



Valoración de Forwards de Tipo de Cambio

VERSIÓN DICIEMBRE 2010
COSTA RICA

CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	3
2. CONSTRUCCIÓN DE CURVAS	5
2.1. Extranjera (Curva Libor).....	5
2.1.1. Características Generales	5
2.2. Doméstica (Soberana de Rendimiento en Colones)	6
2.2.1. Características Generales	6
2.3. Tipo de Cambio de Referencia	8
3. FORMATO DE COMUNICACIÓN DEL VECTOR DE PRECIOS	9
4. REGLAS OPERATIVAS PARA RESOLVER IMPUGNACIONES.....	12
5. PLAN DE CONTINGENCIA PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL VECTOR	12
6. ANEXOS.....	14
6.1. Periodo de Composición, Convención de días y Fracciones de año.....	14
6.1.1. Periodo de Composición	14
6.1.2. Convención de días y Fracciones de año.....	14
6.2. Métodos de Interpolación	16
6.2.1. Interpolación Lineal	16
6.2.2. Interpolación Cúbica con estimación lineal de Pendientes	18
6.2.3. Uso de tasas equivalentes	23
6.3. Bootstrapping.....	23
6.4. Modelos Financieros	28
6.4.1. Forwards de Tipo de Cambio	28
6.4.2. Proceso de Valuación.....	29
6.4.3. Algoritmos.....	30

1. INTRODUCCIÓN

El cálculo de los forwards del tipo de cambio del Colón costarricense se basa en los siguientes insumos:

- Curvas domésticas (soberana) y extranjeras (libor);
 - La curva doméstica, se obtiene en su mayor parte con la información proporcionada por la Bolsa Nacional de Valores, a través de los contratos y ofertas.
 - La curva extranjera, se obtiene de sistemas electrónicos de información como Bloomberg y Reuters.
- Valor actual del subyacente (tipo de cambio).
 - El valor actual del subyacente, se obtiene del Banco central de Costa Rica y es el tipo de cambio promedio ponderado del MONEX.

La valuación de los forwards de tipo de cambio asume el uso de modelos teóricos y siempre se considera en primer término los niveles de tasas obtenidos a partir de los contratos de operaciones registradas en la BNV observados en el día de valoración así como el valor del tipo de cambio promedio ponderado del MONEX. El Riesgo de Modelo de estas operaciones no se debe a la complejidad de las mismas ya que estas se ejecutan amplia y regularmente en los mercados globales usando algoritmos convencionales; dicho riesgo se deriva de la manera en que estas se definen internamente en los sistemas, los insumos utilizados para su valuación y a posibles deterioros en las plataformas tecnológicas que se usan para tales efectos. A fin de evitar el Riesgo de Modelo, se hace lo siguiente:

- Definición.- los algoritmos dichas operaciones se definen en dos plataformas tecnológicas (principal y testigo);
- Insumos.- se obtienen por mediante procesos independientes y son aplicados en ambas plataformas;
- Deterioro.- se comparan los resultados de ambas plataformas con un nivel de tolerancia de error de hasta el 5° decimal.

El proceso diario comienza con la incorporación únicamente de las nuevas emisiones estandarizadas en el vector de precios, tomando como base los reportes diarios que la BNV envía en 3 horarios (aproximadamente 10:30 hrs., 13:00 hrs. y 16:30 hrs.) con el nombre de “emisiones incremental” con las características de los nuevos títulos emitidos. Para efectos de las valuaciones se usa el envío de las 13:00 hrs.

El proceso continua con la recepción de información sobre mercado primario y secundario que envía aproximadamente a las 13:00 hrs. También la BNV, la cual es el insumo principal para determinar los movimientos que se han observado en el mercado. Se aplican todos los filtros a la información de acuerdo a los lineamientos descritos en la metodología, para considerar sólo contratos con un monto mínimo, facial o transado definido para cada tipo de instrumento y que hayan sido reportadas como ordinarias de aquellos instrumentos que son la base para la construcción de las curvas soberanas.

A la par se procede a actualizar otras variables que afectan el valor del forward como lo son el tipo de cambio de referencia y la tasa Libor.

Se realiza un proceso de validación que corrobore que la variación de los precios corresponda en todos los casos al movimiento de las variables que determinan su precio.

El procedimiento de objeciones tiene como fin dar una herramienta a los usuarios del vector a modificar algún nivel que Valmer haya determinado para la valoración de algún instrumento. Tras la publicación del vector preliminar, aproximadamente a las 14:00 hrs., los usuarios tienen el derecho de objetar la determinación del precio de algún instrumento del vector a través de un formato definido, al cual pueden acceder a través del website de Valmer. Un Comité de Objeciones determinará si la objeción procede o no, dando respuesta al cliente por correo electrónico con el argumento al cliente de por qué si o no procede la objeción. Este mecanismo puede proceder sólo si algún precio fue objetado antes de transcurridos los 30 minutos posteriores a la liberación del vector preliminar. De ser aceptada la objeción será comunicada a todos los usuarios por medio de la página WEB, ya que implica modificaciones de algún precio del vector previo respecto al vector definitivo.

El horario aproximado en el que se concluye el proceso anteriormente definido es a las 14:30 hrs. con lo que se pondrá inmediatamente en el website de Valmer el vector definitivo.

2. CONSTRUCCIÓN DE CURVAS

2.1. Extranjera (Curva Libor)

2.1.1. Características Generales

Nombre de las curvas en Web:	LIBOR
Plazo máximo de generación:	10,950 días
Base:	SEMI 180 ACT/360
Tipo de tasa:	Cero
Bootstrapping:	Usando tasas
Interpolación:	Cúbica con estimación lineal de pendientes
Extrapolación:	No aplica
Dependencia con otras curvas:	No aplica

A) Fuentes de Información

Los niveles de las tasas LIBOR1 hasta un año son los publicados por el BBA (British Bankers' Association).

Para plazos posteriores a un año, se utiliza la información de los IRS (SWAPS de tasa que utilizan la tasa LIBOR de 3 y 6 meses como la tasa de interés variable, mientras que la otra "pata" es una tasa de interés fija). Los plazos de los IRS son anuales de 2 a 10 años y quinquenales de 10 a 30 años. La información se obtiene de las siguientes fuentes:

- Sistemas Electrónicos de Información: Bloomberg y Reuters.

El horario para obtener la información es de las 13:30 hrs a las 14:00 hrs

B) Criterios de Discriminación de Información para Obtener los Niveles de Mercado.

Una vez obtenidos de las fuentes de información los niveles de los IRS que proporcionan los diferentes contribuidores, se determinará el mejor bid y ask para que se obtenga el promedio simple de estos y ese sea el nivel que se ponga a cada plazo como tasa swap.

C) Determinación de Nodos y Construcción de las Curvas

Nodos de menores o iguales a un año

Se toman de manera directa de las tasas publicadas por el BBA.

Nodos mayores de un año

Se obtienen con el método "Bootstrapping" a partir de los niveles de mercado IRS para cada divisa, por lo que se obtienen tasas cero en convención simple.

Una vez generados los nodos de la curva, se realiza la Interpolación Cúbica con estimación lineal de pendientes para generar la estructura temporal de tasas cero simples. Finalmente, se calculan las tasas semi- anuales equivalentes a cada plazo.

