de tasa se caracteriza por pagar interés más de una vez por periodo de inversión. El símbolo para denotar este tipo de tasa es $i^{(m)}$, donde m es un número entero positivo mayor a 1 y que representa el número de pagos en un solo periodo de inversión. Una tasa nominal refiere al hecho de pagar m veces en un periodo, o bien, la fracción de esa tasa de interés, es decir, $\frac{i^{(m)}}{m}$ por cada $m-ésimo$ del periodo. Por ejemplo, una tasa del 6 % convertible semestralmente nos da un 3 % efectivo, ya que $\frac{i^{(m)}}{m} = \frac{6^{(2)}\,\%}{2} = 3\,\%$ Se puede decir que la tasa nominal es igual a una tasa efectiva de interés por $m-ésimo$ de periodo. De esta definición podemos sacar la siguiente equivalencia, si i es efectiva al periodo:

$$1+i = (1+\frac{i^{(m)}}{m})^m$$

Ya que de ambas obtendremos el mismo valor futuro al final del periodo. Despejando esta ecuación podemos obtener las tasas de interés, tanto la efectiva al periodo como la nominal:

$$i = (1 + \frac{i^{(m)}}{m})^m - 1$$

o bien, despejando la nominal se tiene que:

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

1.3.5. Tasa de interés continuo

En los modelos de medición de tasa anteriores, el interés se ve aplicado al principal al final del periodo de inversión, pero también es importante conocer como cuantificar la intensidad con la cual el interés actúa a cada momento durante el periodo, es decir, en unidades infinitamente pequeñas. Este modelo se conocerá como la *Fuerza de Interés.*

Suponga que se invertirá capital en un fondo tal que el monto final a tiempo t estará dado por una función $A(t)$. Cabe señalar que se asumirá de igual manera, que el único factor que modificará el fondo será el interés, es decir, no habrá retiros ni depósitos durante el periodo de inversión.

La intensidad con la cual el interés se aplicará en el momento t está dado por la pendiente de la curva de la función $A(t)$. Refiriendo a la teoría de Cálculo, la pendiente de la función $A(t)$ está dada por la derivada de la misma función en ese punto.

Debido a que $A'(t)$ no es una buena medida de interés ya que depende del monto invertido, se tendrá que dividir entre $A(t)$. De esta manera, se logrará dar una medida de la intensidad que está afectando al fondo expresada por cada unidad monetaria invertida. Entonces, la fuerza de interés al tiempo t, estará denotada por δ_t, y se definirá como:

$$\delta_t = \frac{A'(t)}{A(t)} = \frac{a'(t)}{a(t)}$$

Las siguientes propiedades deben tenerse en cuenta:

1. δ_t mide la intensidad del interés en el momento exacto t.

2. δ_t expresa la medida por periodo medido.

Una manera de reescribir δ_t aplicando la definición de la derivada del logaritmo natural de Cálculo Diferencial es:

$$\delta_t = \frac{d}{dt}\ln A(t) = \frac{d}{dt}\ln a(t)$$

De aquí, se podrá despejar una expresión para $A(t)$ y $a(t)$ en términos de la función δ_t, esto se logrará mediante el reemplazo de r por t e integrar ambos lados de la ecuación de 0 a t, entonces:

$$\int_0^t \delta_r dr = \int_0^t \frac{d}{dt}\ln A(r)dr = \ln A(r)\Big]_0^t = \ln\frac{A(t)}{A(0)}$$

$$e^{\int_0^t \delta_r dr} = \frac{A(t)}{A(0)}$$

pero $A(0) = 1$,entonces:

$$A(t) = e^{\int_0^t \delta_r dr}$$

Otra forma es despejando $A(t)\delta_t = A'(t)$ e integrar, de tal manera que:

$$\int_0^n A(t)\delta_t dt = \int_0^n A'(t)dt = A(t)\Big]_0^n = A(n) - A(0)$$

Esta fórmula puede interpretarse como el total de intereses recibidos durante los n periodos de inversión. La expresión diferencial $A(t)\delta_t dt$ indicará el monto de interés recibido sobre el monto $A(t)$ al instante t al cual le será aplicada una fuerza de interés δ_t.

Si se analizara la definición de fuerza de interés en términos de la definición de la derivada, $A'(t)$ se puede expresar como:

$$A'(t) = \lim_{h\to 0}\frac{A(t+h) - A(t)}{h}$$

y δ_t se escribirá como:

$$\delta_t = \frac{A'(t)}{A(t)} = \lim_{h\to 0}\frac{A(t+h) - A(t)}{hA(t)}$$

En ésta última expresión, conforme $h \to 0$, el límite puede ser descrito como una tasa de interés nominal con base en la periodicidad o intensidad de la fuerza de interés al tiempo t.

En teoría, la fuerza de interés varía constantemente, sin embargo, en la práctica es constante durante el periodo, y si esto sucede podemos compararla con una tasa efectiva que será igualmente constante durante el tiempo, de tal manera que para saber el interés implícito en la fuerza de interés, se igualarán las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned} e^{\int_0^n \delta_t dt} &= e^{n\delta} \text{ si } \delta_t = \delta \text{para } 0 \leq t \leq n \\ &= a(n) \\ &= (1+i)^n \end{aligned}$$

Entonces:

$$e^{\delta} = 1 + i$$

o si despeja, para obtener δ en términos de i:

$$\delta = \ln(1 + i)$$

y también i en términos de δ:

$$i = e^{\delta} - 1$$

1.4. Valor Presente

Hasta este momento se ha revisado el factor de acumulación, el cual calcula el valor futuro de una inversión al final de un periodo de una u.m. Es necesario también, saber el monto que se requiere invertir inicialmente para que al final del periodo de inversión se obtenga una u.m. Este calculo se realizará con la operación inversa del factor de acumulación, el cual se llamara *factor de descuento*, y se define como:

$$a^{(-1)}(1) = v = \frac{1}{1+i}$$

Debido a que v acumula al final del periodo de inversión una u.m., podemos expresarla en términos de factor de descuento y de acumulación como:

$$v \cdot a(1) = 1$$

Ya que por definición, $v = \frac{1}{1+i}$ y $a(1) = 1 + i$

Se puede generalizar este factor de descuento para t periodos, ya que al final de estos, se recaudará una u.m. tal que:

$$a^{(-1)}(t) \cdot a(t) = 1$$

Dependiendo del tipo de modelo de interés a utilizar, el factor de descuento se define como sigue:

$$\text{Simple: } a^{(-1)}(t) = \frac{1}{1+it}$$

o

$$\text{Compuesto: } a^{(-1)}(t) = v^t = \frac{1}{(1+i)^t}$$

o

$$\text{Continuo: } a^{(-1)}(t) = P(0,T) = \exp\left(-\int_0^T \delta_s ds\right)$$

1.5. Ecuación de Valor

En la teoría de interés hay un principio fundamental, el cual es que el valor de un monto de dinero en cualquier punto dado, depende del tiempo que ha transcurrido desde que el dinero se pagó, o el tiempo que pasará en el futuro antes de ser pagado. Este principio se conoce como el *reconocimiento del valor del dinero en el tiempo*. Este proceso no está tomando en cuenta el efecto de la inflación, el cual reduce el poder adquisitivo del dinero a través del tiempo. Como consecuencia del principio anterior, para poder comparar 2 montos de dinero es necesario que estos estén siendo valuados o calculados en una fecha en común o fecha focal. Esta fecha se llamará *fecha de comparación*, y la ecuación que acumula o descuenta estos flujos para ser comparados se define como *Ecuación de Valor*. Una herramienta muy útil para comprender este concepto es la *línea de tiempo* o *diagrama de tiempo* (ver Figura 1.1) , el cual es un gráfico unidimensional, escalado en unidades de tiempo, ya sean fechas o periodos, y los pagos realizados en su respectivo momento. Una forma de escribir los pagos es en la parte superior del diagrama los flujos o pagos a dar y en la inferior los flujos a recibir. La fecha de comparación se marcará con una flecha. El hacer este diagrama nos facilitará la visualización de los flujos de efectivo, los cuales, utilizando el factor de acumulación o el de descuento, serán llevados a la fecha de comparación para resolver el problema. Estos factores llevan un modelo de medición de tasa de interés de los mencionados previamente, el simple, compuesto, o el instantáneo.

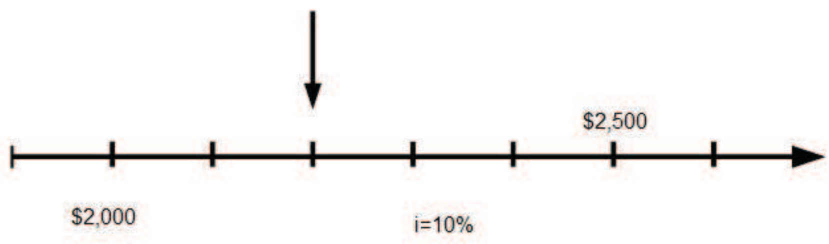


Figura 1.1: Diagrama de tiempo

Capítulo 2

Mercados Financieros

En este capítulo se darán a conocer algunas de las tasas con las que operan los mercados financieros, tales como son la tasa forward, la tasa gubernamental, la tasa spot, bonos, forwards y swaps. Como anteriormente se dijo, el interés requiere dos partes, una parte que va a prestar o financiar algún préstamo y otra que va a recibir éste y pagar intereses por el mismo, entre éstas, existe un riesgo o probabilidad de incumplimiento del pago por parte del que recibe el préstamo. Una manera de protegerse es cobrando una tasa de interés mayor, otra puede ser ofrecer pagar un mayor interés al solicitar el dinero. Para saber cual sería la probabilidad o riesgo de incumplimiento se recurre a historiales de crédito en caso de personas o calificadoras en caso de empresas. Estas, con base en análisis de balances generales y estados de resultados pueden darle idea a alguna entidad financiera que está próxima a realizar un préstamo, la tasa que debe cobrarles por este riesgo que asumirán. Resumiendo esto, podemos decir que a mayor riesgo o probabilidad de incumplimiento, habrá un mayor rendimiento o interés.

Igualmente se introducirán los conceptos de los instrumentos del mercado que se requieren para construir posteriormente, la curva cupón cero mediante el método *Bootstrap*, tales como son *Bonos*, *Forwards de tasa de interés* y por último, los *Swaps de tasa de interés*. Se abordará la valuación de los mismos y se observará de donde se obtienen los precios que da el mercado.

Primeramente se definirá lo que es un mercado financiero, el cual es aquél espacio (no necesariamente físico) donde se intercambian activos financieros con la finalidad de mover el dinero a través del tiempo, cuyas principales funciones son:

- Poner en contacto a compradores y vendedores

- Determinar los precios de los activos financieros a intercambiar
- Reducir los precios de intermediación para aumentar el volumen de operaciones
- Proporcionar liquidez a los instrumentos que se compran/venden
- Reducir el plazo de intermediación

Así mismo, las características que tienen son las siguientes:

- *Amplitud*: Volumen de activos financieros negociados en el mercado.
- *Profundidad*: Refiere al número de órdenes que hay de compra y de venta existentes para cada activo financiero.
- *Transparencia*: Facilidad con la que los inversores pueden accesar a la información para la toma de decisiones.
- *Libertad*: No hay intervención por parte de autoridades monetarias o económicas en los precios, si no que son dados por la oferta y la demanda.
- *Flexibilidad*: Rapidez con la que se adaptan a los cambios económicos.

De acuerdo a algunos criterios que se mencionarán posteriormente, los Mercados Financieros pueden tener las siguientes clasificaciones:

- Por su funcionamiento en:
    - Mercado Directo: El intercambio de activos se realiza directamente entre demandantes y oferentes.
    - Mercado Intermediado: Al menos uno de los participantes (compra o venta) utiliza indistintamente a un intermediario financiero
- Por los activos financieros que se negocian en:
    - Mercado de Dinero: Se negocian activos a corto plazo, generalmente con bajo riesgo y alta liquidez. (Ejemplo: Bonos)
    - Mercado de Capitales: Se negocian activos a mediano y largo plazo y que implican un mayor riesgo. (Ejemplo: Acciones bursátiles)

- Por el grado de intervención de autoridades monetarias en:
  - Mercado Libre: El precio de los activos es libre, es decir, es dado en relación a la oferta y demanda que existe en el mercado.
  - Mercado Regulado: El precio o alguno de los componentes del activo está influenciado por el actuar de alguna autoridad.
- Por la fase de negociación de los activos en:
  - Mercado Primario: Los activos financieros que se intercambian son de nueva creación, también llamado Mercado de Emisión.
  - Mercado Secundario: Los activos son ya existentes, cambian de titularidad y deben ser negociados legalmente.
- Por el grado de formalización en:
  - Mercado Organizado: Mercados donde existen normas y reglas para su funcionamiento.
  - Mercado No Organizado: No existen reglamentos, depende de lo que se acuerde entre las distintas partes.

Los Mercados Financieros a su vez se subdividen en *Mercados de Deuda, Mercados de Divisa o Cambiarios* y *Mercados Accionarios.* A continuación se detallará cada uno de estos.

2.1. Mercado de deuda

Como sabemos, el gobierno, ya sea federal, estatal o local, así como las empresas paraestatales y privadas, requieren de capital para llevar a cabo algún proyecto nuevo o simplemente para seguir operando, esto lo realizan mediante un préstamo bancario, o bien, mediante la emisión de instrumentos de deuda. El Mercado de Deuda es pues, la infraestructura donde se negocian estos instrumentos. Algunas de las características más importantes de estos instrumentos es que generalmente son a corto plazo, tienen alta liquidez y son sensibles a la política monetaria del Banco Central del país, aunque también existen instrumentos a mediano y largo plazo y no son tan líquidos como los de corto plazo.

2.1.1. Instrumentos de deuda

Son títulos, es decir, documentos que respaldan las obligaciones de una transacción financiera entre un emisor (gobierno, banco o empresa) y un inversionista (persona, otra empresa), donde el emisor se compromete a pagar los recursos que le han sido prestados más un interés previamente pactado al poseedor del título, en una fecha de vencimiento acordada al inicio.

Los instrumentos de deuda se pueden clasificar de la siguiente manera:

1. Por su cotización: De acuerdo a la manera en la que se hace público el precio de los títulos. Estos pueden cotizar:

    - "A Descuento", cuya característica general, aunque no obligatoria, es que el precio del título es menor que la cantidad que será regresada al vencimiento del título, llamada *Valor Nominal* o *Valor Facial*[1]. Otra característica de la cotización "a descuento", es el no pago de *cupones.* Un cupón es el nombre que se le da a cada uno de los cobros de dividendos o derechos de suscripción que ejerce el accionista que posee uno de estos títulos y va en función a un porcentaje del Valor Facial. A los títulos que no pagan cupones se les conoce como *cupón cero.* En este caso, la tasa de rendimiento o interés, es la diferencia entre el Valor Nominal y el precio.
    - "A Precio", cuya principal característica es que si hay pago de cupones entre fechas hasta vencimiento. El precio de este tipo de títulos es el resultado de sumar al día de hoy todos los pagos de intereses que se realizarán en el futuro, mejor conocido como el *Valor Presente Neto* de los pagos de interés, más el Valor Presente Neto del Valor Nominal del título, que recibe el nombre de Principal. La diferencia entre el Valor Nominal del título y el precio del mismo, nos dará el rendimiento. Una excepción son los Bondes D del Gobierno Federal, los cuáles son títulos que se colocan a descuento pero pagan cupones.

