



REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD CATÓLICA ANDRÉS BELLO
CARACAS

**ESTIMACIÓN DE LA ESTRUCTURA TEMPORAL DE LAS TASAS DE
INTERÉS PARA EL PERÍODO 2017-2018 DE LOS BONOS EN DÓLARES
EMITIDOS POR VENEZUELA (1999-2017) UTILIZANDO EL MODELO
TEÓRICO DE NELSON-SIEGEL-SVENSSON**

Autores:

Ramírez, María Antonieta V-23.518.047

Tonelli, Fernando V-24.223.965

Tutor académico:

Torres, José Antonio V-4.348.943

Caracas, 31 de octubre del 2017

AGRADECIMIENTOS

A nuestros padres, por el apoyo incondicional,

A José Antonio Torres, por su dedicación y paciencia durante todo el proceso de investigación,

A Carlos Encinosa, por su tiempo y dedicación para ayudarnos ante cualquier duda o situación,

*Al Colegio San Ignacio de Loyola por sus 13 años de formación en la búsqueda del magis
ignaciano,*

*Por último, a la Universidad Católica Andrés Bello, por brindarnos las herramientas necesarias
para crecer profesionalmente.*

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	II
ÍNDICE	II
INTRODUCCIÓN	VI
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA	1
1.1 CONTEXTUALIZACIÓN DEL PROBLEMA	1
1.2 HIPÓTESIS	3
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	4
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA.....	5
CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL.....	7
2.1 ANTECEDENTES.....	7
2.1.1 THE NELSON-SIEGEL-SVENSSON APPROACH.....	7
2.1.2 YIELD CURVE MODELING AT THE BANK OF CANADA	8
2.1.3 BEST FIT MODEL FOR YIELD CURVE ESTIMATION	8
2.1.4 ESTIMACIÓN DE LA ESTRUCTURA TEMPORAL DE LAS TASAS DE INTERÉS: CASO VENEZOLANO	9
2.1.5 ESTIMATING AND INTERPRETING FORWARD INTEREST RATES: SWEEDEN 1992-1994.....	10
2.1.6 ZERO-CUPON YIELD CURVES: TECHNICAL DOCUMENTATION.....	10
2.2 BASES TEORICAS.....	10
2.2.1 Bono	11
2.2.2 Clasificación de los bonos.....	12
2.2.3 Precio y valoración	13

2.2.4 Rendimiento y tasas de interés	16
2.2.5 Razonamiento teórico del modelo Nelson-Siegel-Svensson	19
2.2.6 Teorías de las estructuras de plazo	25
2.3 CONCEPTOS BÁSICOS	29
2.4 METODOLOGÍA	30
2.2.2 Variables.....	30
2.2.2 Fuentes	30
2.2.3 Modelo	31
CAPÍTULO III MARCO METODOLÓGICO	33
3.1 TIPO DE INVESTIGACIÓN	33
3.2 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	34
3.3 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	34
3.4 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	35
3.5 TÉCNICAS DE PROCESAMIENTO Y ANÁLISIS	35
3.6 PROCEDIMIENTOS DE LA INVESTIGACIÓN	36
3.6.1 Interpolación mediante polinomio de LaGrange.....	36
3.6.2 Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO)	38
3.6.3 Minimización de Newton.....	39
CAPÍTULO IV: RESULTADOS	41
4.1 DESCRIPCIÓN Y ANÁLISIS DE LA DATA UTILIZADA.....	41
4.2 ESTIMACIÓN DE FACTORES DE DESCUENTO Y CURVA DE RENDIMIENTO MEDIANTE MÍNIMOS CUADRADOS ORDINARIOS (MCO)	44
4.3 ESTIMACIÓN E INTERPRETACIÓN DE LOS PARÁMETROS DEL MODELO NELSON-SIEGEL-SVENSSON	46

4.4	ESTIMACIÓN DE LA ESTRUCTURA TEMPORAL DE TASAS DE INTERÉS PARA TASAS <i>SPOT</i> Y <i>FORWARD</i>	48
4.5	ESTIMACIÓN DE LAS TASAS DE RENDIMIENTO <i>SPOT</i> PARA EL PERIODO 2017-2018	51
CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		53
BIBLIOGRAFÍA.....		56
ÍNDICE DE ANEXOS.....		61

INTRODUCCIÓN

El mercado mundial de bonos abarca una capitalización de más de 100 billones de dólares estadounidenses. Esto lo convierte en uno de los principales mercados al cual recurren gobiernos y corporaciones para cumplir sus objetivos de financiamiento. Este mercado se mueve principalmente a través de instrumentos financieros llamados bonos, los cuales son definidos como “títulos de deuda a largo plazo, a través de los cuales el emisor acepta pagar un monto estipulado de interés durante un periodo específico y rembolsar un monto fijo del principal a su vencimiento” (Gitman, et al., 2009). Un aspecto primordial en este mercado ha sido la tasa de interés que se le paga al inversionista, siendo esta la medida financiera principal para evaluar la ganancia que tiene un inversionista o el costo que tiene un emisor. Las tasas de interés fluctúan en el tiempo, no se mantienen fijas. Más bien, un mismo emisor puede tener diferentes tasas de interés dependiendo del vencimiento de sus obligaciones, esto se determina mediante la estructura temporal de las mismas.

La Estructura Temporal de Tasas de Interés (ETTI) se conoce comúnmente bajo el nombre de su representación gráfica, la llamada curva de rendimiento. Esta según Hidalgo (2011), “muestra la relación que existe en una determinada fecha, entre los rendimientos de una clase particular de títulos valores y el tiempo que falta para su vencimiento”. Por lo tanto, podemos ver que la curva nos da una visión a lo largo del tiempo de los rendimientos a obtener de los diferentes bonos emitidos por un mismo emisor. Gitman, et al. (2009) indica que podemos evaluar la pendiente y/o forma de esta curva para estimar las expectativas de riesgo que le asigna

el mercado al emisor de los bonos, al ver si demanda mayores rendimientos a corto plazo o a largo plazo.