2.2. Doméstica (Soberana de Rendimiento en Colones)

2.2.1. Características Generales

Nombre de la curva en WEB	Soberana de rendimientos en colones
Nombre del archivo	Soberana_Yield_CRCaaaammdd.csv
Plazo máximo de generación	4,680 días
Base	Semestral 30/360
Tipo de tasa	Rendimiento (Yield)
Insumos para el "Bootstrapping"	No aplica
Interpolación	Interpolación Cúbica con estimación lineal de Pendientes
Extrapolación	Yield implícito en curva cero

aaaammdd corresponde a la fecha de generación en formato de año con 4 caracteres, mes con 2 caracteres y día con 2 caracteres.

A) Fuentes de Información

Los bonos seleccionados para la muestra que compone la curva soberana en colones son los instrumentos del Capítulo 1, inciso A) "Bonos de Estabilización Monetaria (bem0, bem) y Títulos de Propiedad sobre Bonos de Deuda Interna (tp0, tp)" que tengan el índice de representatividad más alto para reflejar las mejores condiciones de liquidez para este segmento. Este índice se calculará cada inicio de mes con ventana móvil trimestral, incluyendo por lo menos los 4 instrumentos con mayor valor del índice de representatividad que mejor proporcionen referencias para todo el largo de la curva.

En caso que la recomposición de la muestra implique cambios significativos en la curva, se aplicará un cambio gradual. Esta transición se aplicará en un plazo máximo de una semana ponderando de forma creciente la curva resultante de la nueva muestra y de forma decreciente la curva resultante de la muestra anterior.

Las bonos seleccionados para construir las curvas soberanas son informados en la sección de Curvas >> Muestra de Bonos del web site de Valmer Costa Rica.

B) Determinación de nodos y construcción de la curva

Se obtiene la Yield de cada instrumento a partir de los Precios Limpios de los bonos de tasa fija (bem y tp) y del modelo teórico, es decir, para cada bono se obtiene la Yield (Y), que cumpla con la siguiente igualdad:

$$PL + \text{IntDev} = \sum_{i=1}^K \frac{N \cdot r_C \cdot \text{TF}(T_{i-1}, T_i, CD)}{\left(1 + \frac{Y}{m}\right)^{m \cdot \text{TF}(t, T_i, CD)}} + \frac{N}{\left(1 + \frac{Y}{m}\right)^{m \cdot \text{TF}(t, T_K, CD)}}$$

Donde:

PL	Precio Limpio
IntDev	Intereses Devengados
t	Fecha de Valoración
T_0	Fecha inmediata anterior de pago de cupón con respecto a t. En caso de no existir, se considera la fecha de emisión
T_i	Fechas de Pago del cupón i. Para $i = 1, \dots, K$
N	Valor Nominal
Y	Yield
m	Periodicidad. En este caso es igual a 2 porque es semestral
r_c	Tasa del cupón (tasa neta si el instrumento es sujeto a retención de impuestos)
CD	Convención de días. En este caso se considera 30/360
$TF(t, T_i, CD)$	Fracción de año entre t y T_i . Se utiliza para obtener el Valor Presente del cupón i
$TF(T_{i-1}, T_i, CD)$	Fracción de año entre T_{i-1} y T_i . Se utiliza para obtener el Flujo de Efectivo del cupón i

La Yield se expresa semestralmente y con convención de días 30/360.

Para extender la curva yield al mismo plazo que la curva cupón cero, se obtiene el yield implícito en la curva cero cupón soberana en colones (sección 2.3), suponiendo un bono con 4,680 días por vencer, con periodicidad 2 y tasa cupón igual a la del bono gubernamental (G o BCCR) con mayor plazo. Con esta curva cero se descuentan todos los flujos de este bono hipotético para obtener su precio, y se despeja el rendimiento del bono.

Una vez obtenidos los nodos, se interpolan con el método cúbico con estimación lineal de pendientes¹ para encontrar la estructura temporal de tasas hasta el plazo máximo de generación.

¹ Se explica el modelo en la sección 4.2.

2.3. Tipo de Cambio de Referencia

Tipo de cambio Promedio Ponderado de las 13:30 hrs publicado en la página del Banco Central de Costa Rica en su sección "Resumen de negociación en MONEX"

3. FORMATO DE COMUNICACIÓN DEL VECTOR DE PRECIOS

Debido que estas operaciones son concertadas en ventanilla (OTC), y que las características de las mismas son únicas y propias de cada participante, por ende, la valuación de las mismas será entregada diariamente y en días hábiles solamente al cliente interesado que contrate este servicio y en su momento a las autoridades supervisoras del sistema financiero costarricense.

Es por ello que los formatos de entrega serán preacordados con cada cliente.

No obstante lo anterior y con el afán de no afectar los sistemas de envío y recepción de información electrónica, se hace la siguiente propuesta la cual es un esfuerzo que tiene por objeto para usar el archivo con formato ASCII ya concido y usado por el mercado el cual se distribuye todos los días hábiles del año y que cuenta con campos que describen a continuación:

DESCRIPCIÓN							
Descripción	Tipo de Información	Longitud	Posición De:	A:	FORMATO *	Decimales	OBSERVACIONES
Emisor	Alfanumérica	5	1	5	*****	NA	Nemotécnico identificador de las partes
Instrumento	Alfanumérica	5	6	10	*****	NA	FWT = Forward de Tasa FWX = Forward de Tipo de Cambio FWF = Forward Físicos OPT = Opciones de Tasa OPX = Opciones de Tipo de Cambio OPF = Opciones Físicos
No. De Serie	Alfanumérica	12	11	22	*****	NA	Folio identificador de las partes
Fecha de Vencimiento	Alfanumérica	10	23	32	dd/mm/aaaa	NA	Fecha de vencimiento de la operación
Premio	Numérica	7	33	39	000.000	2	Precio Pactado de la operación (cuando aplique)
Precio %	Numérica	8	40	47	0000.000	3	Tasa Pactada de la operación (cuando aplique)
Rendimiento	Numérica	7	48	54	00000.0	2	Valuación a mercado de operación de derivados en base a tasa.
Precio Monetario	Numérica	20	55	74	000000000000 00000.00	2	Valuación a mercado de operación de derivados en base a precio.
Forma Cálculo	Numérica	2	75	76	00	NA	Sin Uso

Características Generales del formato Vector de Precios

1. A cada renglón del Vector de Precios le corresponde un solo instrumento.
2. En caso de que algún carácter tenga valor nulo se realizará lo siguiente:
 - i. No es decimal, entonces el carácter tomará el valor " " (espacio).
 - ii. Es decimal, entonces el carácter tomará el valor 0.
3. Para efectos de cálculo se utilizan 8 decimales.
4. Los nemotécnicos son iguales a los utilizados por la BNV para su negociación.
5. Los campos de monto o valor no llevan "," (coma).
6. La valuaciones de derivados en base a tasa se expresarán como número y a 4 decimales
7. La valuaciones de derivados en base a precio se expresarán como número y a 4 decimales

8. El horario objetivo para la difusión del vector en el website de Valmer Costa Rica son las 14hrs, mientras que el vector definitivo a las 14:30 hrs..