2. Por su colocación: Manera en que se hace del conocimiento de todos, su emisión puede ser:

    - Pública: Se da a conocer en medios masivos y se subasta, o bien, si ya hay clientes, se negocia directamente con ellos.

[1] En México es conocido como Valor de Redención

  - Privada: Dirigido principalmente a grupos de inversionistas, no se da a conocer.

3. Por su tipo de tasa: Refiere a la manera en que son pactados los intereses del título, puede dividirse en:

   - Fijos: Como su nombre lo indica, la tasa de interés no cambia a lo largo de la vida del activo.
   - Variables: La tasa de interés cambia periódicamente.
   - Indizada: Ligada a la inflación o al tipo de cambio y cambia conforme a la referencia indizada.

4. Por riesgo del emisor: Capacidad de pago del emisor. Normalmente aquí entran las agencias calificadoras a asignar alguna calificación de acuerdo a la capacidad de pago.

Dicho antes, los títulos se compran y venden en dos principales mercados de deuda:

- Primario: Donde se colocan instrumentos de nueva emisión y el inversionista compra directamente el título.

- Secundario: Los títulos se demandan y ofrecen libremente, además, este mercado cuenta con dos grandes bloques dependiendo del tipo de intermediario y mecanismo de negociación.

  - Mercado Interbancario: Donde participa la banca comercial, banca de desarrollo y casas de bolsa.
  - Mercado con la clientela: Donde una de las dos partes pertenece al mercado interbancario y la otra puede ser cualquier persona, y en caso de ser dos clientes que no pertenezcan al mercado interbancario, es necesario que alguna institución interbancaria funja como intermediario.

En México el mercado de deuda comenzó a funcionar en 1978 con la emisión de *Certificados de Tesorería (CETES)*, y a partir de 1988, mediante la reforma financiera de ese mismo año, se comenzó a formar el mercado de deuda privada.

2.1.2. CETES

Son instrumentos de deuda de corto plazo emitidos por el gobierno federal, máximo de un año, emitidos por Banxico, con la finalidad de financiar el gasto público y controlar el dinero circulante. Su Valor Nominal es de 10 pesos y son cotizados "a descuento", además de que solamente realizan el reembolso en una sola exhibición. Sus plazos normalmente son de 28, 91, 182 y 364 días, aunque se pueden cotizar a cualquier plazo. La tasa de rendimiento implícita (*tasa gubernamental*) es la diferencia entre el precio de compra y el Valor Nominal.

2.1.2.1. Tasa Gubernamental

Esta tasa es la que el gobierno de un país determinado paga por pedir prestado en moneda propia. Por ejemplo, la tasa *Treasury* de Estados Unidos, es aquella que el gobierno paga por un préstamo en dólares americanos, moneda local de ese país. En México, la tasa que el gobierno federal paga por un préstamo en pesos mexicanos, es la tasa *CETES*. En este tipo de tasas, se omite el riesgo de incumplimiento de pago por parte del gobierno, ya que si éste en algún momento no pudiera cubrir sus obligaciones, fácilmente puede emitir más dinero para poder hacer frente a éstas. Por esta razón, las tasas gubernamentales son consideradas como tasas "libres de riesgo".

2.1.3. Bonos

Es un instrumento de deuda de distintos plazos, en el cual el emisor se compromete a pagar al comprador, la cantidad de dinero prestada llamada Principal, más intereses periódicos calculados con base en este monto, durante un periodo de tiempo determinado. Estos pagos periódicos también son conocidos como cupones, y ya han sido previamente definidos.

El propósito de los bonos, como los CETES, es financiarse o llevar a cabo algún proyecto. Los bonos se caracterizan por tener algunos de los siguientes componentes:

- El nombre del emisor
- Tipo del emisor (sector al que pertenece)
- Denominación del bono (moneda)

- Fecha de inicio
- Fecha de maduración o término
- Tasa del cupón (fija, flotante, multicupón)
- Frecuencia del cupón (número de días entre el pago de cupón)
- Principal o Nominal
- Valor de redención (Porcentaje al cual será reclamado el Principal, en todos los casos es 100 % a menos que se especifique lo contrario)

Los bonos se pueden clasificar de acuerdo a su estructura en:

1. Bonos Bullet: Pagan cupones durante la vida útil del instrumento y el principal íntegro a fecha de vencimiento, cabe resaltar que este es el más extendido en el mercado de deuda.
2. Bonos Amortizables: Van pagando el principal durante la vida del bono, para reducir el riesgo de impago del nominal.
3. Bonos cupón cero: No pagan cupones hasta su vencimiento y su precio es menor que el valor nominal.

En México los bonos principales que emite el Gobierno Federal son los Bonos M, UdiBonos y Bondes. Estos tienen un valor Nominal o Principal de 100 pesos y se cotizan “a precio”, el pago de cupones se realiza de manera semestral, o bien, cada 182 días, y al vencimiento se paga el Principal. Actualmente existen referencias de bonos a 3, 5, 10, 20 y 30 años, aunque se pueden emitir a cualquier plazo siempre y cuando sea múltiplo de 182 días. La tasa de interés o tasa cupón de los Bonos M es fija, si el bono cotiza en Unidades de Inversión (UDIs) recibe el nombre de UdiBono, y cuando la tasa cupón del bono es revisable, es decir, cambia periódicamente, se trata de un Bonde.

2.1.3.1. Valoración de un Bono

Para poder valorar un bono, se requiere calcular el Valor Presente Neto de todos los flujos futuros, esto es, traer a Valor Presente a fecha actual o fecha de valuación todos los flujos, lo cual se realiza de la siguiente manera:

- Si el bono es cupón cero:

$$P = \frac{VN}{(1 + r * \frac{t}{360})}$$

Donde:
P =Precio del bono
VN =Valor Nominal o Principal
r =Tasa de rendimiento del período efectiva simple
t =Número de días entre la fecha de vencimiento y la fecha de valuación

- Suponiendo que paga n cupones:

$$\begin{aligned} P &= \frac{C_1}{(1+r_1*\frac{t_1}{360})} + \frac{C_2}{(1+r_2*\frac{t_2}{360})} + \cdots + \frac{C_n+VN}{(1+r_n*\frac{t_n}{360})} \\ &= \sum_{i=1}^{n-1} \left[\frac{C_i}{(1 + r_i * \frac{t_i}{360})} \right] + \left[\frac{C_n + VN}{(1 + r_n * \frac{t_n}{360})} \right] \end{aligned}$$

Donde:
P =Precio del bono
VN =Valor Nominal o Principal
r =Tasa de rendimiento efectiva simple
t_i =Número de días entre fecha de vencimiento del cupón i y la fecha de valuación
C_i =i-ésimo cupón del bono, calculado de la siguiente manera:

$$C_i = VN * \frac{TC_i * Pl_i}{360}$$

Donde:
VN =Valor Nominal o Principal
Pl_i =Número de días entre el cupón i y el cupón $i - 1$
TC_i =Tasa del $i-$ésimo cupón efectiva simple
Como fue visto en el capítulo 1.4 de esta tesis, podemos utilizar el factor de descuento para simplificar la ecuación, de modo que resulta:

$$P = \sum_{i=1}^{n-1} [C_i df_i] + [C_n + VN] \, df_n$$

Donde:
$df_i = \left[\frac{1}{1+r_i*\frac{t_i}{360}} \right]$

Es importante hacer énfasis en que, en la práctica, la gran mayoría de los periodos de pago de cupones de los instrumentos de deuda son menores o igual a un año, por lo que para realizar los cálculos, se utiliza el modelo de interés simple, aunque igualmente se puede calcular utilizando el modelo compuesto o el continuo. De igual manera, la forma en que son contados los días depende de la convención de conteo de días que establezca el instrumento, como se verá en la sección 2.5 de esta tesis.

2.1.3.2. Precio sucio y Precio limpio

Cuando un bono se vende o compra en el interplazo de cupones, se habrá acumulado cierto interés devengado por el cupón en curso. El pago del cupón se le dará al portador del bono justo en el momento del pago del bono, ya que al venderlo, el bono quedará registrado a nombre del comprador. Como éste, no tuvo durante todo el tiempo en su poder el bono, arregla pagar cierta "compensación" por los intereses que devengó el cupón en curso, para esto, es necesario saber cuantos días transcurrieron en el plazo del cupón, los días totales de ese cupón y el interés que paga, de tal manera que se calcula como sigue:

$$I_{devengado} = VN * TC_k * \frac{t_k}{Pl_k}$$

Donde:
VN =Valor Nominal o Principal
TC_k =Tasa de interés del cupón en curso
t_k =Días entre la fecha de emisión o pago de intereses del último cupón y la fecha de valuación
Pl_k =Días totales del cupón en curso

Cabe mencionar que los precios en el mercado se cotizan sobre un Precio Limpio, es decir, sin los intereses interplazo que se han acumulado, pero se liquidan (o venden) en base sucia.

El precio limpio de un bono se calculará de la siguiente manera:

$$P_{limpio} = \sum_{i=1}^{n-1} [C_i df_i] + [C_n + VN]\, df_n - I_{devengado}$$

Sustituyendo la ecuación de $I_{devengado}$ se resume a:

$$P_{limpio} = \sum_{i=1}^{n-1} [C_i df_i] + [C_n + VN] \, df_n - \left[VN * TC_k * \frac{t_k}{Pl_k} \right]$$

2.1.3.3. Tasa de rendimiento o *Yield to Maturity (YTM)*

En un bono cuponado, es la tasa de rendimiento que iguala los flujos del bono a su valor de Mercado. En otras palabras, queda matemáticamente expresada como:

$$P = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{C_i}{(1+y)^{\frac{t_i}{360}}} + \frac{C_n + VN}{(1+y)^{\frac{t_n}{360}}}$$

Donde:
P =Precio del bono
VN =Valor Nominal o Principal
y =Tasa Yield
t_i =Número de días entre fecha de vencimiento del cupón i y el cupón $i-1$
C_i =i-ésimo cupón del bono, calculado de la siguiente manera:

$$C_i = VN * \frac{TC_i * Pl_i}{360}$$

Donde:
VN =Valor Nominal o Principal
Pl_i =Número de días entre el cupón i y el cupón $i-1$
TC_i =Tasa del $i-$ésimo cupón
Para solucionar este problema, suponemos que contamos con el precio de mercado, la tasa cupón, los plazos y únicamente desconocemos la tasa Yield, así, mediante el uso del método de Newton-Rhapson, podemos dar una aproximación a la tasa Yield.

2.1.3.4. Tasa de rendimiento par o *Par Yield*

Esta tasa es la tasa cupón que causa que el precio del bono sea igual al Valor Nominal y usualmente es expresada en términos semi anuales.

2.1.3.5. Tasa Cupón Cero o Zero Coupon (ZC)

Esta tasa, supone un bono cupón cero (anteriormente definido y valuado), cuya principal característica es que paga una u.m. a fecha t (fecha final). Probablemente este instrumento no existe en el mercado, pero es muy importante a la hora de valuar instrumentos financieros que posteriormente se analizarán. Se define como:

$$P = \frac{1}{(1 + r * \frac{t}{360})}$$

Donde:
P =Precio del bono
r =Tasa cupón cero o ZC simple
t =Días entre la fecha de término del instrumento y la fecha de inicio de éste

2.2. Tasa Forward

Es aquella tasa que está implícita por tasas cupón cero para algún tiempo futuro. En otras palabras, es aquella tasa que iguala el rendimiento de un instrumento de $n-1$ periodos, con uno de n periodos, en el periodo faltante. Su fórmula está dada como:

$$(1 + \frac{i_n * t_n}{360}) = (1 + \frac{i_{n-1} * t_{n-1}}{360})(1 + \frac{f_{n-1,n} * (t_n - t_{n-1})}{360})$$

Se despejará la tasa forward y queda:

$$f_{n-1,n} = \left[\frac{(1 + \frac{i_n * t_n}{360})}{(1 + \frac{i_{n-1} * t_{n-1}}{360})} - 1 \right] * \left[\frac{360}{(t_n - t_{n-1})} \right]$$

Donde:
i_n =tasa de interés del n-ésimo período
t_n =plazo en días del n-ésimo período
i_{n-1} =tasa de interés del $n-1$ -ésimo período
t_{n-1} =plazo en días del $n-1$ -ésimo período
$f_{n-1,n}$ =tasa forward implícita en el período $(n-1, n)$

2.3. Tasa Overnight

Es la tasa que aplica para operaciones diarias, ésta es un contrato cupón cero que cotiza en el mercado OTC o no organizado, que inicia el día consultado y paga el interés pactado al día siguiente, a la cual los bancos pueden realizar préstamos o inversiones de los fondos del Banco Central o entre ellos mismos. En Estados Unidos es conocida como *Fed Funds* y en México esta tasa es conocida como *Tasa de Fondeo Bancaria*.

2.4. Tasa Interbancaria

Esta es la tasa que se maneja en los préstamos que se realizan entre bancos de un mismo país. La principal tasa Interbancaria a nivel mundial es la llamada Tasa *LIBOR (London Interbank Offer Rate)* por sus siglas en inglés. Es publicada en Londres diariamente alrededor de las 11:45 am, tiempo del meridiano de Greenwich (GMT), por la *British Bankers Association (BBA)* por parte de *Thomson Reuters*, la cual es una empresa de información financiera global que publica precios de mercado a nivel mundial en más de 100 países. La tasa interbancaria se determina entre los bancos y cambia constantemente conforme a los cambios económicos. La tasa *LIBOR* es mayor que las gubernamentales, ya que ésta no es libre de riesgo, esto es porque existe un pequeño riesgo de incumplimiento de obligación por parte del prestatario, en este caso, un banco internacional.

En México la tasa de referencia para operaciones interbancarias es la *Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio (TIIE)*, la cual es utilizada para préstamos entre los bancos locales ya que es representativa de las operaciones de crédito entre los bancos. Se calcula de manera diaria para diferentes plazos, tales como son 28, 91 y 182 días. El *Banco de México (Banxico)* es el responsable de publicarla diariamente, con base en las cotizaciones que presenten los bancos cuya finalidad es reflejar las condiciones del mercado de dinero en moneda nacional.

2.5. Convención de conteo de días

Determina de que manera se devengarán los intereses a través del tiempo en una gran variedad de transacciones, tales como son bonos, *swaps*, préstamos, etc... El interés generalmente está expresado en función de un período por año (referencia de periodo por default), siendo porciones más pequeñas de año, como meses o días.

La manera en como se contabilizan los días varía depende a lo estipulado en el instrumento negociado, y casi siempre se expresa como una fracción, donde el numerador es un número de días del periodo expresado en alguna convención, como puede ser *actual*, que se refiere expresamente a contabilizar todos los días del mes (ejemplo: 31 días en enero, 28 en febrero, etc...), o bien puede suponerse que todos los meses tienen 30 días (incluso febrero), y el denominador que sería el año completo, puede tener 360 días, 365 días (considera por igual el año bisiesto) o actual, que es el conteo de todos los días del año (respetando los bisiestos).

Las convenciones varían dependiendo el instrumento, el mercado en donde operan y la ubicación de los mismos, pero en general, tenemos convención actual/actual en bonos denominados en euros, 30/360 en bonos denominados distinto del euro, actual/360 en instrumentos del mercado de Inglaterra denominados exceptuando la libra esterlina, donde aplica la convención actual/365.

2.5.1. Convención de días laborables

Existen también convenciones para decidir que pasa si la fecha de un pago es un día no laborable, las cuales son las siguientes:

- *Indiferente*: Aquí no importa si el día de pago es día feriado o fin de semana.