Al estudio de la curva de rendimiento se le ha dedicado una extensa literatura a lo largo de los años, ya que la estimación correcta a futuro de la misma es de amplia utilidad para la economía y finanzas. Por ejemplo, en el área de la economía, la Estructura Temporal de Tasas de Interés (ETTI) de los bonos soberanos tiene impacto en el diseño de la política económica de los países, ya que estos son emitidos por el Banco Central. Para las finanzas, su correcta estimación puede generar oportunidades de inversión ya que permite determinar el valor de instrumentos derivados y de renta fija.

Hay diferentes métodos y modelos que buscan para estimar la curva de rendimiento, cada uno con ventajas y desventajas. Para realizar este estudio se escogió la extensión del modelo de Nelson-Siegel, con base en los aportes de Svensson, el cual propone una aproximación matemática al problema de la estimación de la ETTI. Este modelo busca calcular, con base en las tasas de descuento, la tasa de rendimiento implícita de los bonos soberanos para luego obtener la tasa *forward* y la tasa *spot*. Para este estudio, decidimos analizar este modelo ya que diferentes académicos han demostrado que sus estimaciones presentan un alto grado de ajuste a la data de los países, es un modelo utilizado en varios bancos centrales en el mundo, especialmente en países europeos.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA

1.1 Contextualización del problema

Al momento de analizar la Estructura Temporal de Tasas de Interés (ETTI) de la deuda venezolana, se encuentran limitaciones para el análisis de la estructura de las tasas, como el hecho de tener vencimientos inexistentes en la data tal como lo explica Chirinos (2011). En general, la información que nos suministran herramientas como Reuters o Bloomberg sobre los bonos soberanos o de empresas privadas, es insuficiente para determinar la estructura de tasas de interés de los mismos. El cálculo de la ETTI se hace más difícil, debido a que los bonos soberanos de nuestro país presentan características específicas que complican su estimación.

Las tasas *spot* y las tasas *forward* no son observables, sino tasas implícitas que deben calcularse mediante la aplicación de un modelo específico. Esto nos lleva al siguiente aspecto y es que existen diversos métodos que permiten calcular estas dos tasas y se ha comprobado que hay unos métodos más precisos que otros. Es por esta razón que se escogió el modelo Nelson-Siegel-Svensson, ya que se ha demostrado que es una de las más eficientes metodologías (por razones que son explicadas más adelante), para calcular las tasas implícitas necesarias para determinar la ETTI, obteniendo un buen ajuste.

Adicionalmente, la data de los bonos soberanos venezolanos presenta vencimientos faltantes lo cual es un obstáculo para la aplicación de los modelos. Esto significa que no existe un bono que tenga un vencimiento que corresponda con cada año, lo cual quiere decir que no se

emitieron bonos con vencimiento para todos los años. Por ejemplo, un bono soberano tiene fecha de vencimiento para el año 2019 y el que le sigue tiene fecha de vencimiento para el año 2021, el año 2020 falta. Esta situación es un inconveniente para el cálculo de la ETTI debido a que, si no se tienen todos los vencimientos para cada año, no se puede estructurar la matriz de pago de los flujos de caja para cada vencimiento, la cual es necesaria para calcular la tasa de descuento que luego será usada para estimar la tasa de interés usando el modelo de Nelson-Siegel-Svensson.

Este trabajo de grado busca realizar una construcción actualizada de la Estructura Temporal de Tasas de Interés (ETTI) y obtener una proyección a futuro de dicha estructura con base en la estimada para el tiempo actual. El modelo de Nelson-Siegel-Svensson no realiza proyecciones de las tasas de interés. Sin embargo, Svensson (1994) asume que las tasas *forward*, debido a que ellas reflejan las expectativas de los inversionistas, eventualmente se convertirán en las tasas *spot* futuras. Svensson (1994) no especifica en qué momento esto ocurrirá exactamente. Por esta razón, esta investigación tiene como objetivo encontrar un método alternativo para calcular las tasas *spot* esperadas para el periodo siguiente.

En esta tesis tiene como objetivo generar una proyección a futuro de la Estructura Temporal de Tasas de Interés (ETTI) de los bonos venezolanos denominados en divisas a través de la utilización del modelo de Nelson-Siegel-Svensson basándonos en la teoría de las expectativas imparciales. Este modelo tiene un enfoque matemático para calcular las tasas de interés *forward* y las tasas de interés *spot*, en base en la utilización de un factor de descuento y la minimización del error de precios y de tasas de interés.

Otros enfoques son ampliamente usados principalmente para obtener la estructura futura de tasas de interés. Algunos pueden ser el modelo propuestos por Vasicek, que se basa en factores de riesgo, tiempo y equilibrio de mercado; y los modelos propuestos por Diebold, Rudebusch, y Auroba que incluyen en su análisis factores macroeconómicos.

Kazemie (2014) demuestra en su estudio que al comparar el modelo Nelson-Siegel-Svensson con metodologías como interpolación lineal y *bootstrapping*, se puede concluir que el modelo de Nelson-Siegel-Svensson presenta una mejor estimación general de la curva de rendimiento, siendo esta afirmación valida únicamente para los países de la zona euro. También Aljinović et al. (2012) valida la capacidad de proyección de este modelo, al demostrar que presenta un R^2 mayor al 90% en el momento de la aplicación del modelo a la curva de rendimientos de los bonos emitidos por Croacia. Este modelo, además de ser validado por los distintos académicos que han demostrado su alta capacidad de predicción, es altamente usado por bancos centrales como los de Bélgica, Francia, y Noruega para la estimación de la estructura temporal de las tasas de interés de sus respectivos países.

1.2 Hipótesis

La aplicación del modelo Nelson-Siegel-Svensson estimará la Estructura Temporal de Tasas de Interés (ETTI) para los bonos soberanos emitidos en dólares por la República Bolivariana de Venezuela.

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Estimar la Estructura Temporal de Tasas de Interés (ETTI) de los bonos soberanos en dólares emitidos por la República Bolivariana de Venezuela construyendo la relación entre los rendimientos y el vencimiento en un tiempo futuro utilizando el modelo de Nelson-Siegel-Svensson.