Adicionalmente se generará un vector formato Valmer (archivo en formato de valores separados por comas csv) que estará disponible igualmente en el website de Valmer con los siguientes campos:

DESCRIPCIÓN				
Descripción	Tipo de Información	FORMATO	Decimales	OBSERVACIONES
Fecha de valoración	Alfanumérica	dd/mm/aaaa	NA	Fecha en que se realiza la valoración
Tipo Instrumento	Alfanumérica	*****	NA	Descripción de tipo de instrument FWT = Forward de Tasa FWX = Forward de Tipo de Cambio FWF = Forward Físicos OPT = Opciones de Tasa OPX = Opciones de Tipo de Cambio OPF = Opciones Físicos
Nemo Emisor	Alfanumérica	*****	NA	Nemotécnico identificador de las partes
Nemo Instrumento	Alfanumérica	*****	NA	Descripción de tipo de instrument FWT = Forward de Tasa FWX = Forward de Tipo de Cambio FWF = Forward Físicos OPT = Opciones de Tasa OPX = Opciones de Tipo de Cambio OPF = Opciones Físicos
Serie	Alfanumérica	*****	NA	Folio identificador de las partes
Precio Sucio	Numérica	0.000	3	Valuación a mercado de operación de derivados en base a precio.
Precio Limpio	Numérica	0.000	3	Valuación a mercado de operación de derivados en base a tasa.
Intereses corridos	Numérica	0.000	3	N/A
% Precio	Numérica	0.000	3	N/A
Rendimiento	Numérica	0.000	3	N/A
Premio	Numérica	0.000	3	Precio Pactado de la operación (cuando aplique)
Tasa Cupón Vigente	Numérica	0.000	3	Tasa Pactada de la operación (cuando aplique)
Prima	Numérica	0.000	3	N/A
Duración	Numérica	0.000	3	N/A
Convexidad	Numérica	0.000	3	N/A
Forma Cálculo	Numérica	0	0	Indicación del destino del precio/rendimiento reportado. Es 1 si corresponde a mercado y 0 si es calculado con precio teórico
Días Por Vencer	Numérica	0	0	Días al vencimiento considerando días comerciales.

Plazo	Numérica	0	0	Días comerciales entre fecha de emisión y de vencimiento.
Fecha de Emisión	Alfanumérica	dd/mm/aaaa	NA	Fecha de emisión del instrumento
Fecha de Vencimiento	Alfanumérica	dd/mm/aaaa	NA	Fecha de vencimiento del instrumento
Fecha Inicio Cupón	Alfanumérica	dd/mm/aaaa	NA	Fecha en que comienzan a devengarse los intereses
Fecha Fin Cupón	Alfanumérica	dd/mm/aaaa	NA	Fecha en que se paga el cupón.
Moneda	Alfanumérica	*****	NA	Divisa del instrumento
Isin	Alfanumérica	*****	NA	N/A
Valor Nominal	Numérica	0.000	3	Valor mínimo en que se puede dividir el monto de la emisión
Monto de la emisión	Numérica	0.000	3	N/A

4. REGLAS OPERATIVAS PARA RESOLVER IMPUGNACIONES

El recurso de la impugnación es el medio a través del cual se ofrece a los usuarios del Vector de Precios el derecho de disconformidad con la información que contiene. Este recurso en caso de ser procedente debe llevarse a cabo bajo la supervisión del Comité Operativo de Valmer e informarse a los usuarios oportunamente.

Recepción de la Impugnación

Para solicitar la impugnación, es indispensable que todos los usuarios utilicen el formato preestablecido, para dar uniformidad y llevar un registro de las observaciones realizadas por los usuarios. Este formato tiene el nombre de "Formato de impugnación". El usuario tendrá acceso a este formato para su llenado a través de la página Web de Valmer.

El tiempo de recepción de impugnaciones inicia con la liberación del Vector Previo (aproximadamente 14hrs), dando un tiempo de 30 minutos para que los usuarios hagan sus observaciones, y una vez atendidas dichas observaciones se distribuirá el Vector Definitivo.

Todas las observaciones realizadas por los usuarios deberán tener sustento técnico, y de ser aceptada la objeción (que modifiquen algún precio del vector previo) será comunicada a los usuarios por medio de la página WEB, o en caso de no poder acceder por este medio, se podrán realizar por fax.

Evolución de la Impugnación

El Comité Operativo de Valmer es el responsable de los resultados de impugnación ya que se encargará de aprobar su procedencia y coordinar a las áreas involucradas en el proceso de corrección y registro de los eventos en el proceso de impugnación.

El tiempo máximo para que el Comité Operativo de Valmer proporcione el resultado de la impugnación es una hora después de que se haya ingresado el formato de impugnación.

Se dará a conocer el resultado de la impugnación al usuario que la ingresó y en caso de ser procedente también se informará a todos los usuarios y a las autoridades correspondientes a través de los medios que soliciten.

5. PLAN DE CONTINGENCIA PARA LA DISTRIBUCIÓN DEL VECTOR

Considerando el alto nivel de responsabilidad que tiene Valmer con todos sus usuarios, tanto en el aspecto referente al cálculo de precios como en el de difusión de toda la información que compete al mercado, resulta indispensable llevar a cabo la implementación de un Plan de Continuidad de Negocio, que le permita a Valmer superar eventos o situaciones contingentes que pudieran impedir o poner en riesgo la realización de las actividades propias para la generación y difusión de precios y consecuentemente mantener el concepto de alta seguridad y eficiencia. En virtud de lo anterior, la Dirección de Valmer, asume el compromiso de coordinar el desarrollo e implementación de un Plan de Continuidad de Negocio que cubra esta necesidad.

Objetivo: Superar oportunamente cualquier contingencia técnica o natural, que pudieran impedir los servicios Operativos (cálculo de precios e información), Administrativos y Difusión de Información que reciben todos los usuarios y autoridades.

Alcance: El alcance de este plan, está dimensionado para cubrir oportunamente la continuidad de todos los procesos que implica la operación y difusión de información de Valmer, así como la recuperación de todos los sistemas, aplicaciones técnicas y de personal, etc., que permiten la continuidad del negocio tanto en las instalaciones, como en el Site alterno.

Beneficios: El que Valmer cuente con un Plan de Continuidad de Negocio, brinda certidumbre y confianza a todos los intermediarios, autoridades y público inversionista en situaciones de contingencia, así como mantener su imagen institucional de empresa segura.

PROCEDIMIENTO

Se han definido distintos escenarios para cubrir las posibles contingencias que pudieran afectar el desarrollo habitual de los procesos en la generación y difusión de la información. Dentro de estos escenarios, para las Oficinas en México, se encuentran contemplados Escenario de Bloqueo, Escenario de Desalojo, Escenario de Contingencia de Procesos, Escenario de Contingencia por Fuentes de Información.

Se cuenta con un PROGRAMA DE CONTINGENCIA para cada uno de estos escenarios.

Como recursos para cubrir estas necesidades se cuenta con la facilidad de traslado y la infraestructura de un site alternativo que cuenta con el equipo necesario para seguir con las actividades diarias para continuar con la recepción y generación de información de manera continua.

La descripción completa del Plan de Contingencia se encuentra en el documento anexo a las presentes metodologías.

Para el caso de subsanar las contingencias en las que la Bolsa Nacional de Valores de Costa Rica no pueda entregar la información diaria necesaria para la construcción del vector de precios, se utilizarán las referencias proporcionadas por instancias tales como Reuters, Bloomberg así como otros medios de operación y registro los cuales cumplan con requisitos de oportunidad, fidelidad y concentración de operaciones los cuales cuenten con el amplio reconocimiento del mercado. Aunado a lo anterior, se realizarán encuestas de nivel y precio con los distintos participantes del mercado.

Las consideraciones anteriormente expuestas buscan obtener los insumos mínimos necesarios como lo son:

- Curva Soberana,
- UDES,
- Tasa Básica,
- Libor,
- Prime Rate,
- BNCR y
- BNCR\$.

Una vez obtenidos dichos insumos se cumplirán las condiciones necesarias para generar los precios teóricos de los instrumentos que contenga el vector en la fecha en la que se presente la contingencia buscando respetar los parámetros de tolerancia de error entre precios teóricos y actuales establecidos en el Reglamento de Valoración de Carteras Mancomunadas.