- *Día hábil siguiente*: Las fechas se ajustan en caso de que el pago se realice en día festivo o fin de semana, al día laborable siguiente.

- *Día hábil anterior*: Las fechas se recorren al día laborable anterior en caso de que la fecha sea inhábil o fin de semana.

- *Día hábil siguiente modificado*: En esta convención se ajustan las fechas en caso de fin de semana o día festivo, al día hábil siguiente, a menos que corresponda al mes siguiente, en cuyo caso se recorre al día hábil último del mes.

- *Fin de mes indiferente*: Se ajusta automáticamente al último día del mes, incluso si es festivo o fin de semana.

- *Fin de mes ajustado*: Último día del mes, pero si es día festivo o fin de semana, se recorre al día hábil anterior.

- *Dos días antes del tercer miércoles del mes*: Las fechas generadas son dos días hábiles antes del tercer miércoles de cada mes.

2.5.2. Convención del día de liquidación

El día de liquidación o arreglo es el día en el cual el instrumento en negociación, es pagado y cambia de dueño. Esto es unos cuantos días después de la fecha de transacción T (compra/venta) y los intereses empiezan a devengar a partir de esta fecha. La mayoría de instrumentos denominados en Euros, comienzan en $T+3$ días, denominados en Libras comienzan en $T+5$, denominados en dólares americanos en $T+2$, y en el caso de México en $T+1$.

2.6. Futuros de tasa de interés o Forward Rate Agreement

Es un contrato donde dos partes acuerdan que una tasa de interés será aplicada a un Principal pactado durante un período de tiempo, el cual comenzará en el futuro y termina en una fecha específica. Aquí se especula sobre la tasa, ya que se compara contra una tasa de referencia existente en el mercado. Si el Futuro es arreglado para liquidarse hasta el día de vencimiento, se dice que el contrato está *in arrears*. De esta manera, en la fecha de vencimiento se liquida la diferencia entre la tasa pactada y la tasa observada en el mercado. Si por el contrario, se arregla liquidarse antes de la fecha de vencimiento, se deberán descontar los intereses que el que recibe el dinero puede generar con este préstamo, y a este tipo de arreglo se le conoce como *up-front*.

2.6.1. Valuación de un FRA

El pago a realizar en un *Forward Rate Agreement (FRA)* o Futuro de tasa de interés se calcula como sigue:

- Si se liquida *up-front:*

$$P = VN * \left[\frac{(i-f) * \frac{t}{360}}{(1 + i * \frac{t}{360})} \right]$$

Donde:
P =Pago a realizarse
VN =Valor Nominal o Principal donde se aplicará la tasa pactada
i =Tasa de interés de referencia efectiva simple
f =Tasa forward pactada efectiva simple
t =Tiempo en días entre la fecha de vencimiento y la fecha de inicio del contrato

- Si se liquida *in arrears:*

$$P = VN * (i-f) * \frac{t}{360}$$

Donde:
P =Pago a realizar
VN =Valor Nominal o Principal donde se aplicará la tasa pactada
i =Tasa de interés de referencia efectiva simple
f =Tasa forward pactada efectiva simple
t =Tiempo en días entre la fecha de vencimiento y la fecha de inicio del contrato

2.7. Swaps

Es un acuerdo entre dos contrapartes para realizar intercambios de dinero en el futuro. Los puntos que se acuerdan son las fechas para realizar los intercambios de flujos, el Nocional y la manera en que serán calculados.

Algunos datos históricos sobre estos contratos:

- Fueron introducidos por primera vez en 1981

- Los participantes de este contrato fueron IBM y el Banco Mundial

Existen varios tipos de *swaps*, pero esta tesis se enfocará sólo en uno que es el necesario para construir la *Curva Cupón Cero,* el swap de Tasa de Interés o *Interest Rate Swap (IRS).*

2.7.1. Mecánica de los Swaps

El tipo estándar de swap es el *"plain vanilla"*. En este contrato, la entidad B acepta pagar a la entidad A flujos iguales a un interés fijo sobre el Nominal durante un periodo previamente acordado, a su vez, la entidad A acepta pagar a B flujos iguales a una tasa de interés flotante o variable sobre el mismo nocional durante el mismo periodo de tiempo. Además de esto, la denominación o moneda en la cual se realizarán los flujos es la misma.

2.7.2. Terminología y convenciones de un swap

Todos los swaps son intercambiados y negociados bajo términos legales y condiciones establecidas por la Asociación Internacional de Comerciantes de Swaps (*ISDA* por sus siglas en inglés). Se le conocerá como *"Pata"* o *"leg"* a cada uno de los conjuntos de flujos de cada entidad, también serán aplicadas las convenciones de conteo de días y de días hábiles para los intercambios de flujos, así como la convención de liquidación. Si la tasa flotante se arregla al inicio del periodo se dice que es *Up-Front*, así que el primer flujo del swap es totalmente conocido, si la tasa es fijada al final de cada periodo, se dice que es *In-Arrears*. Algo que hay que resaltar es que, aunque ambas partes reciben pago de intereses, únicamente pagará la parte cuya diferencia entre las tasas pactadas sea positiva.

2.7.3. Valuación de un Swap

Existen 2 maneras de valuar un swap, como un bono, o bien, mediante un portafolio de FRAs, la cuál será la que se utilizará en esta tesis. Es necesario retroceder a la sección 2.6.1 para utilizar la ecuación de valoración de un FRA y poder valuar ambas patas del swap.

Sean $T_1 < \ldots < T_{n_{fix}}$ las fechas cupón del swap, y $T_0 = 0$. El Valor Presente Neto de los pagos de la Pata Fija es la suma de los flujos futuros traídos a valor presente, entonces:

$$VPN_{fix} = \sum_{j=1}^{n_{fix}} \alpha_j CP(0, T_j)$$

Donde:
VPN_{fix} =Valor de la pata fija

C =Tasa cupón efectiva simple

$P(0, T_j)$ =Factor de descuento del periodo 0 a T_j

$\alpha_j = \frac{T_j - T_{j-1}}{360}$ Número de días entre las tasas cupón respectivas (denominador determinado por convención)

Será de ayuda reescribir la expresión anterior como:

$$VPN_{fix} = CL$$

Donde:

$$L = \sum_{j=1}^{n_{fix}} \alpha_j P(0, T_j)$$

A esta ecuación se le conoce como el Nivel del swap.

Para la Pata Flotante, la ecuación se expresará:

$$VPN_{flot} = \sum_{j=1}^{n_{flot}} \delta_j L_j P(0, T_j)$$

Donde:

VPN_{flot} =Valor de la pata flotante

$$L_j = F(T_{j-1}, T_j) = \frac{1}{\delta_j} \left(\frac{1}{P(T_{j-1}, T_j)} - 1 \right)$$

es la tasa forward que aplica para el periodo (T_{j-1}, T_j)

$\delta_j = \frac{T_j - T_{j-1}}{360}$ Número de días entre las tasas forward respectivas (denominador determinado por convención)

$P(0, T_j)$ = Factor de descuento del periodo 0 a T_j

Al momento de valuar un swap, es importante recalcar que

$$VPN_{flot} = 1 - P(0, T_{mat})$$

Donde T_{mat} es la fecha de maduración del swap. Esta ecuación se puede reescribir como

$$VPN_{flot} + P(0, T_{mat}) = 1$$

con esto, se puede ver que un bono flotante fijado a fecha spot, y que paga el valor Nominal al término del plazo, siempre estará valuado a la par, se demuestra como sigue:

$$
\begin{aligned}
VPN_{flot} &= \sum_{j=1}^{n_{flot}} \delta_j L_j P(0,T_j) \\
&= \sum_{j=1}^{n_{flot}} \delta_j \frac{1}{\delta_j}\left(\frac{1}{P(T_{j-1},T_j)} - 1\right) P(0,T_j) \\
&= \sum_{j=1}^{n_{flot}} \left(\frac{P(0,T_j)}{P(T_{j-1},T_j)} - P(0,T_j)\right) \\
&= \sum_{j=1}^{n_{flot}} \left(P(0,T_{j-1}) - P(0,T_j)\right) \\
&= P(0,T_0) + \ldots + P(0,T_{n-1_{flot}}) - \big(P(0,T_1) + \ldots + P(0,T_{n_{flot}})\big) \\
&= 1 - P(0,T_{n_{flot}})
\end{aligned}
$$

El valor presente neto del swap será entonces la resta de la pata fija y la pata flotante:

$$VPN_{swap} = VPN_{fix} - VPN_{flot}$$

2.7.4. Tasa swap

Es necesario que el Valor Presente Neto del swap sea igual a cero, para que no sea *Arbitrable*. El concepto de arbitraje significa tener una ganancia sin asumir ningún tipo de riesgo. Entonces se puede decir que:

$$VPN_{fix} = VPN_{flot}$$

La tasa Swap es la tasa pactada que iguala todos los flujos descontados de la pata fija con la pata flotante, es decir:

$$
\begin{aligned}
S(T_{mat})L &= 1 - P(0,T_{mat}) \\
S(T_{mat}) &= \frac{1 - P(0,T_{mat})}{L}
\end{aligned}
$$

Capítulo 3

Construcción de la curva Cupón Cero mediante el método Bootstrapping

Para poder entender este capítulo, es necesario introducir un par de conceptos, la Estructura Temporal de las Tasas de Interés o Curva de Rendimientos y el método de Bootstrap, posteriormente a esto, se ejemplificará la construcción de una curva con datos recolectados en el mercado financiero de registros históricos aplicando los conceptos previamente mencionados.

3.1. Estructura Temporal de Tasas de Interés

Se define la Estructura Temporal de las Tasas de Interés como la relación que existe entre la tasa de interés y su plazo de vencimiento teniendo en cuenta que dichas tasas provienen de activos financieros con características y riesgos iguales, variando únicamente en su plazo. Éstos activos deberán ser cupón cero para que no exista el riesgo de reinversión y así evitar cualquier tipo de arbitraje.

En la actualidad, las principales curvas que se construyen en los mercados financieros son las siguientes:

- Curva Benchmark: Se construye utilizando los instrumentos "representativos" del mercado, de ahí su nombre "Benchmark" (o de referencia). Típicamente contiene títulos públicos, los cuales son representativos en cuanto a liquidez y monto emitido del mercado en cuestión.

- Curva Par: Representa los rendimientos que tendrían los activos si se negociaran a la par, es decir, que la tasa de rendimiento sea igual a la tasa cupón. Se le conoce también como curva Cupón.
- Curva Cupón Cero: Escenifica el conjunto de tasas de interés a diferentes plazos de una serie de inversiones donde no existirán riesgos (Arbitraje).

En los mercados "normales", las curvas de rendimiento tienden a ser crecientes, a tener pendiente positiva, con tasas mayores para el largo plazo (mayor a un año) en comparación al corto plazo (menor a un año). Si la pendiente es negativa, es decir, si es decreciente, entonces la curva se llamará *Curva Invertida*, lo cual denota cierta inestabilidad o falta de liquidez en ese mercado, si tiene ambas pendientes se llamará *Curva mixta*.

3.2. Construcción de la Curva Cupón Cero

Hasta este punto, para valuar Swaps se ha asumido que las tasas, tanto la forward como la cupón cero, son conocidas. Cuando se valúan activos financieros, y en especial los Swaps de Tasas de Interés o *IRS* por sus siglas en inglés (Interest Rate Swap), uno de los supuestos que se exige es que las tasas de interés para calcular el Valor Presente de los flujos del swap, sean libres de riesgo, ya que éstas mismas se utilizarán para la estimación de las tasas forward para la pata flotante. De la curva cupón cero se pueden desprender un par de curvas que igualmente son de nuestro interés, la Curva Forward y la Curva Swap.

Para poder llevar a cabo esto, se requiere utilizar instrumentos representativos o de referencia basados en su liquidez y volumen de operación. Éstos son tasas de depósito disponibles en el mercado tales como la LIBOR o EURIBOR y en nuestro país la TIIE, así como tasas Par swap. Éstas tasas se pueden considerar como "libres de riesgo", las primeras (depósito) debido a que son estandarizadas y tienen un *Spread* (Diferencia) mínimo en comparación a tasas gubernamentales como la FED de Estados Unidos, y las segundas (par swap), debido a su gran volumen de operación, la variedad de plazos y Tenors[1] que se intercambian, y que además de esto, los participantes de los swaps son empresas internacionales con altas calificaciones crediticias,

[1]En inglés, plazo que transcurre entre el inicio y termino de un contrato

minimizando así el riesgo de incumplimiento, y con un spread igualmente mínimo, como lo menciona Haubrich (2001).

Debido a que se están mezclando tasas cupón cero con tasas de rendimiento, se requiere un procedimiento para hacerlas equiparables, dicho proceso se conoce como *Bootstrapping*, el cual se amplia en la siguiente sección.

3.3. Método de Bootstrapping

Es el método estándar y más antiguo de los métodos que existen para construir una curva Cupón Cero o ZC (Zero Coupon por sus siglas en inglés). Suponga que se conocen los factores de descuento para todas las fechas de vencimiento estándar de los activos financieros previamente mencionados:

$$P(0,T_j), \qquad j=1,...,N$$

Donde $(0,T_j)$ representa el plazo entre la fecha spot y la fecha de vencimiento del instrumento. Es importante elegir las fechas adecuadas para que éstas sean las fechas cupón de los Swaps de referencia.

Por el principio de no Arbitraje (Tener una ganancia instantánea libre de riesgo), se presenta la siguiente ecuación:

$$P(0,T_j) = P(0,T_{j-1}) * P(T_{j-1},T_j)$$

Dicha ecuación indica que la inversión de una unidad monetaria en el plazo $(0,T_j)$ debe ser equivalente a un par de inversiones durante el plazo $(0,T_{j-1})$ y otra durante (T_{j-1},T_j). Bajo ésta premisa, se podrá calcular la tasa forward como sigue:

$$F(T_{j-1},T_j) = \frac{1}{\delta_j}\left(\frac{1}{P(T_{j-1},T_j)} - 1\right)$$

Donde:
$F(T_{j-1},T_j)$ es la tasa forward que aplica del periodo T_{j-1} a T_j.
$\delta_j = T_j - T_{j-1}$ el número de días del periodo T_{j-1} a T_j.
$P(T_{j-1},T_j)$ es el factor de descuento que aplica del periodo T_{j-1} a T_j.

Esto aún presenta inconvenientes debido a que se deben calcular tasas forward para fechas que no sean de referencia, por ejemplo, una tasa forward de 3 meses que comience en 4 meses. Para esto, se utiliza la interpolación. No existe un método único de interpolación que sea correcto, a continuación se presentan algunos de los más utilizados como menciona Lesniewski (2008):

- Interpolación lineal de los factores de descuento:

$$P(0,T) = \frac{T_j - T}{T_j - T_{j-1}} P(0,T_{j-1}) + \frac{T - T_{j-1}}{T_j - T_{j-1}} P(0,T_j)$$

  Para $T_{j-1} < T < T_j$

- Interpolación lineal de los logaritmos de los factores de descuento:

$$\log(P(0,T)) = \frac{T_j - T}{T_j - T_{j-1}} \log(P(0,T_{j-1})) + \frac{T - T_{j-1}}{T_j - T_{j-1}} \log(P(0,T_j))$$

- Tasa forward instantánea constante: Se asume que $f(t) = f_j = constante$, es decir:

$$P(T_{j-1},T_j) = \exp(-f_j(T_j - T_{j-1}))$$

  y por lo tanto

$$f_j = \frac{1}{T_j - T_{j-1}} \log(P(T_{j-1},T_j), \quad \forall j$$

  así se podrá integrar $\int_t^T \delta(s)ds$ en la definición del modelo de interés continuo siendo T y t arbitrarias.