1.3.2 Objetivos específicos

- Evaluar la adecuación de la data para la utilización del modelo de Nelson-Siegel-Svensson para los bonos emitidos por la República Bolivariana de Venezuela.
- Estimar la Estructura Temporal de las Tasas de Interés (ETTI) para los bonos emitidos en dólares por la República Bolivariana de Venezuela utilizando la metodología de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y el modelo Nelson-Siegel-Svensson.
- Interpretar los resultados de las curvas *forward* y *spot* obtenidas a través de la aplicación del modelo Nelson – Siegel – Svensson.
- Relacionar las teorías de estructura de plazo con los resultados obtenidos del modelo Nelson-Siegel-Svensson.
- Calcular la Estructura Temporal de las Tasas de Interés (ETTI) para los bonos emitidos por la República Bolivariana de Venezuela para el periodo comprendido

entre octubre de 2017 y octubre 2018 utilizando el modelo Nelson – Siegel – Svensson.

1.4 Justificación e importancia

La curva de rendimiento es un factor de alta importancia tanto para el mundo financiero como para los aspectos macroeconómicos de los países. Desde el punto de vista macroeconómico, Chirinos y Pagliacci (2014) encontraron que para el caso venezolano los distintos shocks macroeconómicos se ven reflejado en la ETTI de corto plazo; determinando que los shocks a la oferta causan un aumento de los rendimientos y los shocks a la demanda una reducción de los mismos. PIMCO (2004) da una visión financiera de la aplicación de la curva de rendimiento, al explicar que esta es usada como base para el cálculo de otros instrumentos financieros, especialmente de los instrumentos derivados, tales como los futuros. También estimaciones futuras de la curva de rendimiento pueden ser utilizadas para la elaboración de estrategias de inversión con base en los movimientos esperados de dichas curvas.

Si bien la curva de rendimiento tiene varias aplicaciones, esta nos otorga una visión a tiempo presente. Si se lograra una estimación acertada de la ETTI para un futuro, se podrían realizar predicciones sobre los aspectos macroeconómicos. Por esto existe una rica literatura acerca de la estimación de la curva de rendimientos futura, ya que su correcta predicción puede llevarnos a prevenir fenómenos macroeconómicos o a generar oportunidades de inversión en los mercados financieros.

El primer reto para determinar las curvas de rendimiento es la aplicación de un modelo financiero que se ajuste a la forma de las mismas. Para la realización de esta tesis se decidió aplicar el propuesto por Svensson (1994) que viene siendo una extensión del modelo Nelson-Siegel, quienes adaptaron una función matemática a la curva de rendimientos. Se eligió este modelo ya que, según el BID (2005), es ampliamente utilizado por bancos centrales a nivel mundial, entre ellos los de Alemania, Suecia, Suiza, España, entre otros. Para el caso venezolano citamos a Chirinos y Moreno (2011): “Se encontró que el modelo de Svensson ofrece el mejor ajuste a los rendimientos observados, empleando la minimización de los errores de los rendimientos al cuadrado como criterio de comparación”, justificando así la aplicación del modelo Nelson-Siegel-Svensson para el caso de los bonos de Venezuela.

Una vez determinadas las curvas de rendimiento en su forma *spot* y *forward*, existen diversas teorías aceptadas que explican las formas que estas pueden tomar en un futuro. En esta tesis se realizó una proyección de la curva *spot*, la cual asume como verdaderos los supuestos de la teoría de las expectativas imparciales; la cual según Alexander et al (2003), es la teoría de la Estructura Temporal de Tasas de Interés (ETTI) que permite relacionar las tasas *forward* y *spot* para realizar una proyección a futuro asumiendo que existe el equilibrio en el mercado.

CAPÍTULO II: MARCO REFERENCIAL

Luego de establecer el planteamiento del problema de la investigación, se presenta el marco referencial de la investigación. Este capítulo contiene la revisión de enfoques, teorías y metodologías, así como de investigaciones realizadas que sirven de marco conceptual y metodológico para el desarrollo de esta tesis.

2.1 Antecedentes

2.1.1 *The Nelson-Siegel-Svensson approach*

El documento realizado por Cabrera (2014), explica a detalle el modelo de Nelson-Siegel-Svensson con la finalidad de comprender el comportamiento de la ETTI. Este trabajo aporta a nuestra investigación la explicación de la definición de la estructura de las tasas de interés o curva de rendimiento. A través de la aplicación del modelo de Nelson-Siegel-Svensson, estima la curva *forward* y la curva *spot*. También se explican las razones por las cuales esta metodología es la más usada en comparación con otras que igualmente se ha encargado de modelar la curva de rendimiento. Además, abarca la definición, uso y gráfica de los parámetros del modelo con lo cual sabemos que el parámetro β_0 indica el nivel de la curva, β_1 indica la inclinación, β_2 y β_3 indican la curvatura de la línea; como también las restricciones a las cuales nos enfrentamos para el cálculo del modelo. Por último, en este documento se explica cómo mediante el modelo de Nelson-Siegel-Svensson se identifican las infinitudes de retornos para vencimientos que no se podían observar a simple vista.

2.1.2 Yield Curve Modeling at the Bank of Canada

Este reporte, realizado por David Bolder y David Stréliski (1999), tiene como objetivo principal desarrollar un marco de referencia el cual será utilizado para construir la data histórica de los bonos cero cupón y las curvas de rendimiento a futuro estimadas de los precios de los instrumentos financieros del gobierno de Canadá. Este trabajo ofrece un marco para la comprensión del significado y utilidad de: bonos cero cupón, factor de descuento, la tasa *forward*, la tasa *spot* y la tasa *forward* instantánea, las cuales son variables necesarias para construir el modelo Nelson-Siegel-Svensson. Por otro lado, resalta la importancia de las tasas de interés continuas en el modelaje al relacionar la tasa instantánea *forward* y la tasa cero cupón con los precios de los bonos. Este trabajo proporciona elementos para el mejor entendimiento de la base de cálculo del modelo. Este se calcula dada una fecha específica que es escogida arbitrariamente por los investigadores. En este trabajo se explican detalladamente los pasos necesarios para desarrollar el modelo Nelson-Siegel-Svensson. Por último, también desarrolla las ventajas y críticas del modelo Nelson-Siegel-Svensson.