6. ANEXOS

6.1. Periodo de Composición, Convención de días y Fracciones de año

Para definir de forma completa a una tasa de interés es necesario indicar el periodo de composición y la convención de días, ya que de esto dependen cálculos como los pagos de cupones o los factores de descuento.

6.1.1. Periodo de Composición

Indica el periodo al que se debe considerar el interés compuesto. Existen tres tipos de composición: 1) la discreta, en la cual se indica con un valor entero el número de veces al año que se compone la tasa, por ejemplo, si la tasa es semestral, entonces la tasa se compone 2 veces al año, 2) la continua, en la cual la composición se realiza en cada instante, por lo que con símbolos matemáticos se tendría una frecuencia infinita (∞) y 3) la simple, en la cual no existe interés compuesto.

A continuación se muestran los principales periodos de composición:

Periodo de Composición	Símbolo	Frecuencia al año (m)	Tipo de composición
Anual	ANU	1	Discreta
Semestral	SEM	2	Discreta
Trimestral	TRI	4	Discreta
Mensual	MEN	12	Discreta
4-semanas	4-S	13	Discreta
Continua	CONT	∞	Continua
Simple	SMP	No aplica	No aplica

6.1.2. Convención de días y Fracciones de año

La convención de días define la forma en que se cuentan los días entre dos fechas (numerador) y el número de días que se asigna a un año completo (denominador). Las alternativas más comunes que se utilizan en los instrumentos financieros son: "actual/360", "actual/365", "actual/actual", "30/360" y "30/360 Europea".

La convención de días se utiliza para el cálculo de la fracción de año entre dos fechas, se denota por $TF(t_1, t_2, CD)$ donde t_1 es la fecha inicial, t_2 es la fecha final y CD es la Convención de días utilizada.

A continuación se muestra el cálculo para la fracción de año, utilizando las distintas convenciones:

- **TF(t_1, t_2 , actual/360)**

Para el numerador se considera el número de días naturales entre las dos fechas y para el denominador se considera el año de 360 días.

Ejemplo:

$$TF(2006/02/28, 2008/02/29, \text{actual}/360) = \frac{731}{360} = 2.030556$$

- **TF(t₁, t₂, actual/365)**

Para el numerador se considera el número de días naturales entre las dos fechas y para el denominador se considera el año de 365 días.

Ejemplo:

$$TF(2006/02/28, 2008/02/29, \text{actual}/365) = \frac{731}{365} = 2.002740$$

- **TF(t₁, t₂, actual/actual)**

Para el numerador se considera el número de días naturales y para el denominador se considera el número de días naturales de cada año, puede ser 365 o 366.

Ejemplo:

$$TF(t_1, t_2, CD) = TF(2006/02/28, 2008/02/29, \text{actual/actual})$$

Como 2008 es un año bisiesto, el número de días del 2008 se debe dividir entre 366, mientras que para los días de 2006 y 2007 se debe dividir entre 365.

El número de días entre 2006/02/28 y 2007/12/31 son 671, estos años se pueden agrupar porque ambos tienen 365 días.

Por su parte, el número de días entre 2007/12/31 y 2008/02/29 son 60.

Por lo tanto, el resultado es:

$$TF(2006/02/28, 2008/02/29, \text{actual/actual}) = \frac{671}{365} + \frac{60}{366} = 2.002291$$

- **TF(t₁, t₂, 30/360)**

Para el numerador se considera que los meses son de 30 días y el año de 360. Con las siguientes consideraciones:

- 1) Si la fecha final es el último día de Febrero y la fecha inicial es el último día de febrero, entonces se considera como 30 el día de la fecha final.
- 2) Si la fecha inicial es el último día de Febrero, entonces se considera 30 como día de la fecha inicial.
- 3) Si el día de la fecha final es 31, entonces se cambia a 30.
- 4) Si el día de la fecha inicial es 31, entonces se cambia a 30.

Para el denominador se considera el año de 360 días.

$$TF(t_1, t_2, 30/360) = \frac{(\text{año}_2 - \text{año}_1) * 360 + (\text{mes}_2 - \text{mes}_1) * 30 + (\text{día}_2 - \text{día}_1)}{360}$$

Ejemplo:

$$TF(t_1, t_2, CD) = TF(2006/02/28, 2008/02/29, 30/360)$$

$$= \frac{(2008 - 2006) * 360 + (2 - 2) * 30 + (30 - 30)}{360} = 2.000000$$

- **TF(t₁, t₂, 30/360 Europea)**

Para el numerador se considera que los meses son de 30 días y el año de 360. Con las siguientes consideraciones:

- 1) Si el día de la fecha final es 31, entonces se cambia a 30.
- 2) Si el día de la fecha inicial es 31, entonces se cambia a 30.

Para el denominador se considera el año de 360 días.

$$TF(t_1, t_2, CD) = \frac{(\text{año}_2 - \text{año}_1) * 360 + (\text{mes}_2 - \text{mes}_1) * 30 + (\text{día}_2 - \text{día}_1)}{360}$$

Ejemplo:

$$TF(t_1, t_2, CD) = TF(2006/02/28, 2008/02/29, 30/360)$$

$$= \frac{(2008 - 2006) * 360 + (2 - 2) * 30 + (29 - 28)}{360} = 2.002778$$

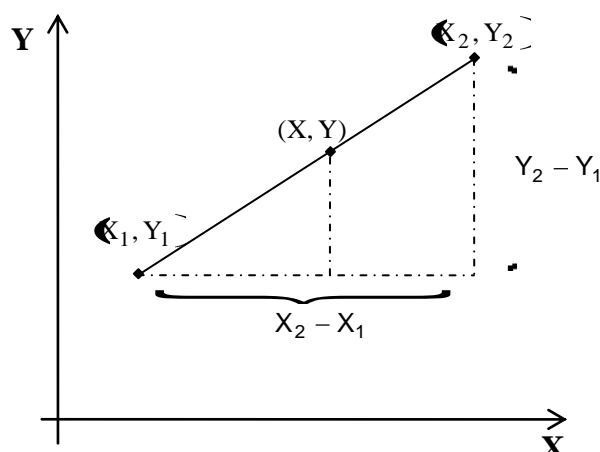
6.2. Métodos de Interpolación

Los métodos de interpolación consisten en determinar una función continua a partir de un conjunto de puntos (X_i, Y_i). De esta forma, es posible obtener la Y asociada a cualquier X, siempre y cuando se encuentre en el intervalo (X₁, X_n), donde n es el número de nodos, X₁ es el mínimo valor de {X_i} y X_n es el valor máximo de {X_i}.

La interpolación principalmente se utiliza para encontrar la estructura temporal de tasas de interés a partir de nodos obtenidos de niveles de mercado de manera directa o indirecta.

6.2.1. Interpolación Lineal

La interpolación lineal consiste en construir una función lineal que tenga como extremos a los nodos conocidos. Se define a (X₁, Y₁) y (X₂, Y₂) como valores conocidos y se desea encontrar el valor de Y asociado a un valor X, tal que X₁ < X < X₂.



Una forma de deducir la ecuación de la recta que pasa por dos puntos, es con la equivalencia de triángulos, éstos se observan con líneas punteadas en la gráfica anterior.

$$\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} = \frac{Y - Y_1}{X - X_1}$$

Despejando la variable Y de la expresión anterior resulta:

$$Y = \left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \right) (X - X_1) + Y_1$$

Donde el término $\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$ indica la pendiente de la recta.