- Tasa forward instantánea lineal: Éste es una mejora del modelo anterior. Aquí se asumirá que las tasas forward son lineales entre las fechas de maduración de los instrumentos benchmark, por lo cual, es necesario parear los valores de la tasa a las fechas de vencimientos benchmark.

- Tasa forward instantánea cuadrática: Aquí se asume que la tasa forward es cuadrática entre las fechas de maduración benchmark y son diferenciables. Este método es igualmente una mejora al modelo de tasa forward instantánea constante, y requiere corresponder las tasas y sus primeras derivadas.

Para determinar las tasas cupón cero (requeridas para las tasas forward), se procede en 3 pasos en la mayor parte de los casos:

1. Construir el corto plazo (de 1 día a 3 meses) utilizando tasas de depósito disponibles en mercado.

2. Construir el mediano plazo (de 3 meses hasta 5 años dependiendo las condiciones del mercado) utilizando contratos de futuros de tasa. La tasa implícita en dichos contratos se obtiene mediante la ecuación

$$i_f = 100 - P$$

   y se utilizará para el cálculo de tasas cupón cero de dicho plazo. Utilizando la tasa i_f y la tasa ZC existente correspondiente al plazo entre que inicia el contrato forward y la fecha spot. En caso de que no haya tasa ZC correspondiente a dicho plazo, ésta deberá ser interpolada.

3. Construir el largo plazo (de 5 años en adelante) utilizando tasas swap como tasas cupón par. Para un swap con fecha de maduración T_{mat}, se podrá calcular el factor de descuento $P(0, T_{mat})$ utilizando los factores de descuento previamente obtenidos mediante la siguiente ecuación:

$$P(0, T_{mat}) = \frac{1 - S(T_{mat}) \sum_{j=1}^{n-1} \alpha_j P(0, T_j)}{1 + \alpha_j S(T_{mat})}$$

Ésta ecuación se obtiene de la ecuación de la sección 2.7.3 como sigue:

$$
\begin{aligned}
VPN_{flot} &= VPN_{fix} \\
1 - P(0, T_{mat}) &= S(T_{mat})L \\
&= S(T_{max}) \left[\sum_{j=1}^{n} \alpha_j P(0, T_j) \right] \\
&= S(T_{mat}) \left[\sum_{j=1}^{n-1} \alpha_j P(0, T_j) \right. \\
&\left. + \alpha_n P(0, T_{mat}) \right] \\
P(0, T_{mat}) &= 1 - \left[S(T_{mat}) \left[\sum_{j=1}^{n-1} \alpha_j P(0, T_j) \right. \right. \\
&\left. \left. + \alpha_n P(0, T_{mat}) \right] \right] \\
&= 1 - \left[S(T_{mat}) \sum_{j=1}^{n-1} \alpha_j P(0, T_j) \right. \\
&\left. + S(T_{mat}) \alpha_n P(0, T_{mat}) \right] \\
&= 1 - S(T_{mat}) \sum_{j=1}^{n-1} \alpha_j P(0, T_j) \\
&- S(T_{mat}) \alpha_n P(0, T_{mat}) \\
P(0, T_{mat}) + S(T_{mat}) \alpha_n P(0, T_{mat}) &= 1 - S(T_{mat}) \sum_{j=1}^{n-1} \alpha_j P(0, T_j) \\
P(0, T_{mat}) \left[1 + S(T_{mat}) \alpha_j \right] &= 1 - S(T_{mat}) \sum_{j=1}^{n-1} \alpha_j P(0, T_j) \\
P(0, T_{mat}) &= \frac{1 - S(T_{mat}) \sum_{j=1}^{n-1} \alpha_j P(0, T_j)}{1 + S(T_{mat}) \alpha_j}
\end{aligned}
$$

Para la construcción completa de la curva, día a día, se pueden utilizar distintos métodos, tales como interpolación y diferentes clases de Splines. Para una mayor amplitud en el tema de Splines, consultar Hagan-West (2006 y 2007).

Capítulo 4

Casos prácticos de construcción de una curva cupón cero

En esta tesis se presentarán 2 ejemplos, una curva cupón cero utilizando la tasa LIBOR de 3 meses, y una curva cupón cero empleando la tasa TIIE de 28 días, para las cuales se utilizarán datos de mercado previamente recabados de una terminal de la empresa Bloomberg, la cual es una empresa estadounidense que ofrece una red privada que combina datos, análisis e información financiera de todo el mundo en tiempo real, haciendo más fácil la consulta de estos datos mediante dichas terminales, con el fin de verificar cotizaciones y datos del mercado mundial.

Los datos consultados, al igual que las fechas planteadas en esta tesis, servirán para ejemplificar el proceso de construcción de la curva ZC.

4.1. Construcción de la Curva ZC LIBOR 3M

Cabe señalar que esta curva fue construida para un plazo de 5 años, del día 19 de junio de 2014 al 26 de junio de 2019, pero se puede ampliar hasta 50 años aplicando la misma metodología, claro está, ya que es el último insumo con el que contamos. Para evitar una mala construcción de la curva, se debe tener en cuenta que no se pueden utilizar instrumentos de varios tenor, es decir, si vamos a construir la curva LIBOR de 6 meses, se deben utilizar Futuros y swaps cuyos flujos sean cada 6 meses y no cada 3 o 9 meses, ya que esto causará una mala construcción y posterior valuación.

4.1.1. Construcción de la Curva a Corto Plazo

Las primeras tasas de interés a consultar serán la tasa FED y la tasa LIBOR 3M, las cuales deberán ser consultadas en la terminal de Bloomberg y que a partir de ahora llamaremos "nodos", ayudarán a la construcción de la curva ZC a corto plazo. La forma ortodoxa de construcción es mediante la interpolación lineal de los nodos de instrumentos del mercado de 1 día y 3 meses. Si bien existen otros métodos para la estimación de tasas intermedias, el método de Bootstrapping es fácil de entender y se adapta a los mercados reales, es por eso que es el método más utilizado por diferentes valuadoras y es el objeto de análisis de estudio de esta tesis.

En la practica, se suele construir con la mayor cantidad de datos de mercado disponible, tales como tasa LIBOR de 1 semana, 1 mes, 2 meses, esto con el fin de minimizar el error y hacer valuaciones más precisas.

Se comenzará con la tasa de depósito de 1 día (Véase Sección 2.3) o también conocida como tasa overnight. La fecha *pricing* o fecha de valuación de la curva será el día que se estará construyendo, en este caso es el 19 de junio de 2014. La fecha *spot*, será entonces el 23 de junio de 2014 o $T + 2$ días hábiles(Véase Sección 2.5.2). El valor a tomar que se utilizará es el del día de la fecha de valuación, 19 de junio de 2014. (Véase Apéndice A, Figura A.1). Cabe recalcar que todas las tasas de la terminal están expresadas en porcentaje y son anuales, el formato de la fecha es mm/dd/yyyy y la convención de conteo de días es ACT/360.

Posteriormente se consultará la información de la tasa LIBOR en los plazos anteriormente mencionados, tales como 1 semana o 1 Week (Véase Apéndice A, Figura A.2), 1Month o 1M (Véase Apéndice A, Figura A.3), 2M (Véase Apéndice A, Figura A.4) y 3M (Véase Apéndice A, Figura A.5):

Para un manejo correcto de los datos se creará un cuadro en el cual indiquemos el plazo y la tasa de interés correspondiente, tal como se muestra en el cuadro 4.1, los días por vencer spot se calcularán como la diferencia entre la fecha de término y la fecha pricing, es decir:

$$DPV_{spot} = F_{fin} - F_{spot}$$

Donde:
DPV_{spot} =Días por Vencer a fecha spot
F_{fin} =Fecha de final del contrato
F_{spot} =Fecha spot

Para todos los nodos, exceptuando el primero, el cual utiliza la fecha pricing.

Fecha Pricing	19/06/14	Fecha Spot	23/06/14
Nodo	Fecha fin	DPV spot	Tasa Mercado
1d	20/06/14	1	0.10000
1w	30/06/14	7	0.12300
1m	23/07/14	30	0.15325
2m	25/08/14	63	0.19200
3m	23/09/14	92	0.22960

Cuadro 4.1: Relación Plazo-Tasa extraído de Bloomberg

4.1.2. Construcción de la Curva a Mediano Plazo

El mediano plazo esta constituido por Futuros de tasa de interés (Véase Sección 2.6), que van después de los 3 meses hasta antes de los 2 años, estos son seleccionados por las valuadoras conforme a algunos criterios tales como Índice de liquidez, volumen de operación, volatilidad, como lo menciona Torres (2007), aunque la mayoría de veces son elegidos por el volumen de operación y los plazos de vencimiento que dependerán de la fecha de construcción de la curva. Para este trabajo, se utilizarán Futuros del Mercado disponibles en Bloomberg (Véase Apéndice A, Figura A.6), cuya serie de contratos van de julio de 2014 hasta marzo de 2016, abarcando el plazo de 115 días hasta 724.

Una vez elegidos los Futuros, se capturarán los precios, la fecha de inicio y la fecha de término del Futuro, se calculará la tasa forward implícita de cada Futuro como:

$$f_{implicita} = 100 - P$$

Donde:

$f_{implicita}$ =Tasa forward implícita

P =Precio del Futuro

Se creará un nuevo cuadro para llevar una correcta relación del plazo y la tasa forward implícita, como se muestra en el cuadro 4.2:

Futuro	Fecha inicio	Fecha fin	DPV spot	Precio	Tasa Forward
jul-14	16/07/14	16/10/14	115	99.7675	0.2325
sep-14	17/09/14	17/12/14	177	99.7600	0.2400
dic-14	17/12/14	17/03/15	267	99.7150	0.2850
mar-15	18/03/15	18/06/15	360	99.6200	0.3800
jun-15	17/06/15	17/09/15	451	99.4400	0.5600
sep-15	16/09/15	16/12/15	541	99.2150	0.7850
dic-15	16/12/15	16/03/16	632	98.9700	1.0300
mar-16	16/03/16	16/06/16	724	98.7050	1.2950

Cuadro 4.2: Relación de Futuros extraídos de Bloomberg

Una vez que se ha capturado la información de corto y mediano plazo de mercado, se comenzará con la obtención de las tasas ZC para mediano plazo utilizando las tasas forward implícitas en los contratos anteriormente capturados, para esto, se comenzará con el calculo de días del corto plazo, el cual es la diferencia entre la fecha de inicio del Futuro y la fecha spot, expresado como:

$$P_{corto} = F_{inicio} - F_{spot}$$

Donde:
P_{corto} =Número de días del corto plazo
F_{inicio} =Fecha de inicio del Futuro
F_{spot} =Fecha spot
Se continuará el cómputo del plazo del contrato, éste es la diferencia entre la fecha de término del Futuro y la fecha de inicio del mismo, referido como:

$$P_{futuro} = F_{fin} - F_{inicio}$$

Donde:
P_{futuro} =Plazo del Futuro
F_{fin} =Fecha final del Futuro
F_{inicio} =Fecha de inicio del Futuro
Una vez obtenidos los plazos, y con la información de las pantallas de mercado previamente capturadas, se aplicará la fórmula de la tasa forward (Véase Sección 2.2) utilizando las tasas y días del corto plazo como las variables del periodo $n-1$ y las tasas y días del Futuro como las variables del período $(n-1, n)$. Se deberá despejar la tasa del período n ya que es la incógnita, y se deberá anualizar la tasa, ya que es efectiva por periodo, y la ecuación a utilizar será:

$$i_n = \left[(1 + \frac{i_{n-1} * t_{n-1}}{360})(1 + \frac{f_{n-1,n} * (t_n - t_{n-1})}{360}) - 1\right]\left[\frac{360}{t_n}\right]$$

Donde:
i_n =tasa de interés del n-ésimo período
t_n =plazo en días del n-ésimo período
i_{n-1} =tasa de interés del $n-1$ -ésimo período
t_{n-1} =plazo en días del $n-1$ -ésimo período
$f_{n-1,n}$ =tasa forward implícita en el período $(n-1, n)$
Para el cálculo del largo plazo, se hará la diferencia entre la fecha de término del futuro y la fecha spot, dado como:

$$P_{largo} = F_{fin} - F_{spot}$$

Donde:
P_{largo} =Número de días del largo plazo
F_{fin} =Fecha de término del Futuro
F_{spot} =Fecha spot
En el caso que en el corto plazo no se cuente con información suficiente y en específico, la tasa de interés, esta se deberá interpolar linealmente entre los plazos más próximos al nodo faltante, es decir, si no contamos con la tasa de 23 días, ésta se interpolará con las inmediatas anterior y posterior, utilizando los datos del ejemplo de la tesis, sería entre las tasas de los días 7 y 30 respectivamente.

Si en el mediano plazo no contamos con un futuro que comience en un plazo determinado para el corto plazo se crea un Futuro sintético, el cual se deberá construir con base en los días requeridos y se interpolará linealmente el precio, por ejemplo, el nodo de 268 días, se crea un Futuro sintético cuyo precio es interpolado con el futuro existente de 267 y 360 días, ajustando las fechas, este inicia a los 178 días y tiene una duración de 90 días, para así obtener la tasa ZC de dicho nodo.

Existirá otro caso para el cual, si se cuenta con información suficiente, una tasa de corto plazo se puede interpolar linealmente entre dos tasas ZC previamente calculadas, como es el caso de la tasa ZC para 178 días, la cual se obtuvo interpolando las tasas ZC de los nodos de 177 y 267 días respectivamente.

Todo esto se presenta en el cuadro 4.3, las celdas coloreadas son las que están interpoladas linealmente.

Futuro	Fecha inicio	Fecha fin	Precio	Días Futuro	Tasa Forward	Días Corto Plazo	Tasa Corto Plazo	Días Largo Plazo	Tasa Largo Plazo
jul-14	16/07/14	16/10/14	99.76750	92	0.23250	23	0.14404	115	0.21483
sep-14	17/09/14	17/12/14	99.76000	91	0.24000	86	0.22182	177	0.23123
								178	0.23144
dic-14	17/12/14	17/03/15	99.71500	90	0.28500	177	0.23123	267	0.24947
	18/12/14	18/03/15	99.71398	90	0.28602	178	0.23144	268	0.24988
								359	0.28295
mar-15	18/03/15	18/06/15	99.62000	92	0.38000	268	0.24988	360	0.28331
								450	0.33917
jun-15	17/06/15	17/09/15	99.44000	92	0.56000	359	0.28295	451	0.33979
sep-15	16/09/15	16/12/15	99.21500	91	0.78500	450	0.33917	541	0.41472
dic-15	16/12/15	16/03/16	98.97000	91	1.03000	541	0.41472	632	0.50423
mar-16	16/03/16	16/06/16	98.70500	92	1.29500	632	0.50423	724	0.60618

Cuadro 4.3: Relación Plazos-Tasas para Mediano Plazo

Una vez terminado el cálculo, se podrá hacer una tabla que reúna toda la información hasta el momento capturada, tanto para corto como para mediano plazo, que relacione el número de días y la tasa ZC, como se muestra en el cuadro 4.4:

Plazo	Tasa ZC	Factor Descuento
1	0.10000	0.99999722
7	0.12300	0.99997608
23	0.14404	0.99990798
30	0.15325	0.99987231
63	0.19200	0.99966411
86	0.22182	0.99947038
92	0.22960	0.99941359
115	0.21483	0.99931422
177	0.23123	0.99886440
178	0.23144	0.99885699
267	0.24947	0.99815321
268	0.24988	0.99814326
359	0.28295	0.99718633
360	0.28331	0.99717490
450	0.33917	0.99577833
451	0.33979	0.99576128
541	0.41472	0.99380632
632	0.50423	0.99122555
724	0.60618	0.98795596

Cuadro 4.4: Relación de las tasas ZC hasta el mediano plazo

Esta será la tabla que utilizaremos para descontar los flujos de los swaps y obtener la tasa forward entre los periodos de cupones de la sección siguiente.