2.1.3 Best Fit Model for Yield Curve Estimation

Este trabajo escrito por Zvravka Aljinovic (2012) y otros investigadores de la Facultad de Economía de la Universidad de Split, Croacia hacen una estimación de las curvas de rendimiento de los bonos soberanos emitidos por el gobierno croata. Esta investigación proporciona un ejemplo de cómo el modelo expandido de Svensson presenta un mejor ajuste que el modelo

original de Nelson y Siegel (Zvravka Aljinovic et al., 2012). Por estas razones esta investigación parte del análisis y aplicación del modelo ampliado denominado Nelson-Siegel-Svensson. En este trabajo se explican las razones por la que es importante estimar de manera apropiada y precisa la curva de rendimiento o a curva *forward*: para entender el comportamiento de los mercados en el futuro y estimar si la economía será fuerte o débil. Además, este trabajo aporta a esta investigación los aspectos macro y micro de la curva de rendimiento o curva *forward* y una explicación más detallada de la definición de los parámetros ya que determina los signos de los mismos y como eso afecta a la forma de la curva de rendimiento.

2.1.4 Estimación de la Estructura Temporal de las Tasas de Interés: Caso Venezolano

Este trabajo realizado por Ana María Chirinos y Manuel Moreno en el 2011 estima la Estructural Temporal de Tasas de Interés (ETTI) para el caso de Venezuela, con el objetivo de establecer un método que explique los cambios de la estructura de las tasas. Este trabajo aportó a nuestra investigación el entendimiento a profundidad del cálculo y funcionamiento de la ETTI y que es posible aplicar el modelo de Nelson-Siegel-Svensson a Venezuela. En este trabajo también se explica la utilidad de las tasas *forward* para los hacedores de políticas monetarias. Por último, el trabajo nos permitió diferenciar los modelos de Vasicek y de NSS, ya que el primero modela una ecuación estadística a la cual se le aplica un modelo econométrico que estima variables a futuro, mientras que el segundo calcula las tasas *forward* que mejor que ajusten a la curva actual.

2.1.5 Estimating and interpreting forward interest rates: Sweden 1992-1994

Este trabajo, realizado por Lars. E. Svensson (1994), aplica el modelo extendido de Nelson y Siegel (Nelson-Siegel-Svensson) para calcular las tasas *forward* implícitas de los bonos de Suecia entre los años 1992 y 1994. Básicamente Svensson calculó las tasas *spot* y las tasas *forward*, utilizando las fórmulas de las tasas que se aplicaron en este trabajo de grado para calcular la ETTI. Además, Svensson en esta investigación explica con detalle su modelo, incluyendo la teoría, terminología, las funciones para calcular las tasas *spot* y las tasas *forward* y la minimización del error de los rendimientos y de los precios, elementos fundamentales para la definición y aplicación del modelo para esta investigación.

2.1.6 Zero-coupon yield curves: technical documentation

Este trabajo fue realizado por el Departamento Monetario y Económico del *Bank of International Settlements (BIS)* y explica el cálculo de los parámetros tanto para la curva *forward* y la curva *spot*. Con esto se confirmó que los parámetros se calculan una vez y se utilizan en la fórmula de cálculo de las tasas *spot* como en la fórmula para calcular las tasas *forward*.

2.2 Bases Teóricas

2.2.1 Bono

Los bonos u obligaciones son “títulos de deuda a largo plazo, a través de los cuales el emisor acepta pagar un monto estipulado de interés durante un periodo específico y rembolsar un monto fijo del principal a su vencimiento” (Gitman, et al., 2009)

Al evaluar los bonos en función a tasas *spot* y *forward* se usa la definición de bonos cero cupón, los cuales según Alexander et al. (2003) son valores de descuento neto en los cual el inversionista solo espera recibir un pago de efectivo por parte del emisor.

Elementos esenciales de un bono:

Cupón: es el elemento de un bono que define el monto del ingreso anual por interés (Gitman, et al., 2009).

Rendimiento corriente: medida del ingreso anual por intereses que proporciona un bono con relación a su precio de mercado actual (Gitman, et al., 2009).

Principal: es la cantidad de capital que debe ser pagada al vencimiento (Gitman, et al., 2009).

Fecha de vencimiento: fecha en la que vence un bono y debe pagarse el principal (Gitman, et al., 2009).

Pagaré: título de deuda emitido originalmente con un vencimiento de 2 a 10 años (Gitman, et al., 2009).

2.2.2 Clasificación de los bonos

Según el CFA (2014) los bonos se clasifican con base en tres criterios:

Emisor: Los bonos emitidos por compañías se denominan bonos corporativos, los emitidos por bancos centrales se denominan bonos soberanos. También entes locales y regionales pueden emitir bonos, llamados municipales y de agencia respectivamente.

Mercado: es primario cuando nuevos bonos son emitidos, siendo estos comprados directamente al emisor por parte del inversionista. Es secundario cuando la negociación de bonos es entre inversionistas; cuando un inversor compra bonos en el mercado secundario solo tiene derecho a los flujos de caja remanentes hasta el vencimiento.

Tasa de cupón: Estos pueden ser de tasa fija, tasa flotante o cero cupón.

Según Gitman (2009) los bonos se pueden clasificar por el periodo de repago, si los bonos contienen una cláusula “que estipule la cantidad del principal que será retirada anualmente durante la vida de un bono”, se consideran bonos amortizables. Por otro lado, si no existe esta cláusula, los bonos se conocen como *bullet*.