De este modo, es posible determinar el valor de Y mediante la interpolación lineal para cualquier X mayor a X_1 y menor que X_2 .

El problema principal de este tipo de interpolación es que si se realiza con varios nodos, el resultado es una función no derivable² en cada nodo, lo que significa que no es una función "suavizada".

Ejemplo

Se desea obtener la función de la estructura temporal de tasas³ a partir de la siguiente información:

Plazo	Tasa de interés
40	7.29
50	7.34
60	7.35
70	7.38

Como se tienen 4 nodos existen tres funciones lineales, dadas por:

² Esto sucede cuando no todos los nodos pertenecen a una misma recta.

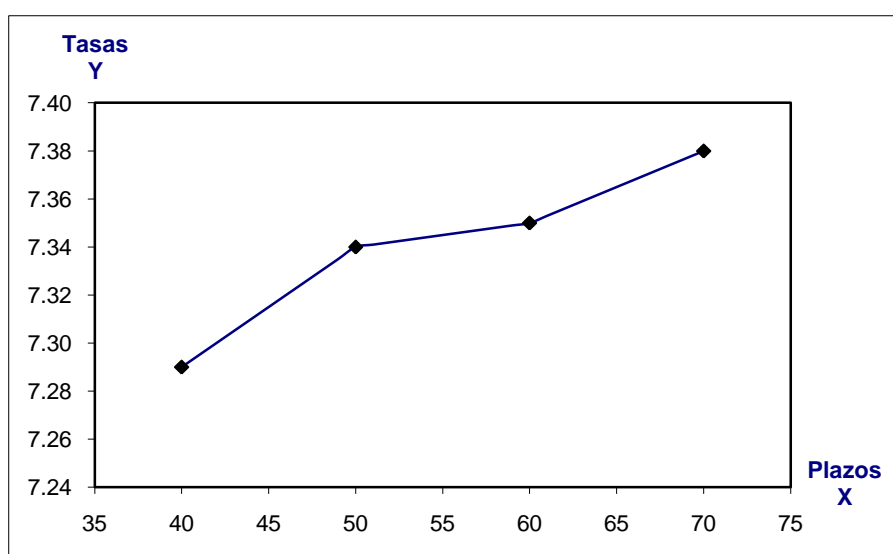
³ Las tasas de interés están multiplicadas por 100 para reducir las expresiones.

$$Y = \left(\frac{7.34 - 7.29}{50 - 40} \right) (X - 40) + 7.29 \quad \text{Para } 40 \leq X < 50$$

$$Y = \left(\frac{7.35 - 7.34}{60 - 50} \right) (X - 50) + 7.34 \quad \text{Para } 50 \leq X < 60$$

$$Y = \left(\frac{7.38 - 7.35}{70 - 60} \right) (X - 60) + 7.35 \quad \text{Para } 60 \leq X \leq 70$$

Obteniendo la siguiente gráfica:



Por otra parte, para extrapolar linealmente se utiliza la última recta generada con los datos conocidos. Por ejemplo, si se desea obtener el valor cuando $X = 75$ del ejercicio anterior, la extrapolación lineal es la siguiente:

$$Y = \left(\frac{7.38 - 7.35}{70 - 60} \right) (75 - 60) + 7.35 = 7.395$$

Sin embargo, no se recomienda utilizar la Extrapolación Lineal para tasas de interés, a menos que el valor del plazo sea muy cercano al valor conocido. Para extrapolar la estructura temporal de Tasas, se recomiendan otros modelos como el de Tasas forward constantes, el de Nelson-Siegel o el de Nelson-Siegel-Svensson.

6.2.2. Interpolación Cúbica con estimación lineal de Pendientes

El método de Interpolación cúbica con estimación lineal de pendientes consiste en la interpolación de n nodos conocidos, es decir, $(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), \dots, (X_n, Y_n)$, utilizando una familia de $n-1$ polinomios de tercer grado.

El polinomio de tercer grado para obtener Y en función de X , es:

$$Y = S_i(X) = a_i(X - X_i)^3 + b_i(X - X_i)^2 + c_i(X - X_i) + d_i$$

Donde el subíndice i , indica el polinomio de tercer grado que asocia a los nodos (X_i, Y_i) y (X_{i+1}, Y_{i+1}) . Por lo tanto, el objetivo es calcular los coeficientes a_i, b_i, c_i y d_i de cada polinomio a partir de los nodos conocidos.

De manera explícita la familia de los $n-1$ polinomios es:

$$Y = S(X) = \begin{cases} S_1(X) = a_1(X - X_1)^3 + b_1(X - X_1)^2 + c_1(X - X_1) + d_1 & \text{Para } X_1 \leq X \leq X_2 \\ S_2(X) = a_2(X - X_2)^3 + b_2(X - X_2)^2 + c_2(X - X_2) + d_2 & \text{Para } X_2 \leq X \leq X_3 \\ \dots & \dots \\ S_{n-1}(X) = a_{n-1}(X - X_{n-1})^3 + b_{n-1}(X - X_{n-1})^2 + c_{n-1}(X - X_{n-1}) + d_{n-1} & \text{Para } X_{n-1} \leq X \leq X_n \end{cases}$$

Se tienen $4n-4$ incógnitas (los coeficientes de cada polinomio) y se establecerán $4n-4$ condiciones a la curva, para contar con un sistema de ecuaciones del cual se obtengan los coeficientes de cada polinomio.

Propiedades de la curva

1.-Congruencia con los nodos originales: Cada polinomio debe pasar por los nodos o puntos originales que lo generaron, por lo que:

$$S_i(X_i) = Y_i \quad \text{Para } i = 1, \dots, n-1$$

Con lo que se obtienen $n-1$ condiciones.

2.-Continuidad: La curva debe ser continua, por lo que se incluye la condición de que el último valor del polinomio anterior i debe ser igual al primer valor del polinomio posterior $i+1$. Dicha condición se expresa de la siguiente forma:

$$S_i(X_{i+1}) = S_{i+1}(X_{i+1}) = Y_{i+1} \quad \text{Para } i = 1, \dots, n-2$$

$$S_{n-1}(X_n) = Y_n \quad \text{Para } i = n-1$$

Con lo que se obtienen $n-1$ condiciones.

3.-La curva debe ser derivable (suavidad en la curva): Para los nodos que se encuentren dentro de los nodos extremos, la derivada evaluada con el polinomio anterior debe ser igual a la derivada evaluada con el polinomio posterior:

$$S'_{i-1}(X_i) = S'_i(X_i) \quad \text{Para } i = 2, \dots, n-1$$

Donde la primera derivada está dada por $S'_i(X) = 3a_i(X - X_i)^2 + 2b_i(X - X_i) + c_i$

Con lo que se obtienen $n-2$ condiciones.

4.- Condiciones de Frontera: Las pendientes de la curva en los nodos extremos son definidas como la pendiente de cada recta formada por los dos primeros y los dos últimos nodos, respectivamente.

$$S'_1(X_1) = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \quad y \quad S'_{n-1}(X_n) = \frac{Y_n - Y_{n-1}}{X_n - X_{n-1}}$$

Con lo que se tienen 2 condiciones más.

5. Estimación lineal de pendientes: Para encontrar el valor con la que se igualan las derivadas de los nodos internos, se define a la pendiente como el promedio ponderado de las pendientes de las dos rectas formadas con los nodos adyacentes, siempre y cuando cuenten con el mismo signo, en caso contrario, la pendiente será igual a cero.