4.1.3. Construcción de la curva a Largo Plazo

Para el largo plazo se utilizarán swaps (Véase Sección 2.7) de la empresa International Capital (ICAP por sus siglas en inglés), la cual es una compañía inglesa de brokers que comercia servicios de riesgo, maneja gran parte de las transacciones financieras a nivel mundial, como préstamos por parte de bancos o de algún gobierno o a facilitar el intercambio de nocionales entre sistemas financieros distintos. En primer lugar se visualizará la pantalla principal de los swaps que cotizan en mercado en sus diferentes plazos (Véase Apéndice A, Figura A.7), hecho esto se realizará el cálculo de las tasas swap mid, que es el promedio entre las tasas bid y ask que se aprecian en la pantalla antes mencionada, para esto es necesario saber que convención se usará para contabilizar los días (Véase Sección 2.5.1), para este ejemplo, se utilizó la más común, es decir, la convención del día hábil siguiente modificado.

En este ejemplo se utilizarán Swaps de tasas de interés (Interest Rate Swaps o IRS por sus siglas en inglés) que intercambian Tasa Fija USD 1Y contra tasa Flotante LIBOR USD 3M a varios plazos. Primeramente se utilizará el IRS 2Y o 2 años y se seguirá con el plazo de 3Y y así sucesivamente. Se podrán observar las tasas swap mid en el cuadro 4.5. Los cálculos se realizarán con ayuda del software **Microsoft Excel**.

Plazo Swap	Ask	Bid	Mid
2y	0.615	0.585	0.6
3y	1.048	1.018	1.033
4y	1.446	1.416	1.431
5y	1.768	1.738	1.753
10y	2.691	2.661	2.676
15y	3.093	3.063	3.078
20y	3.27	3.24	3.255
30y	3.387	3.357	3.372

Cuadro 4.5: Tasas Swap Mid

Las fechas de inicio y fin de los cupones, son computadas con ayuda de dicho software , a través de la función FECHA.MES, la cual añade el número de meses deseado a una fecha inicial. Es importante recalcar, que hay que verificar que las fechas sean días hábiles y no sean días festivos, con lo cual habrá algunos plazos que sean uno o dos días diferentes a los demás.

Aplicando la fórmula presentada en la parte final de la sección 3.3, se obtendrá el factor de descuento para dos años, o 731 días, ya que 2014 es año bisiesto, quedando como sigue:

$$\begin{aligned} P(0,T_{731}) &= \frac{1-[S(T_{731})*(\alpha_1 * P(0,T_{365})]}{1+[\alpha_2 * S(T_{731})]} \\ &= \frac{1-\left[0{,}6*((\frac{365}{360})*0{,}9970973094)\right]}{1+\left[(\frac{366}{360})*0{,}6\right]} \\ P(0,T_{731}) &= 0{,}9879080854 \end{aligned}$$

El método de Bootstrapping es un método recursivo, ya que utiliza la información anterior para el cálculo de la siguiente tasa ZC. Para este ejemplo, se continuará con la valuación del swap Fija 3Y contra Flotante LIBOR 3M, en el cuál se agregarán un cupón más, realizando el mismo procedimiento antes descrito, resultará:

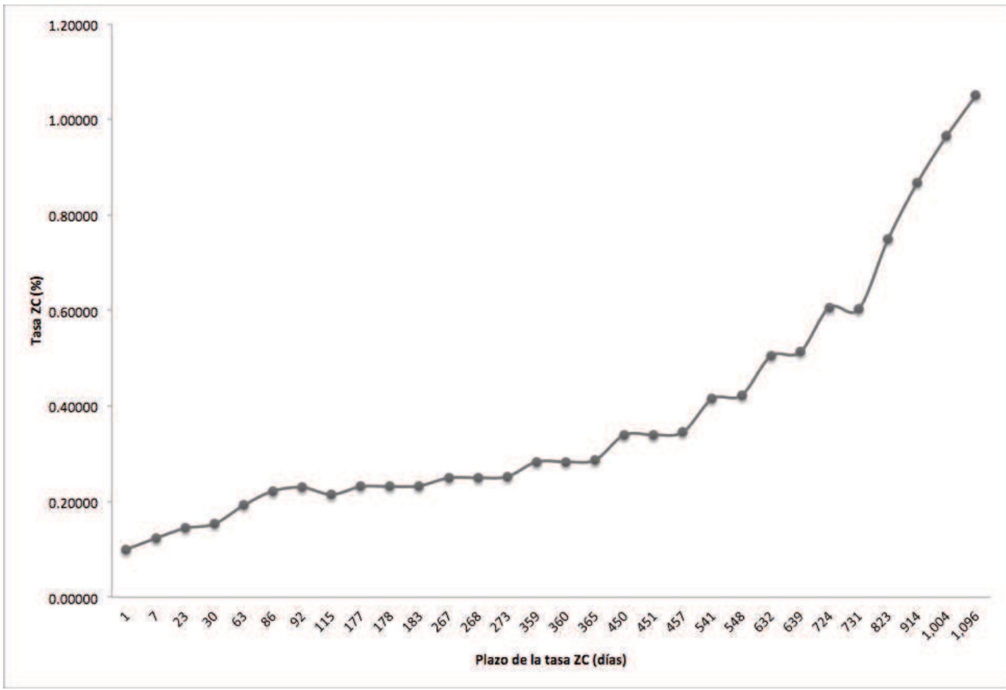
$$\begin{aligned} P(0,T_{1096}) &= \frac{1-[S(T_{1096})*[(\alpha_1 * P(0,T_{365}))+(\alpha_2 * P(0,T_{731}))]]}{1+[\alpha_3 * S(T_{1096})]} \\ &= \frac{1-\left[1{,}033*\left[((\frac{365}{360})*0{,}9970973094)+((\frac{366}{360})*0{,}9879080854)\right]\right]}{1+\left[(\frac{365}{360})*1{,}033\right]} \\ P(0,T_{1096}) &= 0{,}9690326175 \end{aligned}$$

Tal y como se mencionó anteriormente, el método es recursivo, y para este ejemplo se continúa hasta 5 años que es el plazo al que se construyó la curva, y la tabla de tasas ZC se observa en el cuadro 4.6:

Plazo	Tasa ZC	Factor Descuento
1	0.10000	0.9999972222
7	0.12300	0.9999760839
23	0.14404	0.9999079807
30	0.15325	0.9998723080
63	0.19200	0.9996641129
86	0.22182	0.9994703757
92	0.22960	0.9994135885
115	0.21483	0.9993142215
177	0.23123	0.9988643979
178	0.23144	0.9988569900
183	0.23291	0.9988174520
267	0.24947	0.9981532138
268	0.24988	0.9981432639
273	0.25226	0.9980906849
359	0.28295	0.9971863254
360	0.28331	0.9971748963
365	0.28713	0.9970973094
450	0.33917	0.9957783313
451	0.33979	0.9957612804
457	0.34568	0.9956309494
541	0.41472	0.9938063159
548	0.42263	0.9936077954
632	0.50423	0.9912255500
639	0.51298	0.9909767772
724	0.60618	0.9879559647
731	0.60279	0.9879080854
823	0.74848	0.9831767431
914	0.86700	0.9784620099
1,004	0.96475	0.9737990870
1,096	1.04968	0.9690326175

Cuadro 4.6: Relación de las tasas ZC hasta 5 años (1,826 días)

Se graficará la curva para este ejemplo, la cual está en el cuadro 4.7, donde se podrá apreciar que hay descensos en la curva debido al cambio de instrumento, es decir, de tasa de depósito a tasa de un futuro y de tasa de un futuro a tasa swap.



Cuadro 4.7: Gráfica Curva Cupón Cero construida por Bootstrapping

Actualmente en el mercado, existen swaps que intercambian tasas hasta por 50 años, y a partir de los 15 años, el plazo de los swaps es cada 5 años, por ejemplo, 15Y, 20Y, etc... Cada nuevo swap contará con el número de flujos anuales del plazo en la pata fija, y el número de flujos anuales del plazo multiplicado por 4 ya que es una tasa LIBOR a 3 Meses.

4.2. Construcción de la curva cupón cero aplicado a TIIE 28 días

En el capítulo 3 se dió a conocer la metodología general para el cálculo de todas las variables involucradas en el proceso de construcción de la curva de tasas cupón cero. Con base en esos fundamentos, la construcción de la curva cupón cero para el caso de México, el cual sólo contará con dos subtemas, el Corto Plazo y el Largo Plazo. Debido a que el mercado de futuros en México es muy pequeño aún, las tasas forwards de los contratos no son representativas para realizar cálculos de los flujos futuros por las distintas razones presentadas, sobre todo la liquidez, es por eso que sólo serán utilizadas las tasas de Banxico y contratos swaps a diferentes plazos.

4.2.1. Construcción de la curva a corto plazo

En la sección 2.3 de esta tesis, se hizo referencia a la primer tasa que se utilizará, la cuál es la Tasa de Fondeo Bancario, con el plazo correspondiente de 1 día. En la sección siguiente, la 2.4, se habla del segundo nodo, la Tasa de Interés Interbancaria de Equilibrio, correspondiente al plazo de 4 semanas o 28 días, ambas serán extraídas de la página de Internet de Banxico, en la sección de Mercado de Valores (http://www.banxico.org.mx/portal-mercado-valores/index.html) como se muestra en el cuadro 4.8. Para este ejemplo se utilizará la información del día 17 de septiembre de 2013, día de valuación de la curva.

Cuadro 4.8: Mercado de Valores de Banxico

4.2.2. Construcción de la curva a largo plazo

Con ayuda nuevamente de la terminal de Bloomberg, se consultará información de un swap fija contra flotante TIIE 28 días, con fecha de 17 de septiembre de 2013, presentada en el Apéndice A, figura A.8. Cabe resaltar que la nomenclatura de estos contratos es como sigue:

3x1: Representa tres intercambios de flujos por cada pata en un contrato, es decir, habrá tres flujos en la pata Fija y tres en la pata Flotante cada 28 días, ya que la referencia de la tasa flotante es la TIIE a cuatro semanas.

Para el país, el mercado opera plazos hasta 390x1, 10,920 su equivalente en días o 30 representado en años. Una vez dicho esto, se procederá a la captura de las tasas bid y ask de los swaps que hay en el mercado, para poder estimar las tasas mid de éstos. Se presentan en el cuadro 4.9. Posteriormente se comenzará con la obtención de los factores de descuento y las tasas cupón cero para obtener la curva ZC.

Plazo del Swap	Bid	Ask	Mid
3x1	3.96000	4.02000	3.99000
6x1	3.90000	3.95000	3.92500
9x1	3.89500	3.96500	3.93000
13x1	3.90000	3.97000	3.93500
26x1	4.17000	4.23000	4.20000
39x1	4.57000	4.61000	4.59000
52x1	5.02000	5.06000	5.04000
65x1	5.46000	5.50000	5.48000
91x1	6.13000	6.19000	6.16000
130x1	6.70000	6.77000	6.73500
195x1	7.35000	7.42000	7.38500
260x1	7.83000	7.93000	7.88000
390x1	7.98000	8.08000	8.03000

Cuadro 4.9: Tasa Swap de los contratos en México

La valuación comenzará con el contrato 3x1, utilizando el nodo conocido de 28 días, se interpolará linealmente el nodo de 56 días y se aplicará la fórmula presentada al final de la sección 3.3 para el nodo de 84 días, quedando como sigue:

$$\begin{aligned} P(0,T_{84}) &= \frac{1-(3{,}99*\left[((\frac{28}{360})*0{,}9968676204)+((\frac{28}{360})*0{,}9937837679)\right])}{1+\left[(\frac{28}{360})*3{,}99\right]} \\ P(0,T_{84}) &= 0{,}9907477248 \end{aligned}$$

Posteriormente se continuará con la valuación del próximo swap de mercado correspondiente a 168 días o 6x1, se utilizarán los factores de descuento obtenidos del contrato 3x1 y se interpolarán linealmente los nodos de 112 y 140 días respectivamente, para hallar el último nodo correspondiente al plazo de 168 días.

Dicho anteriormente, el proceso es recursivo, para el contrato 9x1 se agregarán 3 nodos más, igualmente se interpolarán los 2 anteriores al último y el último será conocido con ayuda de la fórmula. Habrá que tomar en cuenta que debido a los días festivos o fines de semana, algunos plazos variarán por uno o dos días, quedando en 29 o 27 según corresponda. A partir del contrato 13x1 o un año, los contratos empiezan a perder periodicidad en los cupones, haciendo los plazos anuales, 26x1 dos años, 39x1 tres años, etc, hasta llegar al 390x1 o 30 años.

Una vez terminada la valuación, los nodos generados se resumen en el cuadro , ahí se puede apreciar un decremento de la tasa cupón cero debido a que los contratos 6x1 y 9x1 tienen una mayor operación en el mercado, y las tasas swap presentadas son más bajas que para los contratos 3x1 y 13x1, mostrado en el cuadro 4.10, y el cambio de tasa de referencia entre el plazo de 28 días (tasa de depósito) y el plazo de 84 días (tasa swap).

Días Spot	Tasa Cupón Cero
1	3.76000
28	4.04000
84	4.00229
168	3.95468
252	3.97803
364	4.00789
729	4.38431
1092	4.94437
1456	5.64996
1820	6.43864
2548	8.02990
3640	10.30923
5460	15.56990
7280	25.41852
10920	48.13772

Cuadro 4.10: Relación de tasas cupón cero hasta 30 años (10,920 días)

Finalmente, la curva cupón cero generada para este ejemplo, se muestra en la figura 4.1.