Los bonos objeto de este estudio son bonos emitidos por el Gobierno de Venezuela, es decir, son bonos soberanos que se transan en el mercado secundario y tiene un cupón de tasa fija. A continuación, procedemos a definir dichos conceptos:

Cupón tasa fija: “Título-Valor que produce intereses fijos, pagaderos periódicamente, en fechas fijas y en porcentajes siempre iguales, determinados previamente por su emisor.” (Banco Central Reserva del Perú, 2011)

Bono Soberano: “Bono emitido por un gobierno. Su rendimiento es una aproximación del riesgo país que le asigna el mercado al emisor.” (Banco Central Reserva del Perú, 2011)

Mercado secundario: “Mercado en el que se transan activos o títulos de deuda previamente emitidos.” (Banco Central Reserva del Perú, 2011)

2.2.3 Precio y valoración

A diferencia de otros activos financieros, por ejemplo, las acciones de corporaciones, los bonos presentan una cantidad de pagos monetarios fijos en un tiempo previamente determinado. Según Alexander et al (2003), esto permite aplicar metodologías de valoración que consisten en descontar los flujos de caja futuros para obtener, mediante diferentes métodos, los valores presentes de dichos flujos. Los dos más comunes son: la metodología del rendimiento al vencimiento y los factores de descuento.

Rendimiento al vencimiento: Según Gitman y Joehnk (2009), este método consiste en descontar los flujos de caja que se esperan recibir (cupón y principal) en el tiempo con base en una tasa de rendimiento requerida, para luego realizar la suma algebraica de los mismos.

Este proceso se hace mediante la siguiente fórmula:

$$V_0 = \frac{CF_1}{(1+r)^1} + \frac{CF_2}{(1+r)^2} + \frac{CF_3}{(1+r)^3} + \dots + \frac{CF_n}{(1+r)^n}$$

Donde:

- V_0 = precio del bono
- CF = flujo de caja esperado en el periodo
- r = tasa de rendimiento requerida
- n = periodo de tiempo

El CFA (2014) nos recalca que un elemento de suma importancia en el cálculo del bono es la tasa de rendimiento requerida. El inversionista debe estimar una tasa de rendimiento, la cual será usada para descontar los flujos de caja, que refleje el rendimiento que desea obtener con base en el nivel de riesgo del emisor del bono. Una vez determinada dicha tasa, se podrá proceder a descontar los flujos de caja. Según Alexander et al (2003), usualmente el proceso realizado para obtener esta tasa es una aproximación matemática que busca la tasa de rendimiento requerida que hace cero el valor presente del bono, mediante ensayo y error, resultando en una tasa promedio a lo largo de los diferentes rendimientos.

Factores de descuento: El método de descontar los flujos de caja de un bono arroja como resultado las tasas *spot*, las cuales según Alexander et al (2003), son las tasas de interés específicas de un préstamo *spot*. Dicho préstamo implica que el interés y el monto inicial se reembolsa íntegramente en un periodo específico en el futuro. Las tasas *spot* por lo tanto son las tasas que se aplican a los bonos cero cupón. Calcular esto requiere de cierto desarrollo matemático ya que en mundo financiero se tienen, generalmente, bonos con pagos de cupón para periodo mayores a un año.

Svensson (1994) explicó que se puede analizar un bono con cupones equivalentes a una cartera de bonos cero cupón en la cual cada bono cero cupón corresponde a un pago de cupón particular; por ejemplo, un bono a 2 años con cupón semestral es equivalente a comprar 4 bonos cero cupón a 6 meses reinvertiendo ganancias. Por lo tanto, el factor de descuento es calculado con base en una función continua utilizando la tasa de interés instantánea, que se va ajustando en el tiempo en cada flujo a descontar. Este procedimiento es distinto a la metodología tradicional, ya que esta considera la tasa de descuento constante en el tiempo.

Esto se hace mediante el siguiente desarrollo matemático:

$$P(t, t + m) = \sum_{k=1}^m cd(t, t + k) + 100d(t, t + m)$$

Donde:

- P = precio
- m = vencimiento
- t = fecha de negociación

- k = periodo en el tiempo correspondiente al cupón
- c = cupón
- $d(t, t+k)$ = factor de descuento dado la fecha de negociación y el periodo correspondiente

Por lo tanto, podemos observar que el precio (convertible a rendimiento) del bono se encuentra en función a los factores de descuentos; Alexander et al (2003) nos dice que siempre se puede calcular una función de descuento sin importar las características de los bonos a los cuales se le aplique la función.

2.2.4 Rendimiento y tasa de interés

Según Gitman (2009), el rendimiento es el retorno que el inversionista espera obtener del capital invertido. Tiene tres componentes que en conjunto forman el rendimiento requerido por el inversor, el cual compensa totalmente el riesgo. Los componentes son los siguientes: la tasa de rendimiento real (r^*), la prima de inflación esperada (IP) y una prima de riesgo (RP). Gitman (2009) expresa el rendimiento (R_i) a través de la siguiente ecuación:

$$R_i = r^* + IP + RP$$

La tasa libre de riesgo (R_f) está conformada por la suma de la tasa de rendimiento real y la prima de inflación, los cuales son considerados factores externos (Gitman et al., 2009). “La prima de riesgo de un bono (RP) toma en cuenta las principales características de la emisión y del emisor, incluyendo variables como el tipo de bono, el plazo al vencimiento de la emisión, sus

opciones de rescate y la calificación del bono” (Gitman et al., 2009). Los riesgos a los cuales están expuestos los bonos están incluidos en la tasa de rendimiento requerida de los mismos.

Variaciones de las tasas de interés:

Según Gitman, las tasas de interés varían por las siguientes razones:

Inflación: las tasas de interés de los bonos se mueven en la misma dirección en la que la inflación. Esto quiere decir que, si se espera que la inflación aumente, las tasas de interés deben aumentar también, y viceversa.

Cambios en la oferta monetaria: estos cambios afectan a las tasas de interés a través de la disponibilidad o escasez de préstamos en el mercado; un incremento en la oferta monetaria disminuye las tasas de interés ya que existe una mayor oferta de préstamos. Esto no siempre ocurre de esta manera, ya que, si la oferta monetaria crece a una tasa excesivamente grande, puede ocasionar una inflación alta lo que trae como resultado un incremento en las tasas de interés.

El tamaño del déficit presupuestario federal: cuando existe un déficit fiscal muy grande, el gobierno se ve obligado a pedir prestados grandes montos para cubrir el déficit. Este aumento significativo en la demanda de préstamos hace que las tasas de interés aumenten.