Para $i = 2, \dots, n-1$, el valor se obtiene a partir de:

$$S'_{i-1}(X_i) = \begin{cases} \frac{1}{3}m_{i-1,i} + \frac{2}{3}m_{i,i+1} & \text{Para } m_{i-1,i} * m_{i,i+1} > 0 \\ 0 & \text{Para } m_{i-1,i} * m_{i,i+1} \leq 0 \end{cases}$$

Donde:

$$m_{i,i+1} = \frac{Y_{i+1} - Y_i}{X_{i+1} - X_i}$$

Con lo que se obtienen $n-2$ condiciones.

Con las cinco propiedades anteriores se forma un sistema de $4n-4$ ecuaciones y $4n-4$ incógnitas, por lo que es posible encontrar los coeficientes de cada polinomio.

Para ilustrar de forma general las propiedades antes descritas, se ejemplificará el sistema de ecuaciones con tres puntos o nodos originales, lo cual genera un sistema de 8 ecuaciones con 8 incógnitas, dicho sistema sería de la siguiente forma:

Primera propiedad, $S_i(X_i) = Y_i$

1ª ecuación: $S_1(X_1) = a_1(X_1 - X_1)^3 + b_1(X_1 - X_1)^2 + c_1(X_1 - X_1) + d_1 = d_1 = Y_1$

2ª ecuación: $S_2(X_2) = a_2(X_2 - X_2)^3 + b_2(X_2 - X_2)^2 + c_2(X_2 - X_2) + d_2 = d_2 = Y_2$

Segunda propiedad, $S_i(X_{i+1}) = Y_{i+1}$

3ª ecuación: $S_1(X_2) = a_1(X_2 - X_1)^3 + b_1(X_2 - X_1)^2 + c_1(X_2 - X_1) + d_1 = Y_2$

4ª ecuación: $S_2(X_3) = a_2(X_3 - X_2)^3 + b_2(X_3 - X_2)^2 + c_2(X_3 - X_2) + d_2 = Y_3$

Tercera propiedad, $S'_{i-1}(X_i) = S'_i(X_i)$

Al ser tres nodos, solamente se tiene un nodo interior, en el que la derivada del polinomio anterior y el posterior deben ser iguales.

$$5^{\text{a}} \text{ ecuación: } S_1'(X_2) = S_2'(X_2)$$

Es decir,

$$3a_1(X_2 - X_1)^2 + 2b_1(X_2 - X_1) + c_1 = c_2$$

Cuarta propiedad, condiciones de frontera

$$6^{\text{a}} \text{ ecuación: } S_1'(X_1) = 3a_1(X_1 - X_1)^2 + 2b_1(X_1 - X_1) + c_1 = c_1 = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

$$7^{\text{a}} \text{ ecuación: } S_2'(X_3) = 3a_2(X_3 - X_2)^2 + 2b_2(X_3 - X_2) + c_2 = \frac{Y_3 - Y_2}{X_3 - X_2}$$

Quinta propiedad, estimación lineal de pendientes

$$8^{\text{a}} \text{ ecuación: } S_1'(X_2) = 3a_1(X_2 - X_1)^2 + 2b_1(X_2 - X_1) + c_1 = \frac{1}{3} \left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \right) + \frac{2}{3} \left(\frac{Y_3 - Y_2}{X_3 - X_2} \right)$$

El sistema de ecuaciones se puede expresar de manera matricial de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ (X_2 - X_1)^3 & (X_2 - X_1)^2 & X_2 - X_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & (X_3 - X_2)^3 & (X_3 - X_2)^2 & X_3 - X_2 & 1 \\ 3(X_2 - X_1)^2 & 2(X_2 - X_1) & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 3(X_3 - X_2)^2 & 2(X_3 - X_2) & 1 & 0 \\ 3(X_2 - X_1)^2 & 2(X_2 - X_1) & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ b_1 \\ c_1 \\ d_1 \\ a_2 \\ b_2 \\ c_2 \\ d_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \\ Y_2 \\ Y_3 \\ 0 \\ S_1'(X_1) \\ S_2'(X_3) \\ S_1'(X_2) \end{bmatrix}$$

Donde:

$$S_1'(X_1) = \frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1}$$

$$S_2'(X_3) = \frac{Y_3 - Y_2}{X_3 - X_2}$$

$$S_1'(X_2) = \frac{1}{3} \left(\frac{Y_2 - Y_1}{X_2 - X_1} \right) + \frac{2}{3} \left(\frac{Y_3 - Y_2}{X_3 - X_2} \right)$$

Una vez que se cuente con este sistema de ecuaciones de la forma $Ax = b$ es posible utilizar algún método matemático para encontrar su solución, por ejemplo, utilizar descomposición triangular, matrices inversas, etc.

Al resolver el sistema de ecuaciones anterior se determinan los coeficientes de los dos polinomios y por lo tanto la curva completa.

Ejemplo

Se desea obtener la función de la estructura temporal de tasas a partir de la siguiente información:

Plazo	Tasa de interés
1	7.00
7	7.50
28	8.00

Debido a que se tiene información de 3 nodos, se determinarán los coeficientes de dos polinomios de grado 3, lo que implica resolver un sistema de ecuaciones con 8 incógnitas. Por comodidad se trabajarán con las tasas multiplicadas por 100.

Las 8 ecuaciones expresadas en forma matricial son:

$$\begin{bmatrix}
 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\
 216 & 36 & 6 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 9261 & 441 & 21 & 1 \\
 108 & 12 & 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 0 \\
 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & 1323 & 42 & 1 & 0 \\
 108 & 12 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0
 \end{bmatrix}
 \begin{bmatrix}
 a_1 \\
 b_1 \\
 c_1 \\
 d_1 \\
 a_2 \\
 b_2 \\
 c_2 \\
 d_2
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 7 \\
 7.5 \\
 7.5 \\
 8 \\
 0 \\
 0.08333 \\
 0.02381 \\
 0.04365
 \end{bmatrix}$$

Al resolver el sistema de ecuaciones⁴, se obtienen los coeficientes de los polinomios.

Coeficientes del primer polinomio		Coeficientes del segundo polinomio	
$a_1 =$	-0.001102	$a_2 =$	0.000045
$b_1 =$	0.006614	$b_2 =$	-0.001890
$c_1 =$	0.083333	$c_2 =$	0.043651
$d_1 =$	7	$d_2 =$	7.5

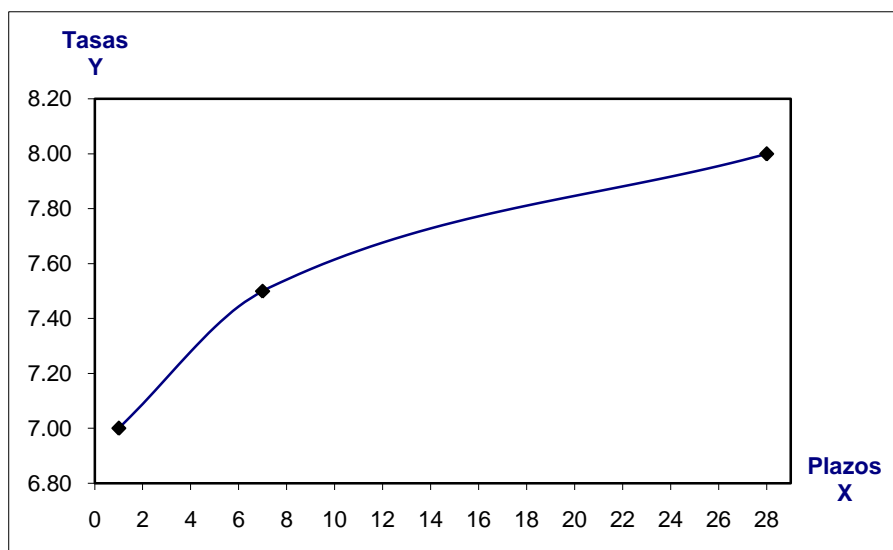
Por lo tanto, los polinomios son:

$$S_1(X) = -0.001102 (X-1)^3 + 0.006614 (X-1)^2 + 0.083333 (X-1) + 7$$

$$S_2(X) = 0.000045 (X-7)^3 - 0.001890(X-7)^2 + 0.043651(X-7) + 7.5$$

Gráficamente, los polinomios generan la siguiente curva:

⁴ En este caso se utilizó la Matriz inversa.