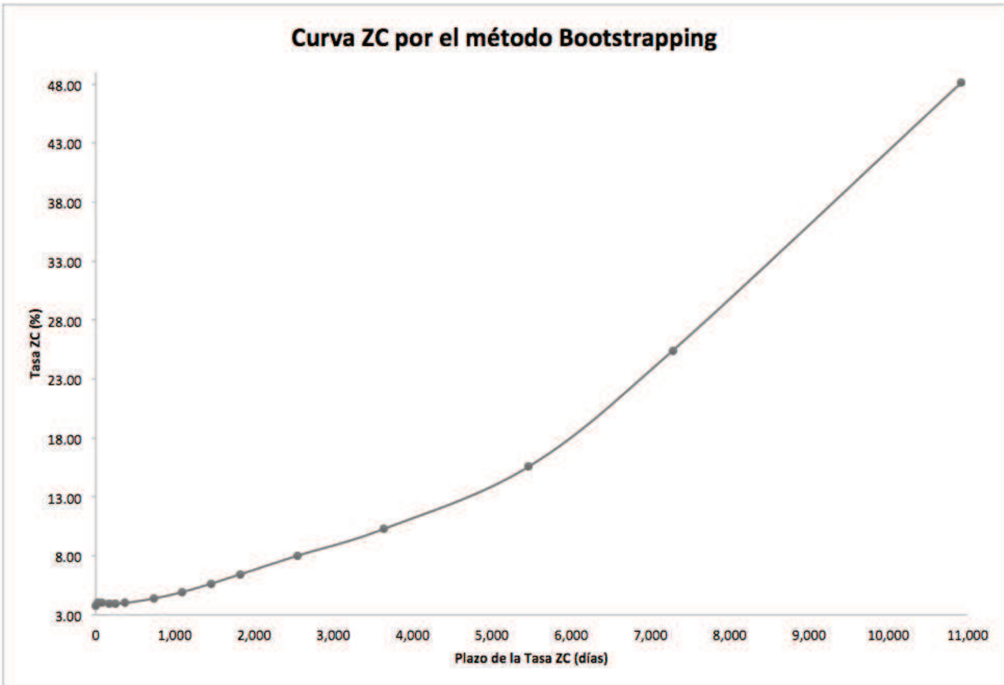


Figura 4.1: Gráfica de la Curva ZC a 30 años construida por Bootstrapping

Conclusiones

Una vez presentado el tema, se debe saber que el método Bootstrapping es el método más utilizado por las valuadoras a nivel mundial debido a la simplicidad y aunque presenta algo de inestabilidad en la suavidad de la curva resultante, el ajuste a los datos reales de mercado es bastante bueno debido a que los datos obtenidos son los activos en los mercados financieros a comparación de los modelos paramétricos, los cuales son estimados y presentan variaciones con respecto a los datos reales. Existen mejoras a este modelo desarrolladas de acuerdo a ciertos criterios que los valuadores creen convenientes, entre ellas está la suavidad o curvatura de la curva de las tasas forward, la cual presenta grandes variaciones en el largo plazo, pudiendo tener resultados inexactos, también el método de interpolación de las tasas interplazos, los contratos y tasas a considerar para la construcción de la curva. Dentro de las potenciales ventajas que presenta este método podemos citar las siguientes:

- Puede ser utilizado para resolver estimaciones difíciles o poco claras de solucionarse de manera analítica.
- Tiene ventaja sobre otros modelos ya que no requiere formulaciones teóricas.
- La curva cupón cero está libre de arbitraje para el conjunto de instrumentos utilizados para su cálculo.
- Su implementación es fácil y se basa en comportamientos pasados del mercado actual, sin necesidad de parámetros y supuestos.
- Existe un cambio natural de corto a largo plazo en las tasas encontradas, y no hay gran problema en su calibración.

Algunas de sus desventajas más notorias son:

- Se depende plenamente de los instrumentos que existen en el mercado, por lo que, para plazos que no operen instrumentos líquidos se presentan problemas de estimación contra la realidad.

- Tasas forwards estimadas resultan anormales o irregulares cuyo comportamiento podría causar cálculos erróneos.

- La elección del modelo de interpolación interplazo resulta crucial, para no tener estimaciones que deriven en resultados incorrectos.

Una posible mejora a esto, como lo presentan Hagan y West, sería una nueva metodología para la estimación de las tasas forwards y asi minimizar las variaciones, como es el método de los splines cúbicos conservando monotonía, el cuál toma en cuenta la región local y no la global. Algo a destacar sería la cuantificación de los posibles errores en la estimación, que si bien es subjetivo, se podrá hacer de manera empírica comparando las diferentes curvas de los mercados mundiales.

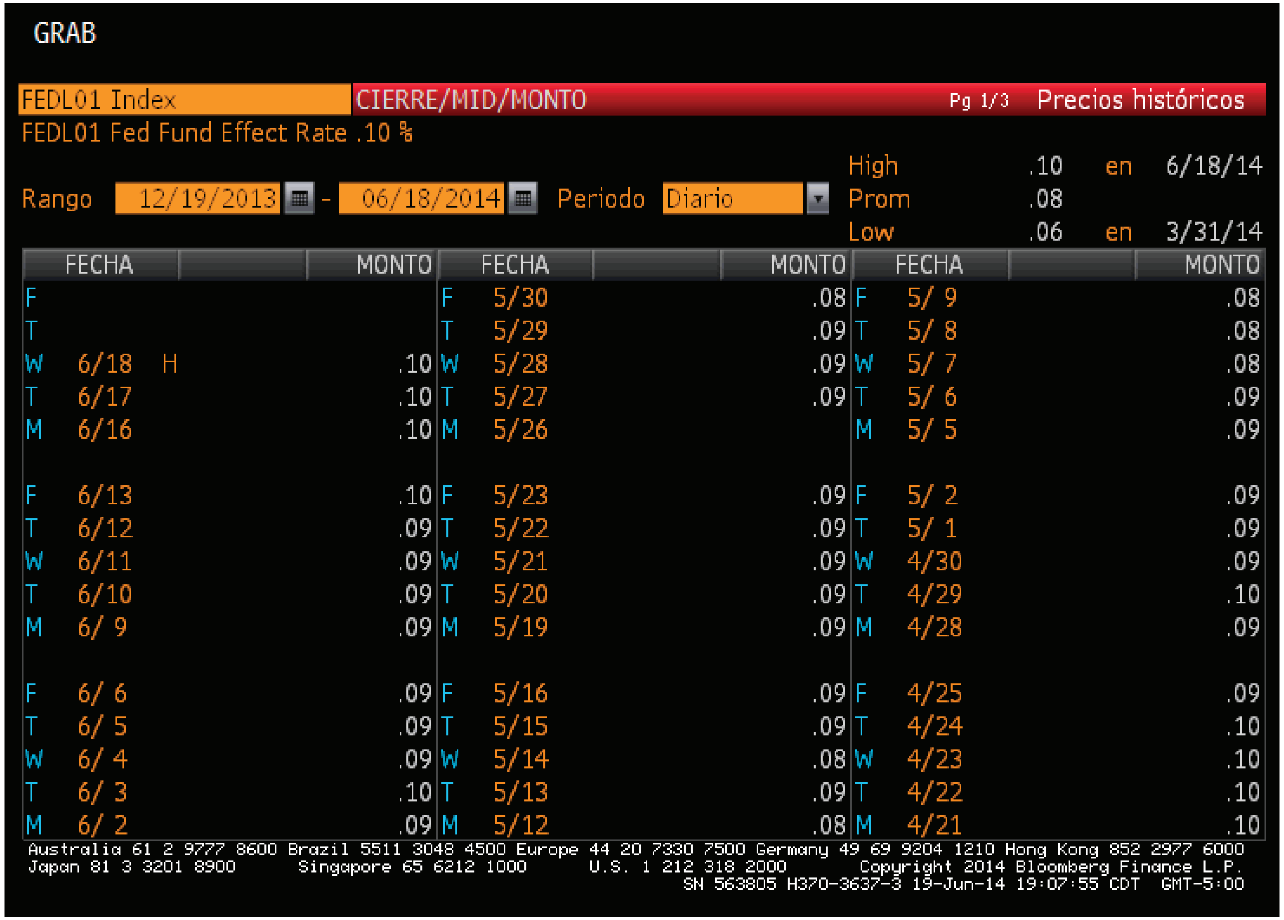
Algunos modelos para el cálculo de la curva cupón cero aparte del Bootstrapping son el Modelo de Nelson-Siegel, el cual es un modelo paramétrico, la curva resultante es bastante buena aunque no se ajusta perfectamente a los datos reales de mercado ya que es puramente estimación de los parámetros que lo componen y es un tanto complicado de aplicar ya que requiere un conocimiento más profundo de temas como ecuaciones diferenciales, el Modelo de Splines cúbicos, el cual arroja una curva que garantiza que los nodos son parte de la curva pero presenta una convexidad muy alta y es muy sensible al número de nodos de entrada con el que se dispone, esto es, que el mercado cuenta con una amplia gama de instrumentos a diferentes plazos.

Presentadas algunas de las ventajas y desventajas de los modelos que se utilizan en la actualidad, la metodología presentada en esta tesis resulta óptima para estudiar, ya que para entenderla, se requiere el conocimiento de los conceptos que se presentan durante los primeros semestres de la carrera y no son muy rebuscados.

Como conclusión final, este trabajo busca explicar de la manera más sencilla la construcción de la curva cupón cero para la valuación correcta de instrumentos del mercado, así como para una mejor selección del método de estimación interplazo para la construcción día a día de la curva, ya que construir curvas resulta un arte.

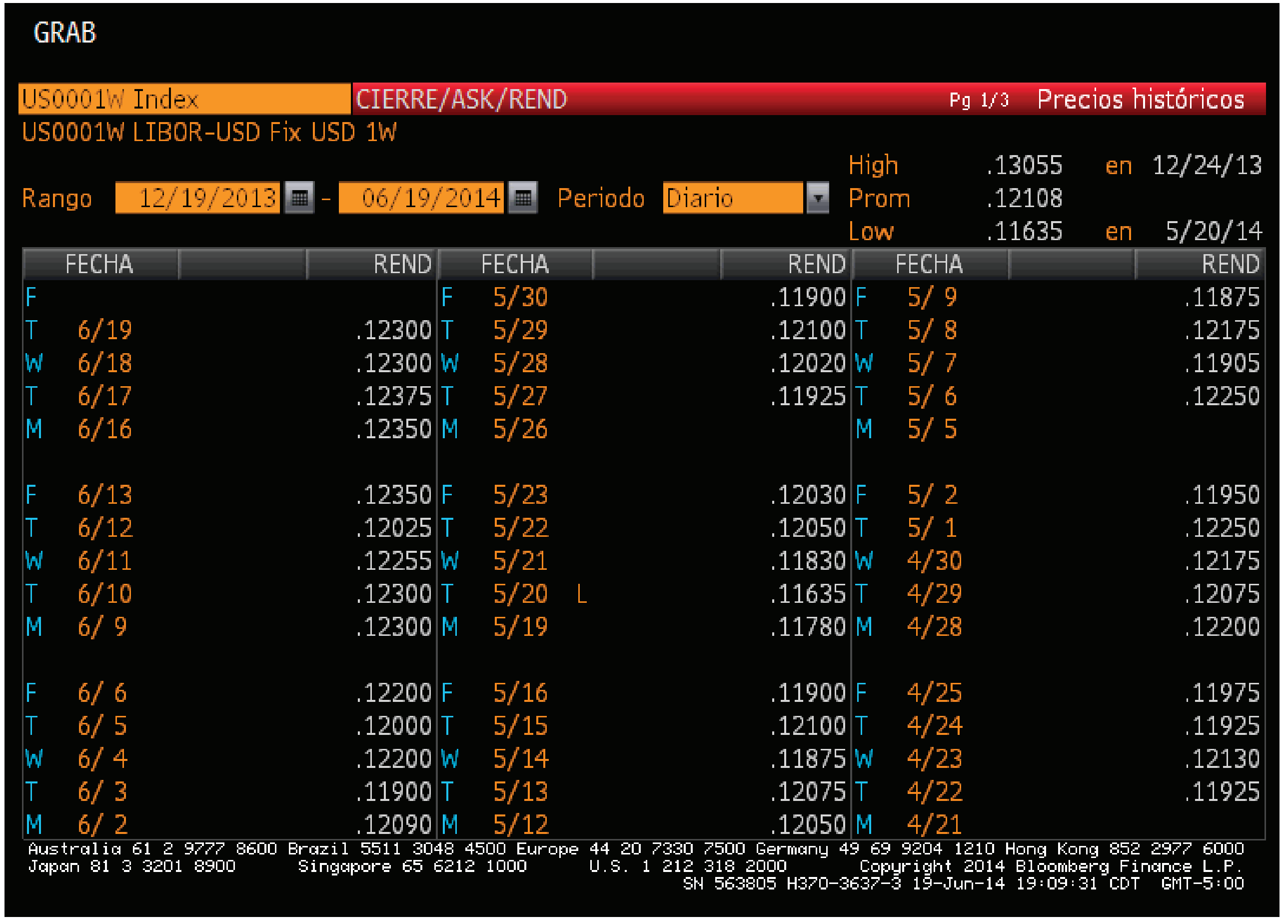
Apéndice A

Pantallas de la terminal de Bloomberg



	FECHA	MONTO		FECHA	MONTO		FECHA	MONTO
F			F	5/30	.08	F	5/ 9	.08
T			T	5/29	.09	T	5/ 8	.08
W	6/18 H	.10	W	5/28	.09	W	5/ 7	.08
T	6/17	.10	T	5/27	.09	T	5/ 6	.09
M	6/16	.10	M	5/26		M	5/ 5	.09
F	6/13	.10	F	5/23	.09	F	5/ 2	.09
T	6/12	.09	T	5/22	.09	T	5/ 1	.09
W	6/11	.09	W	5/21	.09	W	4/30	.09
T	6/10	.09	T	5/20	.09	T	4/29	.10
M	6/ 9	.09	M	5/19	.09	M	4/28	.09
F	6/ 6	.09	F	5/16	.09	F	4/25	.09
T	6/ 5	.09	T	5/15	.09	T	4/24	.10
W	6/ 4	.09	W	5/14	.08	W	4/23	.10
T	6/ 3	.10	T	5/13	.09	T	4/22	.10
M	6/ 2	.09	M	5/12	.08	M	4/21	.10

Figura A.1: Pantalla de los valores históricos de la tasa FED



GRAB

US0001W Index | CIERRE/ASK/REND | Pg 1/3 Precios históricos

US0001W LIBOR-USD Fix USD 1W

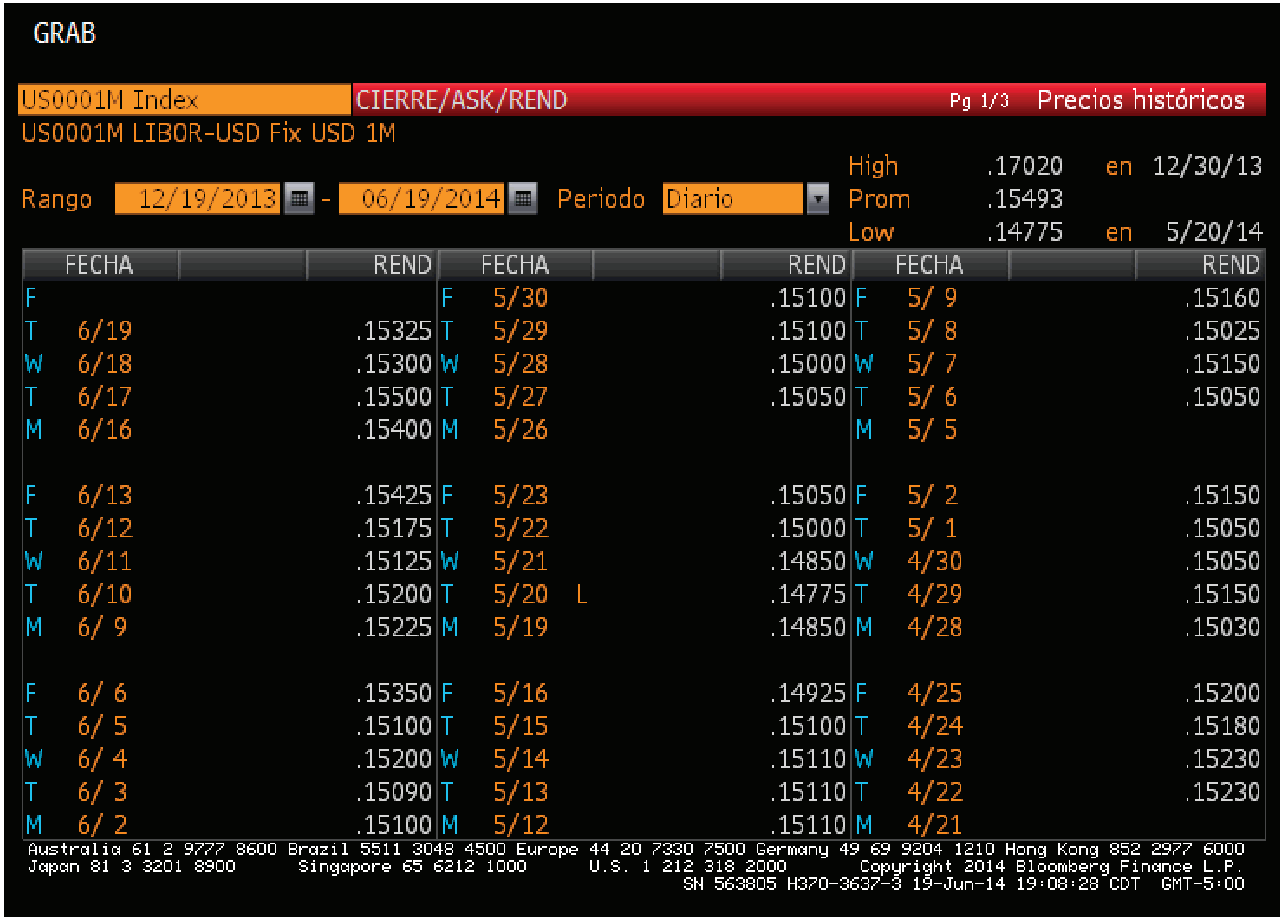
Rango 12/19/2013 - 06/19/2014 Periodo Diario