El nivel de actividad económica: si la economía se encuentra en un periodo de expansión,

las empresas tienden a pedir préstamos para invertir en su producto, este aumento de demanda de fondos hace que las tasas de interés aumenten y viceversa en periodos restrictivos.

Políticas del Banco Central: estos pueden aplicar políticas monetarias que impliquen el aumento o la reducción de las tasas de interés con la finalidad de cumplir con objetivos previamente establecidos, como por ejemplo aumentar o disminuir la inflación del país.

El nivel de las tasas de interés en los principales mercados extranjeros: para la toma de decisiones de inversión, los inversionistas toman en cuenta la economía nacional, así como el rendimiento de otros países. Si los títulos extranjeros tienen una tasa de rendimiento mayor a la tasa de rendimiento nacional, los inversores tenderán a vender bonos nacionales e invertir en mercados extranjeros.

Estructura temporal de las tasas de interés:

“Relación entre la tasa de interés o tasa de rendimiento de un bono y su tiempo para el vencimiento” (Gitman et al., 2009).

Curvas de rendimientos y tipos de curvas:

“Gráfica que representa la relación entre el plazo de vencimiento de un bono y su rendimiento en un momento dado” (Gitman et al., 2009).

Según Gitman et al. (2009), existen cuatro tipos de curvas de rendimiento:

Curva con pendiente ascendente: a mayor vencimiento, mayores son los rendimientos de los bonos. Esto ocurre debido a la incertidumbre que puede causar un mayor periodo, es decir, “cuanto más tiempo le resta al bono para su vencimiento, mayor es el potencial de volatilidad de precios y riesgo de pérdida (ibid).

Curva con pendiente descendiente: esto ocurre cuando las tasas de corto plazo son mayores que las tasas de largo plazo.

Curva con pendiente plana: cuando las tasas de corto plazo y largo plazo son iguales.

Curva convexa: cuando las tasas a mediano plazo son las más altas.

2.2.5 Razonamiento teórico del modelo Nelson-Siegel-Svensson

Svensson (1994) desarrolla su modelo para la Estructura Temporal de Tasas de Interés (ETTI) partiendo de la relación existente entre los rendimientos al vencimiento de los bonos, las tasas *spot* (o cero cupón) y las tasas *forward*. Como punto de partida plantea que la forma común para calcular la estructura de tasas de interés es mediante el método del rendimiento al vencimiento (YTM por sus siglas en inglés), la cual toma una tasa de descuento “promedio” para todos los flujos de caja del bono por igual, generando una variable discreta ya que se mantiene fija para cada vencimiento. Svensson (1994) identificó dos razones por las cuales este método es

poco preciso. Primero, en vista de que para cada bono se asume la misma tasa de descuento a lo largo de todos sus pagos en el tiempo, no toma en cuenta que dentro de ese tiempo de vencimiento la tasa de descuento puede variar para los distintos periodos de tiempo (los primeros pagos puede que tengan en realidad una tasa de descuento menor que la de los últimos pagos). Y segundo, el tamaño del cupón afecta la tasa de descuento a utilizar, ya que mientras más grande sea el cupón mayor cantidad de pago al corto plazo, variando así la tasa a utilizar. Por ejemplo, diferentes cupones hacen que bonos emitidos por el mismo emisor y con el mismo vencimiento tengan diferentes rendimientos al vencimiento.

Por esta razón, Svensson (1994) sugiere utilizar el método de factores de descuento para estimar los rendimientos, este consiste en calcular el valor de cada bono utilizando los factores de descuento, específicos a cada uno, para traer a valor presente los flujos de caja. El resultado de este modelo genera las llamadas tasas spot o cero cupón, las cuales son tasas continuamente compuestas en el tiempo que representan la inversión en un instrumento que paga tanto interés como capital en un mismo momento en el futuro.

Svensson (1994) explica que una vez obtenidas las tasas *spot* estas se pueden relacionar con las tasas *forward*, las cuales, según Alexander et al (2003), representan la tasa de interés que debe tener un contrato que implica el préstamo de cierta cantidad de dinero a ser liquidado en un momento específico en el futuro durante un tiempo determinado. Por ejemplo, un préstamo acordado hoy a ser liquidado dentro de 1 año que será repagado en 1 año, es decir, negociado hoy, pero liquidado en el futuro; lleva como tasa de interés la tasa forward correspondiente.

Svensson (1994) realiza el siguiente planteamiento para vincular las tasas forward con las *spot*: una inversión forward con una fecha de liquidación y de vencimiento establecida, puede ser replicado con la compra y venta de bonos cero cupón. Esto se logra mediante la venta de un bono cero cupón con vencimiento en la fecha de liquidación del contrato forward en conjunto con la compra de un bono cero con el mismo valor de mercado pero que vence en la fecha de vencimiento del contrato forward.

Gracias a ese razonamiento, Svensson (1994) planteó que la tasa spot $i(t,T)$, al tiempo t con fecha de vencimiento T , es idéntica al promedio de las tasas forward instantáneas con vencimientos entre la fecha de negociación t y la fecha de vencimiento T . Al realizar el planteamiento matemático, Svensson (1994) estableció que la tasa spot es igual a la integrada de las tasas forward entre los tiempos t (negociación) y T (vencimiento), bajo la siguiente ecuación:

$$i(t, T) = \frac{\int_t^T f(t, \tau) d\tau}{T-t} \quad (1)$$

Justamente esta relación, tanto teórica como matemática, es uno de los pilares del razonamiento detrás de este modelo. Previamente al estudio de Svensson, los autores Nelson y Siegel ya habían estudiado las formas de las curvas de rendimiento y como estas seguían ciertos patrones.

Nelson y Siegel (1987) citando a Wood (1983) y a Malkiel (1966) indicó que los mismos habían demostrado que las curvas de rendimiento muestran consistentemente en el tiempo una

forma con las siguientes características: esencialmente monotónicas, presentan una joroba y ocasionalmente pueden tomar forma de S.