6.2.3. Uso de tasas equivalentes

Debido a que las referencias de mercado usadas para construir la parte corta de las curvas soberanas en colones y en dólares tienen un plazo de aproximadamente 30 días (plazo no estandarizado), se emplea el método de tasas equivalentes para conocer la tasa correspondiente a un día. El nodo obtenido con este método se interpola junto con los demás nodos para obtener la estructura temporal de tasas de interés completa.

Bajo el supuesto que tenemos una cotización de mercado a 30 días y queremos conocer la tasa equivalente a 1 día, este método se aplica de la siguiente forma:

$$r_1 = \left[\left(1 + r_{30} \frac{30}{360} \right)^{\frac{1}{30}} - 1 \right] \frac{360}{1}$$

Donde:

r_1 Tasa de rendimiento a un día (tasa equivalente de 30 días a 1 día)

r_{30} Tasa de rendimiento a 30 días (información de mercado)

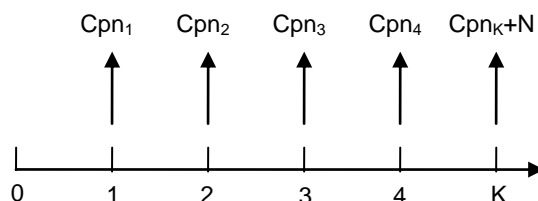
6.3. Bootstrapping

En diversos mercados el plazo mayor de los bonos cupón cero es de un año, por lo que se necesita un algoritmo que permita estimar la curva cero para plazos mayores. El método "Bootstrapping" consiste en estimar de manera recursiva niveles de tasas cero a partir de la información de los precios de los bonos o de las Yield, para ambos casos, generalmente, se cuenta con información a largo plazo.

El principal supuesto del “Bootstrapping” es el siguiente: el precio de un bono es igual al valor presente de sus flujos de efectivo utilizando las tasas cero para el descuento. Por su parte, el Precio Sucio del bono se obtiene de acuerdo a la cotización de cada instrumento, puede ser con el Precio Limpio o con Yield.

Flujos de Efectivo

Un bono de tasa fija con pago del Valor Nominal a vencimiento, tiene la siguiente estructura de pagos:



Donde:

$$Cpn_i = N \cdot r_c \cdot TF(T_{i-1}, T_i, CD)$$

Cpn_i	Pago del cupón i
r_c	Tasa cupón (% m CD), (tasa neta si el instrumento es sujeto a retención de impuestos)
m	Composición de la tasa ⁵ . Es igual al número de cupones al año.
CD	Convención de días ⁶ . Por lo general es 30/360 o actual/360
$TF(t_1, t_2, CD)$	Fracción de año ⁷ entre el tiempo t_1 y t_2 con la convención de días CD
K	Número de cupones pendientes de pago
N	Valor Nominal
t	Fecha de valoración
T_0	Fecha inmediata anterior de pago de cupón con respecto a t . En caso de no existir, se considera la fecha de emisión
T_i	Fechas de pago del cupón i . Para $i = 1, \dots, K$

1) Precio Sucio del Bono

Para obtener el precio sucio de un bono, se consideran dos formas:

- **Valor presente de los flujos de efectivo utilizando la Yield para el descuento**

El Precio Sucio del bono se obtiene de acuerdo a la siguiente expresión:

$$PS = \sum_{i=1}^K \frac{Cpn_i}{\left(1 + \frac{Y}{m}\right)^{m \cdot TF(t, T_i, CD)}} + \frac{N}{\left(1 + \frac{Y}{m}\right)^{m \cdot TF(t, T_K, CD)}}$$

Donde:

PS	Precio Sucio
Y	Yield al vencimiento (% m CD)

⁵ Se explica detalladamente en la sección 4.1 “Periodo de Composición, Convención de días y Fracciones de año”.

⁶ *Íbidem*

⁷ *Íbidem*

Es importante destacar que casi siempre la tasa cupón y la Yield tienen la misma composición y convención de días.

- **Precio Limpio cotizado en el mercado**

El Precio Sucio del bono se obtiene de acuerdo a la siguiente expresión:

$$PS = PL + ID$$
$$PS = PL + N \cdot r_C \cdot TF(T_0, t)$$

Donde:

PS Precio Sucio
PL Precio Limpio
ID Intereses devengados

2) Valor Presente de los Flujos de efectivo con tasas cero

Por otro lado, se tienen las tasas cero hasta el periodo K-1, provenientes de las observaciones de los precios de los bonos cupón cero, con éstas es posible calcular un "precio sucio parcial" del bono, dejando como única incógnita la tasa cero del último flujo del periodo K.

Las siguientes expresiones se utilizan de acuerdo a la composición de las tasas de la curva cero.

- Tasa simple (% SMP CD)

$$PS = \sum_{i=1}^{K-1} \frac{Cpn_i}{1 + r_i \cdot TF(t, T_i, CD)} + \frac{Cpn_K + N}{1 + r_K \cdot TF(t, T_K, CD)}$$

- Tasa compuesta m veces al año (% m CD)

$$PS = \sum_{i=1}^{K-1} \frac{Cpn_i}{\left(1 + \frac{r_i}{m}\right)^{m \cdot TF(t, T_i, CD)}} + \frac{Cpn_K + N}{\left(1 + \frac{r_K}{m}\right)^{m \cdot TF(t, T_K, CD)}}$$

- Tasa continua (% CONT CD)

$$PS = \sum_{i=1}^{K-1} Cpn_i \cdot e^{-r_i \cdot TF(t, T_i, CD)} + (Cpn_K + N) \cdot e^{-r_K \cdot TF(t, T_K, CD)}$$

3) Supuesto de Equivalencia

El Precio Sucio es igual al Valor Presente de los flujos de efectivo con tasas cero, por lo que la única incógnita es la tasa cero del último flujo de efectivo, denotada por r_K .

$$\boxed{\text{Precio Sucio}} = \boxed{\text{Valor Presente con las tasas cero conocidas}} + \boxed{\text{Valor Presente del último Flujo de Efectivo con la tasa cero NO conocida}}$$



OBJETIVO: Encontrar la tasa cero que iguale al precio

Dependiendo de la distinta composición de tasas se tienen las siguientes ecuaciones para r_K .