High	.13055	en	12/24/13
Prom	.12108		
Low	.11635	en	5/20/14

	FECHA	REND		FECHA	REND		FECHA	REND
F			F	5/30	.11900	F	5/ 9	.11875
T	6/19	.12300	T	5/29	.12100	T	5/ 8	.12175
W	6/18	.12300	W	5/28	.12020	W	5/ 7	.11905
T	6/17	.12375	T	5/27	.11925	T	5/ 6	.12250
M	6/16	.12350	M	5/26		M	5/ 5	
F	6/13	.12350	F	5/23	.12030	F	5/ 2	.11950
T	6/12	.12025	T	5/22	.12050	T	5/ 1	.12250
W	6/11	.12255	W	5/21	.11830	W	4/30	.12175
T	6/10	.12300	T	5/20 L	.11635	T	4/29	.12075
M	6/ 9	.12300	M	5/19	.11780	M	4/28	.12200
F	6/ 6	.12200	F	5/16	.11900	F	4/25	.11975
T	6/ 5	.12000	T	5/15	.12100	T	4/24	.11925
W	6/ 4	.12200	W	5/14	.11875	W	4/23	.12130
T	6/ 3	.11900	T	5/13	.12075	T	4/22	.11925
M	6/ 2	.12090	M	5/12	.12050	M	4/21	

Australia 61 2 9777 8600 Brazil 5511 3048 4500 Europe 44 20 7330 7500 Germany 49 69 9204 1210 Hong Kong 852 2977 6000
Japan 81 3 3201 8900 Singapore 65 6212 1000 U.S. 1 212 318 2000 Copyright 2014 Bloomberg Finance L.P.
SN 563805 H370-3637-3 19-Jun-14 19:09:31 CDT GMT-5:00

Figura A.2: Pantalla de los valores históricos de la tasa LIBOR de 1W



GRAB

US0001M Index | CIERRE/ASK/REND | Pg 1/3 Precios históricos

US0001M LIBOR-USD Fix USD 1M

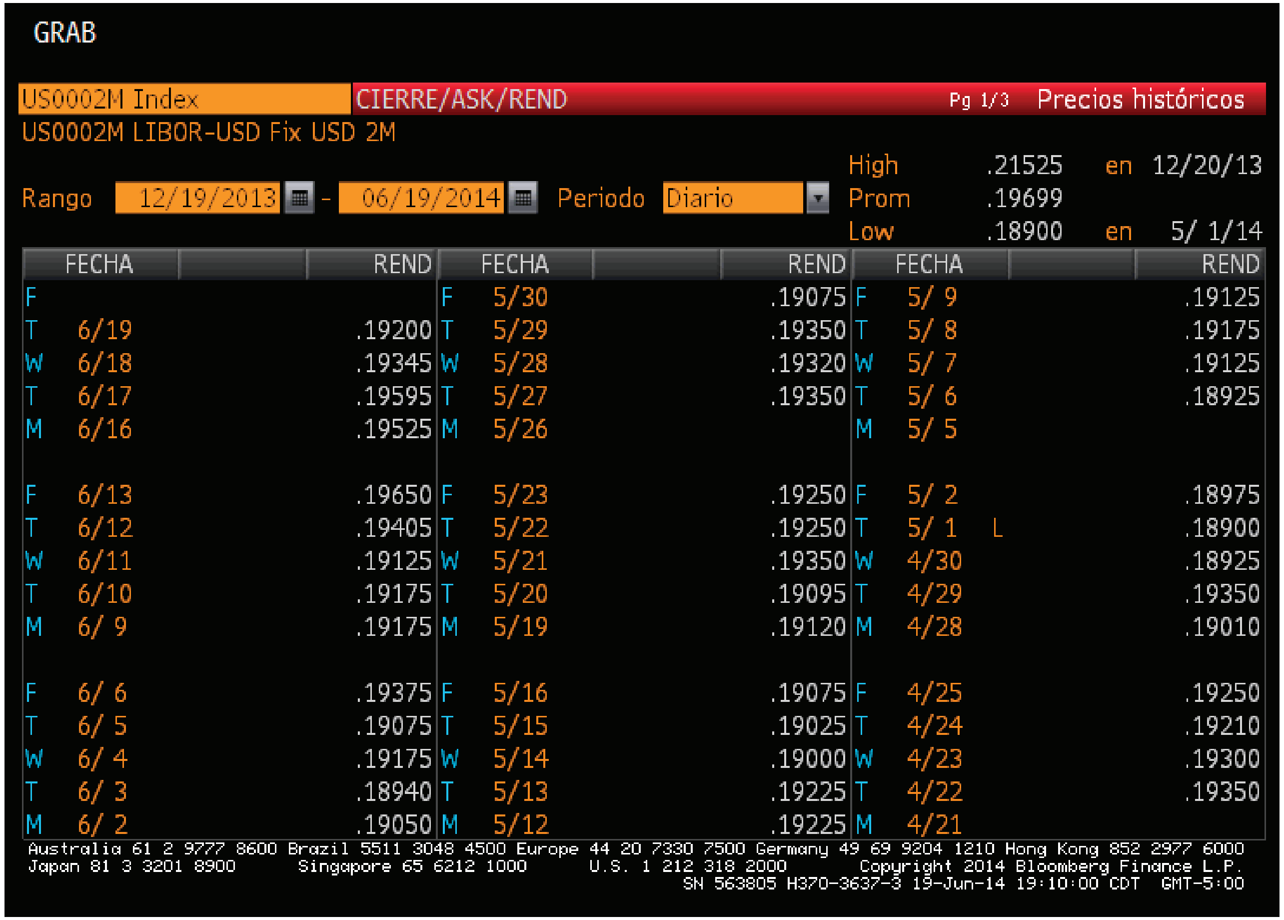
Rango 12/19/2013 - 06/19/2014 Periodo Diario

High .17020 en 12/30/13
Prom .15493
Low .14775 en 5/20/14

	FECHA	REND		FECHA		REND		FECHA	REND
F			F	5/30		.15100	F	5/ 9	.15160
T	6/19	.15325	T	5/29		.15100	T	5/ 8	.15025
W	6/18	.15300	W	5/28		.15000	W	5/ 7	.15150
T	6/17	.15500	T	5/27		.15050	T	5/ 6	.15050
M	6/16	.15400	M	5/26			M	5/ 5	
F	6/13	.15425	F	5/23		.15050	F	5/ 2	.15150
T	6/12	.15175	T	5/22		.15000	T	5/ 1	.15050
W	6/11	.15125	W	5/21		.14850	W	4/30	.15050
T	6/10	.15200	T	5/20	L	.14775	T	4/29	.15150
M	6/ 9	.15225	M	5/19		.14850	M	4/28	.15030
F	6/ 6	.15350	F	5/16		.14925	F	4/25	.15200
T	6/ 5	.15100	T	5/15		.15100	T	4/24	.15180
W	6/ 4	.15200	W	5/14		.15110	W	4/23	.15230
T	6/ 3	.15090	T	5/13		.15110	T	4/22	.15230
M	6/ 2	.15100	M	5/12		.15110	M	4/21	

Australia 61 2 9777 8600 Brazil 5511 3048 4500 Europe 44 20 7330 7500 Germany 49 69 9204 1210 Hong Kong 852 2977 6000
Japan 81 3 3201 8900 Singapore 65 6212 1000 U.S. 1 212 318 2000 Copyright 2014 Bloomberg Finance L.P.
SN 563805 H370-3637-3 19-Jun-14 19:08:28 CDT GMT-5:00

Figura A.3: Pantalla de los valores históricos de la tasa LIBOR 1M



GRAB

US0002M Index | CIERRE/ASK/REND | Pg 1/3 Precios históricos

US0002M LIBOR-USD Fix USD 2M

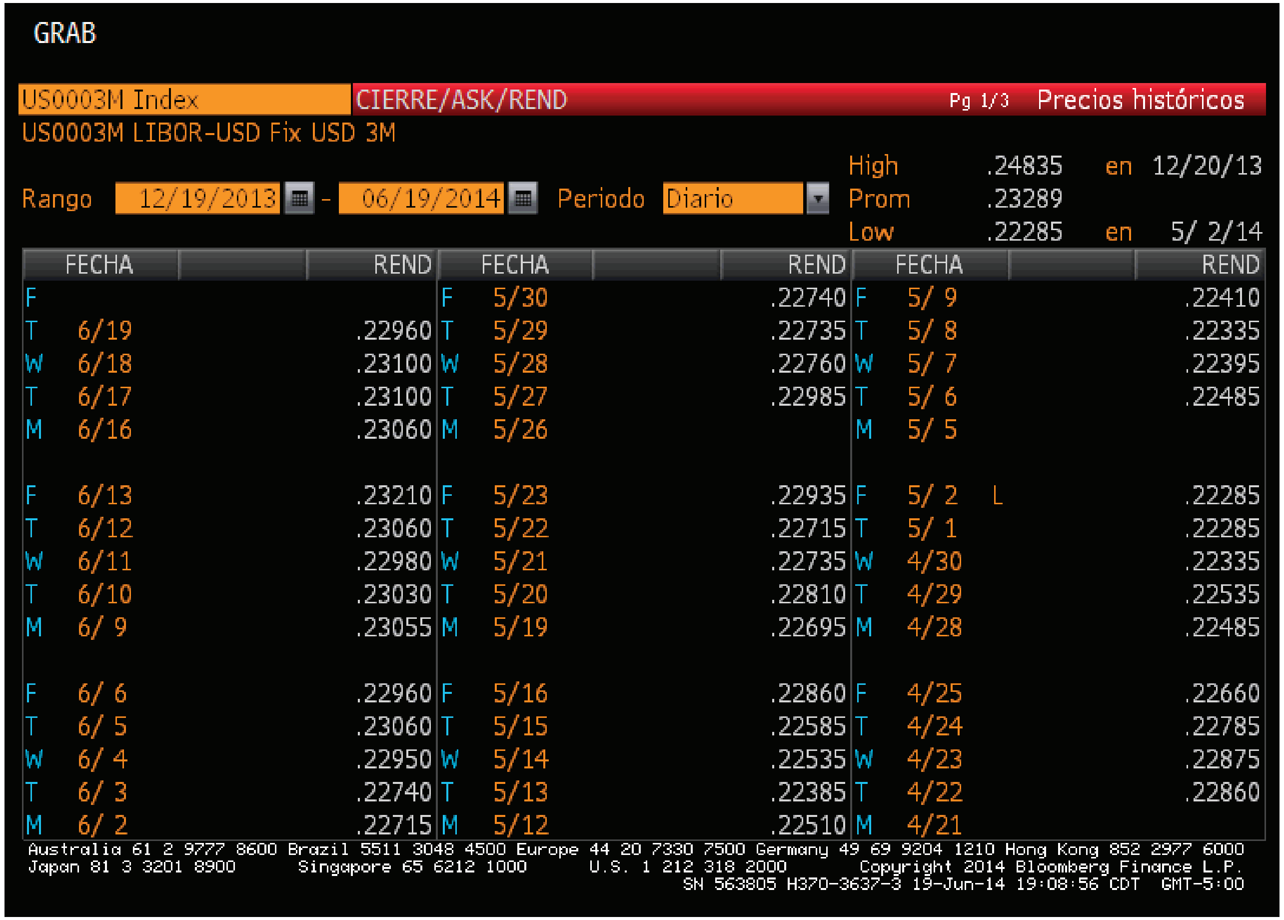
Rango 12/19/2013 - 06/19/2014 Periodo Diario

High .21525 en 12/20/13
Prom .19699
Low .18900 en 5/ 1/14

	FECHA	REND		FECHA	REND		FECHA	REND
F			F	5/30	.19075	F	5/ 9	.19125
T	6/19	.19200	T	5/29	.19350	T	5/ 8	.19175
W	6/18	.19345	W	5/28	.19320	W	5/ 7	.19125
T	6/17	.19595	T	5/27	.19350	T	5/ 6	.18925
M	6/16	.19525	M	5/26		M	5/ 5	
F	6/13	.19650	F	5/23	.19250	F	5/ 2	.18975
T	6/12	.19405	T	5/22	.19250	T	5/ 1 L	.18900
W	6/11	.19125	W	5/21	.19350	W	4/30	.18925
T	6/10	.19175	T	5/20	.19095	T	4/29	.19350
M	6/ 9	.19175	M	5/19	.19120	M	4/28	.19010
F	6/ 6	.19375	F	5/16	.19075	F	4/25	.19250
T	6/ 5	.19075	T	5/15	.19025	T	4/24	.19210
W	6/ 4	.19175	W	5/14	.19000	W	4/23	.19300
T	6/ 3	.18940	T	5/13	.19225	T	4/22	.19350
M	6/ 2	.19050	M	5/12	.19225	M	4/21	

Australia 61 2 9777 8600 Brazil 5511 3048 4500 Europe 44 20 7330 7500 Germany 49 69 9204 1210 Hong Kong 852 2977 6000
Japan 81 3 3201 8900 Singapore 65 6212 1000 U.S. 1 212 318 2000 Copyright 2014 Bloomberg Finance L.P.
SN 563805 H370-3637-3 19-Jun-14 19:10:00 CDT GMT-5:00

Figura A.4: Pantalla de los valores históricos de la tasa LIBOR 2M



	FECHA	REND		FECHA	REND		FECHA	REND
F			F	5/30	.22740	F	5/ 9	.22410
T	6/19	.22960	T	5/29	.22735	T	5/ 8	.22335
W	6/18	.23100	W	5/28	.22760	W	5/ 7	.22395
T	6/17	.23100	T	5/27	.22985	T	5/ 6	.22485
M	6/16	.23060	M	5/26		M	5/ 5	
F	6/13	.23210	F	5/23	.22935	F	5/ 2 L	.22285
T	6/12	.23060	T	5/22	.22715	T	5/ 1	.22285
W	6/11	.22980	W	5/21	.22735	W	4/30	.22335
T	6/10	.23030	T	5/20	.22810	T	4/29	.22535
M	6/ 9	.23055	M	5/19	.22695	M	4/28	.22485
F	6/ 6	.22960	F	5/16	.22860	F	4/25	.22660
T	6/ 5	.23060	T	5/15	.22585	T	4/24	.22785
W	6/ 4	.22950	W	5/14	.22535	W	4/23	.22875
T	6/ 3	.22740	T	5/13	.22385	T	4/22	.22860
M	6/ 2	.22715	M	5/12	.22510	M	4/21	