Observando esto, Nelson y Siegel (1987) establecen que los tipos de funciones que generan formas que se adaptan a las observadas son las relacionadas con soluciones para ecuaciones diferenciales y, si se considera que las tasas spot se adaptan a una ecuación diferencial, entonces las tasas forward serían la solución a las mismas. Svensson (1994) citando a Nelson y Siegel (1987) establecen que la tasa *forward* instantánea es la solución a una ecuación diferencial de segundo orden con dos raíces iguales la cual para un tiempo al vencimiento “m”, se puede escribir como:

$$f(m, b) = \beta_0 + \beta_1 e^{\left(-\frac{m}{\tau_1}\right)} + \beta_2 \left(\frac{m}{\tau_1}\right) e^{\left(-\frac{m}{\tau_1}\right)} \quad (2)$$

Siendo dicha ecuación el modelo original de Nelson y Siegel. Svensson (1994), partiendo de acuerdo con lo planteado por Nelson-Siegel, propone añadir un término a la función para aumentar la flexibilidad y mejorar el ajuste del modelo. Propone un término con dos parámetros que buscan generar una segunda joroba en la curva, formulando esta manera la ecuación de Nelson-Siegel-Svensson para las tasas *forward*:

$$f_{NSS} = f(m, b) = \beta_0 + \beta_1 e^{\left(-\frac{m}{\tau_1}\right)} + \beta_2 \left(\frac{m}{\tau_1}\right) e^{\left(-\frac{m}{\tau_1}\right)} + \beta_3 \left(\frac{m}{\tau_2}\right) e^{\left(-\frac{m}{\tau_2}\right)} \quad (3)$$

Una vez obtenida la ecuación para las tasas *forward*, hacemos referencia a lo establecido anteriormente que muestra la relación entre las tasas *forward* y *spot*. Svensson (1994) planteó en

base a la ecuación (1) que la función a de la tasa *spot* es la integral de la función *forward*, por lo tanto, la ecuación para determinar las tasas *spot* según Nelson-Siegel-Svensson viene siendo:

$$Y_{NSS} = i(m, b) = \beta_0 + \beta_1 \frac{1 - e\left(\frac{-m}{\tau_1}\right)}{\frac{m}{\tau_1}} + \beta_2 \left(\frac{1 - e\left(\frac{-m}{\tau_1}\right)}{\frac{m}{\tau_1}} - e\left(\frac{-m}{\tau_1}\right) \right) + \beta_3 \left(\frac{1 - e\left(\frac{-m}{\tau_2}\right)}{\frac{m}{\tau_2}} - e\left(\frac{-m}{\tau_2}\right) \right) \quad (4)$$

Una vez establecidas las ecuaciones del modelo se determina un método de cálculo para los coeficientes del mismo. Svensson (1994) establece que primero se determina mediante el método de los factores de descuento los precios o rendimientos de los bonos observados para estimar los parámetros que minimizan el error al cuadrado entre los rendimientos o precios estimados por las ecuaciones del modelo y los rendimientos o precios observados; Svensson (1994) justifica el uso de este método estableciendo que ese es el método estándar desde McCulloch (1971,1975).

Si bien se pueden estimar los parámetros mediante la minimización de los errores de precios o de rendimientos para esta tesis se aplicó la minimización de errores entre rendimientos estimados y observados. Esto ya que nos apegamos a Svensson (1994) que propone que la mejor manera de estimar los parámetros es mediante la minimización de errores de rendimientos. Esta metodología también fue utilizada también por Benninga (2014).

Según Svensson (1994), el método estadístico aplicado para calcular los parámetros con base en la minimización pueden ser los siguientes: Estimador de máxima verosimilitud, mínimos cuadrados de ecuaciones no lineales o el método generalizado de momentos. En esta

investigación utilizamos la minimización de mínimos cuadrados no lineales en vista de que esta es la metodología seguida por Benninga (2014) .

Los coeficientes del modelo tienen las siguientes interpretaciones teóricas:

- β_0 = Es el valor asintótico del modelo que se interpreta como la tasa de interés de largo plazo, según Kwesi et al (2005) y Benninga (2014)
- β_1 = Determina el valor inicial de la curva, según Kwesi et al (2005)
- $\beta_0 + \beta_1$ = Se interpreta como la tasa de interés *overnight*, o la tasa de interés instantánea, según Benninga (2014)
- β_2 = Afecta la concavidad o convexidad de la curva según Benninga (2014). Si este coeficiente es positivo la curva tendrá una pendiente ascendiente y si este coeficiente es negativo tendrá una pendiente descendiente según Kwesi et al (2005) y de acuerdo a lo desarrollado en la sección 2.2.4 de esta investigación.
- β_3 : Decide la dirección y magnitud de la segunda joroba del modelo según Kwesi et al (2005). Este es parte del término agregado por Svensson (1994) al modelo original de Nelson y Siegel.
- τ_1 : Determina la posición de la primera joroba de la curva, según Kwesi et al (2005)
- τ_2 : Determina la posición de la segunda joroba de la curva, según Kwesi et al (2005)

Svensson (1994) concluyó que el modelo presenta un muy buen ajuste a la data, inclusive superior al de Nelson Siegel. Añade que los resultados de este modelo son muy valiosos para el

análisis económico, especialmente para el análisis de la política monetaria y del camino futuro que pueden adoptar las tasas de interés.

2.2.6 Teorías de las estructuras de plazo

Teorías de las expectativas imparciales: propone que “la tasa *forward* representa la opinión promedio con respecto al nivel de la tasa *spot* futura esperada para el periodo en cuestión” (Alexander et al., 2003). Es decir, lo que determina la Estructura Temporal de Tasas de Interés (ETTI) son las expectativas de los inversores. Esta teoría sugiere que las tasas *forward* están en función de las tasas *spot* esperadas y que cualquier estrategia de vencimiento tiene el mismo rendimiento esperado ante un horizonte de inversión (CFA, 2012). Por ejemplo, cualquier inversor debe percibir el mismo rendimiento si invierte en un bono con un vencimiento de 5 años o si invierte en un bono a 3 años y luego invierte en un bono a 2 años una vez vencido el bono a 3 años. Es decir, en equilibrio, las dos tasas (la tasa *spot* futura esperada y la tasa *forward*) son iguales.

$$es_{1,2} = f_{1,2} \quad (5)$$

Partiendo de la siguiente ecuación:

$$(1 + s_1)(1 + f_{1,2}) = (1 + s_2)^2 \quad (6)$$

Se sustituye $f_{1,2}$ por $es_{1,2}$ y se obtiene:

$$(1 + s_1)(1 + es_{1,2}) = (1 + s_2)^2 \quad (7)$$

Esta ecuación puede interpretarse como que el rendimiento esperado de una estrategia de vencimiento, segunda parte de la ecuación, debe igualar el rendimiento esperado de una estrategia de refinanciamiento, primera parte de la ecuación (Alexander et al., 2003). Esta teoría asume que existe una neutralidad en el riesgo, es decir, los inversores no demandan una prima de riesgo al momento de realizar estrategias de vencimiento que difieran en el horizonte de inversión (CFA, 2012).