- Tasa simple (% SMP CD)

$$r_K = \frac{1}{TF(t, T_K, CD)} \cdot \left(\frac{Cpn_K + N}{PS - \sum_{i=1}^{K-1} \frac{Cpn_i}{1 + r_i \cdot TF(t, T_i, CD)}} - 1 \right)$$

- Tasa compuesta m veces al año (% m CD)

$$r_K = m \cdot \frac{\left(\frac{Cpn_K + N}{PS - \sum_{i=1}^{K-1} \frac{Cpn_i}{\left(1 + \frac{r_i}{m}\right)^{m \cdot TF(t, T_i, CD)}}} \right)^{\frac{1}{m \cdot TF(t, T_K, CD)}} - 1}{1}$$

- Tasa continua (% CONT CD)

$$r_K \cdot = \frac{1}{TF(t, T_K, CD)} \cdot \ln \left[\frac{Cpn_K + N}{PS - \sum_{i=1}^{K-1} Cpn_i \cdot e^{-r_i \cdot TF(t, T_i, CD)}} \right]$$

De esta forma, la estructura temporal de las tasas cero se tenía hasta el periodo k-1 y fue ampliada un periodo más al despejar r_K . Si se cuenta con la información de varios bonos, el "Bootstrapping" se aplica de manera consecutiva para encontrar las tasas cero hasta el último flujo de efectivo del bono con mayor vencimiento.

Es común que en la aplicación del "Bootstrapping" no se cuente con todas las tasas cero en cada pago de cupón del bono, en estos casos, se realiza una interpolación lineal⁸ para las tasas cupón cero de las que no se tiene información, utilizando la última tasa cero conocida y la

⁸ La Interpolación lineal se explica detalladamente en la sección 4.2 "Métodos de Interpolación", sección A.

tasa cero al vencimiento del bono, de esta forma, sólo se tiene como incógnita que es la tasa cero al vencimiento del bono, ya que las demás tasas cero dependen linealmente de este valor.

Para calcular la tasa cero al vencimiento del bono es necesario utilizar un proceso iterativo de estimación no lineal, tal que cumpla con el supuesto de equivalencia, es decir, que el Valor Presente con tasas cero sea igual al Precio Sucio del bono.

Ejemplo

Se tiene un bono de Tasa Fija que cotiza con Yield, con las siguientes características:

Símbolo	Definición	Ejemplo
t	Fecha de Valoración	2008/01/29
T _K	Fecha de Vencimiento	2009/05/15
K	Número de cupones pendientes de pago en t	3
T ₀	Fecha inmediata anterior de pago de cupón con respecto a t. En caso de no existir, se considera la fecha de emisión	2007/11/15
T _i	Fechas de Pago del cupón i. Para i = 1, ..., K	T ₁ = 2008/05/15 T ₂ = 2008/11/15 T ₃ = 2009/05/15
N	Valor Nominal	100
Y	Yield al vencimiento. La composición de la tasa se relaciona con las fechas de pago de los cupones	5.80 % SEM 30/360
m	El número de veces al año que se compone la Yield	2
r _c	Tasa cupón. La composición de la tasa se relaciona con las fechas de pago de los cupones (tasa neta si el instrumento es sujeto a retención de impuestos)	6.00 % SEM 30/360

Flujos de Efectivo

Se tienen los siguientes pagos de cupón y Valor Nominal:

$$Cpn_1 = 100 \cdot 0.060 \cdot \frac{180}{360} = 3.0000, \quad Cpn_2 = 100 \cdot 0.060 \cdot \frac{180}{360} = 3.0000 \quad y$$

$$Cpn_3 = 100 \cdot 0.060 \cdot \frac{180}{360} = 3.0000$$

$$N = 100$$

Valor Presente de los Flujos de efectivo con Yield

$$PS = \frac{3.0000}{\left(1 + \frac{0.0580}{2}\right)^{2 \cdot \frac{106}{360}}} + \frac{3.0000}{\left(1 + \frac{0.0580}{2}\right)^{2 \cdot \frac{286}{360}}} + \frac{103.0000}{\left(1 + \frac{0.0580}{2}\right)^{2 \cdot \frac{466}{360}}} = 101.468952$$

Valor Presente de los Flujos de efectivo con tasas cero

Para este ejemplo, la composición de la tasa y la convención de días para las tasas cero es SMP actual/360, con los siguientes datos:

$$r_1 = 5.50\%$$

$$r_2 = 5.70\%$$

Por lo tanto, se tiene

$$PS = \frac{3.0000}{1 + 0.0550 \cdot \frac{107}{360}} + \frac{3.0000}{1 + 0.0570 \cdot \frac{291}{360}} + \frac{103.0000}{1 + r_3 \cdot \frac{472}{360}}$$

Supuesto de Equivalencia

Utilizando el Valor Presente con Yield y con tasas cero se tiene la siguiente ecuación:

$$101.468952 = \frac{3.0000}{1 + 0.0550 \cdot \frac{107}{360}} + \frac{3.0000}{1 + 0.0570 \cdot \frac{291}{360}} + \frac{103.0000}{1 + r_3 \cdot \frac{472}{360}}$$

Finalmente, el valor de r_3 es,

$$r_3 = \frac{360}{472} \cdot \left(\frac{103.0000}{101.468952 - 5.819610} - 1 \right) = 0.058614$$

6.4. Modelos Financieros

6.4.1. Forwards de Tipo de Cambio

6.4.1.1. Características Generales

El Forward de tipo de cambio es un contrato privado entre dos partes, en la que una de ellas se compromete a comprar (vender) a la otra parte, una determinada cantidad de divisas en una fecha futura y a un tipo de cambio acordado al momento de realizar el contrato.

Tipo de Instrumento:	Forward
Emisor:	Bancos, Corporativos, y/o Puestos de Bolsa
Tipo de Mercado:	Mercado de Derivados
Mercado donde cotiza:	Mercado Extrabursátil (OTC)
Fuentes de Información:	Brokers Electrónicos Sistemas de Información Electrónicos Bolsa Nacional de Valores Contrapartes de la Operación Banco Central de Costa Rica
Tipo de Valor:	FWD
Valor Nominal:	No aplica
Tipo de Cambio	Promedio Ponderado del MONEX (BCCR)
Curva utilizada en la valuación:	Curva forward extranjera (Libor) y forward doméstica (soberana)

6.4.2. Proceso de Valuación

	Proceso	Fórmula
1.	Utilizando las curvas FORWARD domésticas y extranjeras y el tipo de cambio de referencia, se obtiene el valor futuro de éste a la fecha de vencimiento del contrato.	F-1
2.	El monto de entrega del contrato es igual al nocional multiplicado por la diferencia entre el valor futuro del tipo de cambio y el tipo de cambio pactado en el contrato, dicha diferencia es determinada a la fecha de vencimiento del contrato.	F-2
3.	El precio de valuación del contrato forward es igual al valor presente del monto de entrega.	F-3

6.4.3. Algoritmos

Fórmula 1

$$ME = M * (FWD - TCP)$$

Donde:

ME	Monto de Entrega
M	Monto de referencia del contrato forward (nocional)
FWD	Tipo de cambio forwad
TCP	Tipo de cambio pactado en el contrato forward

Fórmula 2

$$PV = \frac{ME}{1 + TR_n \frac{n}{360}}$$

Donde:

PV	Precio de valuación
ME	Monto de Entrega
n	Número de de días por vencer del contrato
TR _n	Tasa doméstica implícita con plazo de n días, asociada a contratos forward de tipos de cambio. Esta tasa se obtiene de la curva correspondiente.

Fórmula 3

$$FWD = FX_n \times \frac{1 + fwd_Tdom_n \frac{n}{360}}{1 + fwd_Text_n \frac{n}{360}}$$

Donde:

FWD	Valor forward del tipo de cambio
FX _n	Tipo de cambio de referencia
n	Número de de días por vencer del contrato
T _{dom_n}	Forward de la Tasa doméstica con plazo igual a los n días del contrato.
T _{ext_n}	Forward de la Tasa extranjera con plazo igual a los n días del contrato.