Figura A.5: Pantalla de los valores históricos de la tasa LIBOR 3M

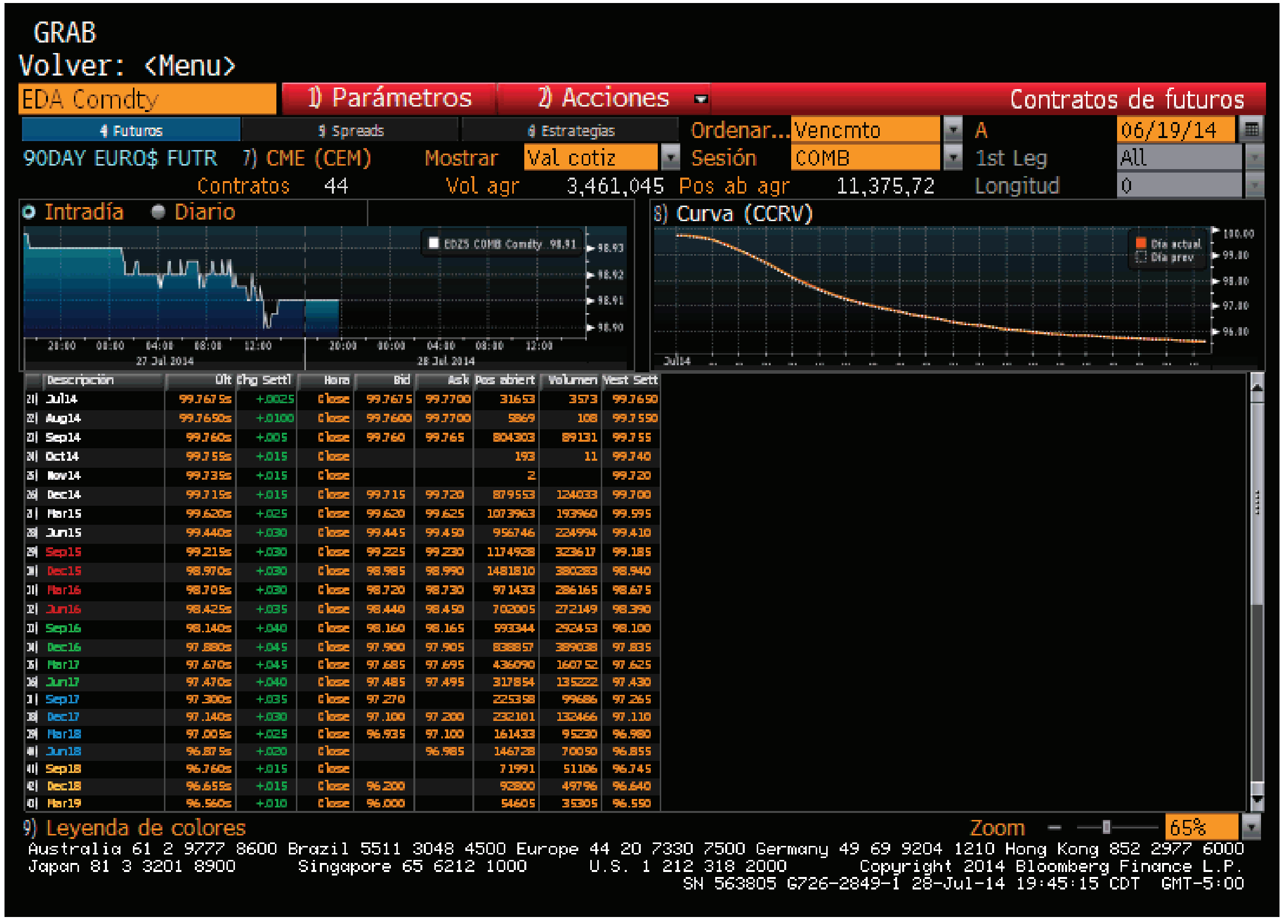
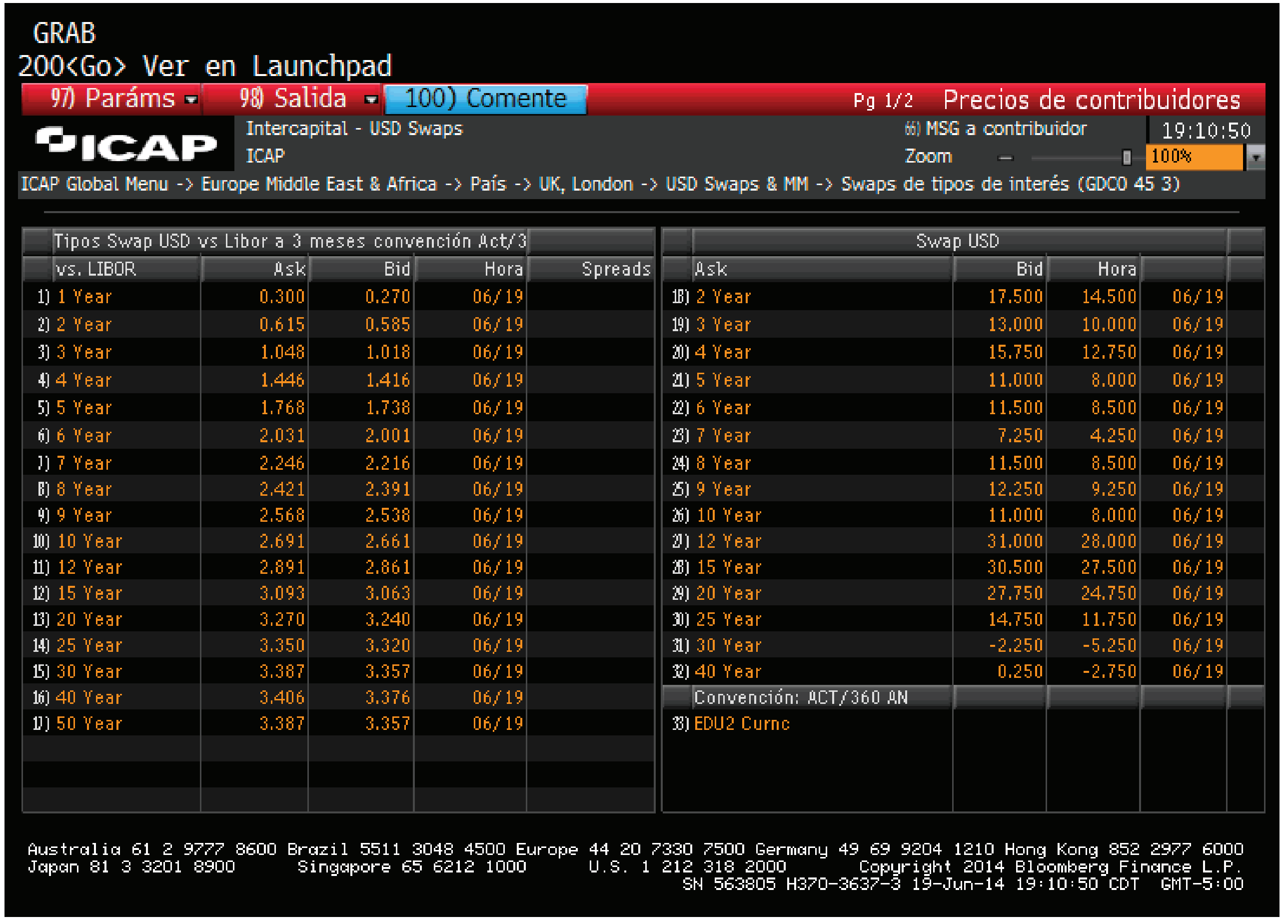


Figura A.6: Pantalla de los valores históricos y Futuros de los FRA's


GRAB

200<Go> Ver en Launchpad

97) Paráms 98) Salida 100) Comente Pg 1/2 Precios de contribuidores

ICAP Intercapital - USD Swaps 66) MSG a contribuidor 19:10:50

ICAP Zoom 100%

ICAP Global Menu -> Europe Middle East & Africa -> País -> UK, London -> USD Swaps & MM -> Swaps de tipos de interés (GDCO 45 3)

Tipos Swap USD vs Libor a 3 meses convención Act/3				
vs. LIBOR	Ask	Bid	Hora	Spreads
1) 1 Year	0.300	0.270	06/19	
2) 2 Year	0.615	0.585	06/19	
3) 3 Year	1.048	1.018	06/19	
4) 4 Year	1.446	1.416	06/19	
5) 5 Year	1.768	1.738	06/19	
6) 6 Year	2.031	2.001	06/19	
7) 7 Year	2.246	2.216	06/19	
8) 8 Year	2.421	2.391	06/19	
9) 9 Year	2.568	2.538	06/19	
10) 10 Year	2.691	2.661	06/19	
11) 12 Year	2.891	2.861	06/19	
12) 15 Year	3.093	3.063	06/19	
13) 20 Year	3.270	3.240	06/19	
14) 25 Year	3.350	3.320	06/19	
15) 30 Year	3.387	3.357	06/19	
16) 40 Year	3.406	3.376	06/19	
17) 50 Year	3.387	3.357	06/19	

Swap USD			
Ask	Bid	Hora	
18) 2 Year	17.500	14.500	06/19
19) 3 Year	13.000	10.000	06/19
20) 4 Year	15.750	12.750	06/19
21) 5 Year	11.000	8.000	06/19
22) 6 Year	11.500	8.500	06/19
23) 7 Year	7.250	4.250	06/19
24) 8 Year	11.500	8.500	06/19
25) 9 Year	12.250	9.250	06/19
26) 10 Year	11.000	8.000	06/19
27) 12 Year	31.000	28.000	06/19
28) 15 Year	30.500	27.500	06/19
29) 20 Year	27.750	24.750	06/19
30) 25 Year	14.750	11.750	06/19
31) 30 Year	-2.250	-5.250	06/19
32) 40 Year	0.250	-2.750	06/19
Convención: ACT/360 AN			
33) EDU2 Curnc			

Australia 61 2 9777 8600 Brazil 5511 3048 4500 Europe 44 20 7330 7500 Germany 49 69 9204 1210 Hong Kong 852 2977 6000
Japan 81 3 3201 8900 Singapore 65 6212 1000 U.S. 1 212 318 2000 Copyright 2014 Bloomberg Finance L.P.
SN 563805 H370-3637-3 19-Jun-14 19:10:50 CDT GMT-5:00

Figura A.7: Pantalla principal de swaps de tasa fija contra la tasa LIBOR 3M

IRS TIIE 28D	Bid	Ask	Hora	Forwards	Bid	Ask	Hora
1) 3x1	3.9600	4.0200	09/17	14) 1 Week	0.0069	0.0090	09/17
2) 6x1	3.9000	3.9500	09/17	15) 1 Month	0.0327	0.0374	09/17
3) 9x1	3.8950	3.9650	09/17	16) 2 Month	0.0628	0.0667	09/17
4) 13x1	3.9000	3.9700	09/17	17) 3 Month	0.0925	0.0987	09/17
5) 26x1	4.1700	4.2300	09/17	18) 6 Month	0.1868	0.1909	09/17
6) 39x1	4.5700	4.6100	09/17	19) 9 Month	0.2803	0.2910	09/17
7) 52x1	5.0200	5.0600	09/17	20) 1 Year	0.3805	0.3965	09/11
8) 65x1	5.4600	5.5000	09/17	21) 18 Month	0.5341	0.5517	09/17
9) 91x1	6.1300	6.1900	09/17	22) 2 Year	0.6962	0.7263	09/17
10) 130x1	6.7000	6.7700	09/17	23) 3 Year	1.0314	1.0626	09/17
11) 195x1	7.3500	7.4200	09/17	24) 4 Year	1.3415	1.3624	09/17
12) 260x1	7.8300	7.9300	09/17	25) 5 Year	1.6733	1.7260	09/17
13) 390x1	7.9800	8.0800	09/17				

Australia 61 2 9777 8600 Brazil 5511 3048 4500 Europe 44 20 7330 7500 Germany 49 69 9204 1210 Hong Kong 852 2977 6000
Japan 81 3 3201 8900 Singapore 65 6212 1000 U.S. 1 212 318 2000 Copyright 2013 Bloomberg Finance L.P.
SN 563805 G662-189-1 17-Sep-13 18:18:36 CDT GMT-5:00

Figura A.8: Pantalla principal de swaps de tasa fija contra la tasa TIIE 28 días

Bibliografía

[1] Kellison, Stephen G., “The theory of interest”, 3ra edición: 2-15

[2] Torres, Eduardo, “Bootstrapping”,Construcción de Curvas FX y Tasa para la gestión de Riesgo de Mercado, Universidad Nacional Autónoma de México. Mayo 2013.

[3] Hull, John C., “Options, Futures and other derivatives”, 5ta edición: 93-112

[4] Hull, John C., “Options, Futures and other derivatives”, 5ta edición: 125-145

[5] Martellini, Lionel y et al, “Fixed-income Securities: Valuation, Risk Management and Portfolio Strategies”, 2da edición: 3-30

[6] Martellini, Lionel y et al, “Fixed-income Securities: Valuation, Risk Management and Portfolio Strategies”, 2da edición: 41-54

[7] Martellini, Lionel y et al, “Fixed-income Securities: Valuation, Risk Management and Portfolio Strategies”, 2da edición: 325-333

[8] Martellini, Lionel y et al, “Fixed-income Securities: Valuation, Risk Management and Portfolio Strategies”, 2da edición: 353-357

[9] McDonald, Robert L., “Derivatives Markets”, 2da edición: 214-215

[10] Place, Joanna, “Análisis básico de bonos”

[11] http://www.elergonomista.com/if08.html

[12] http://www.tesoreria.com/images/PDF/mercados%20financieros.pdf

[13] www.banxico.org.mx %2Fsistema-financiero %2Fmaterial-educativo %2Fintermedio %2Fsubastas-y-colocacion-de-valores %2Fprimarias-de-valores-gubernamentales %2Fnotas-tecnicas-y-titulos-multiples %2F %257B0221A157-0DF2-53E5-E19B-547CC1B2871F %257D.pdf&ei=XwaTUdyKIa-x0AGyuoHwDA&usg=AFQjCNET9DJdNSsCyoYoiD7L6SLa9Mvh_w&sig2=2HMFtd13.

[14] http://www.treasurers.org/daycountconventions

[15] Haubrich, Joseph G., "Swaps and the Swaps Yield Curve", Federal Reserve Bank of Cleveland, Diciembre 2001

[16] Instituto Argentino de Mercado de Capitales, "Construcción de una curva cupón cero para el mercado doméstico de títulos públicos", Abril 2006

[17] Uri Ron, "A practical guide to Swap Curve Construction", Bank of Canada, Agosto 2000

[18] Kinlay, Jonathan, Bai, Xu, "Modeling the Yield Curve", 2008

[19] Ametrano, Ferdinando y Bianchetti, Marco, "Bootstrapping the illiquidity". Marzo 2009

[20] Bianchetti, Marco, "Bootstrapping the Illiquidity", Noviembre 2012

[21] Hagan, Patrick y West, Graeme, "Interpolation Methods for Curve Construction", Junio 2006

[22] Hagan, Patrick y West, Graeme, "Methods for constructing a Yield Curve", Abril 2007

[23] Lesniewski, Andrew, "The forward curve", Enero 2008