Estas ecuaciones se explican en tiempo discreto; sin embargo, debido a que los cálculos del modelo Nelson-Siegel-Svensson son realizados en tiempo continuo, es necesario transformar la ecuación (6) a tiempo continuo. Por esta razón, se debe utilizar el concepto de capitalización continua, para el cual se desarrolla la siguiente formula, según Alexander et al. (2003):

$$Pe^{rt} = F_t \quad (8)$$

Donde:

- P = principal
- r = tasa anual con capitalización continua
- F = cantidad de dinero recibida a futuro
- t = periodo de tiempo

Asumiendo que $t = 1$ para el lado de la ecuación donde se aplica la estrategia de refinanciamiento (lado izquierdo), se sustituye el factor correspondiente en la ecuación (6) de la siguiente manera:

$$(1 + e^{s_1})(1 + e^{f_{1,2}}) = (1 + e^{2xs_2}) \quad (9)$$

Teoría de la preferencia de la liquidez: propone que existe una tendencia entre los inversionistas de preferir valores a corto plazo debido a que se cree que se pueden necesitar los fondos más pronto de lo previsto (Alexander et al., 2003). Es decir, esta teoría propone que las tasas *forward* reflejan las expectativas de los inversores de las tasas *spot* futuras más una prima de liquidez que compensa por la exposición al riesgo de tasas de interés. (CFA, 2012). Esta teoría sugiere que la prima de liquidez está relacionada positivamente con el vencimiento, es decir, a mayor vencimiento mayor prima (CFA, 2012). Esto señala que existe un reconocimiento de que los inversionistas se enfrentan a un menor riesgo de tasa de interés si invierten en valores a corto plazo (Alexander et al., 2003).

La prima de liquidez es la diferencia entre la tasa *forward* y la tasa *spot* futura esperada:

$$f_{1,2} = es_{1,2} + L_{1,2} \quad (10)$$

Esta teoría señala que existe un mayor riesgo en la estrategia de vencimiento (debido a que el vencimiento está más lejos), lo cual implica que se espera un rendimiento mayor y se crea la siguiente desigualdad:

$$(1 + s_1)(1 + es_{1,2}) < (1 + s_2)^2 \quad (11)$$

Teoría de la segmentación del mercado: se basa en que la curva de rendimiento está determinada por las preferencias de los prestatarios y prestamistas, lo cual a su vez determina el equilibrio entre la oferta y demanda de los préstamos con distintos vencimientos (CFA, 2012). Esta teoría se conoce como la teoría de la segmentación del mercado ya que el rendimiento a cada vencimiento está determinado independientemente de los rendimientos de otros vencimientos. Según esta teoría, los inversionistas no dejarán su mercado incluso cuando exista otro mercado que ofrezca rendimientos esperados mayores (Alexander et al., 2003).

Teoría del hábitat preferido: propone que las tasas *forward* representan las tasas *spot* futuras más una prima. Sin embargo, según esta teoría, la prima no está relacionada con el vencimiento (CFA, 2012). Es decir, esta teoría sugiere que la existencia de un desequilibrio entre la demanda y la oferta de fondos en un periodo de vencimiento producirá que los prestamistas y prestatarios se cambien de su hábitat preferido (rango de vencimiento) a uno que tenga el desequilibrio opuesto (CFA, 2012). Sin embargo, para que esto ocurra, el inversor debe tener un incentivo que compense la exposición al riesgo de precio o reinversión en el otro hábitat, el cual no es tan preferido. Por esta razón, las primas están relacionadas con la oferta y la demanda de fondos en varios vencimientos (CFA, 2012). En este caso, un bono con un vencimiento de 5 años podría tener una prima de riesgo mayor o menor a un bono con vencimiento a 20 años.

2.3 Conceptos Básicos

- Ecuación diferencial: según Zill et al. (2008), “se dice que una ecuación diferencial (ED) es cualquier ecuación que contiene las derivadas de una o más variables dependientes con respecto a una o más variables independientes”.
- Tasa *forward*: es la tasa a la cual un inversor puede adquirir un contrato para prestar o pedir prestado dinero hoy en día en un período N, la cual será pagada en un periodo N+1 (Cochrane, 2000).

$$f_t^{(N \rightarrow N+1)} = p_t^{(N)} - p_t^{(N+1)} \quad (12)$$

- Tasa *forward* instantánea: es el corto marginal de pedir dinero prestado (o el ingreso marginal de dar dinero prestado) por un periodo de tiempo corto infinito (Bolder et al., 1999). Es decir, para la tasa *forward* instantánea, el vencimiento tiende a cero (Bolder et al., 1999).

$$f(N, t) = -\frac{1}{P} \frac{\partial P(N, t)}{\partial N} \quad (13)$$

- Factor de descuento: es aquel que descuenta cualquier flujo de caja que ocurra en el espectro de vencimiento (Bolder et al., 1999). Se utiliza para determinar el precio de los bonos ya que el valor presente del flujo de caja se calcula al multiplicar el flujo de caja por su correspondiente factor de descuento. Por lo que el factor de descuento es una variable fundamental ya que relaciona las tasas *forward* instantáneas con los precios de los bonos (Bolder et al., 1999).
- Rendimiento al vencimiento: Según Gitman et al. (2009), el rendimiento al vencimiento es “el rendimiento que obtiene el inversionista durante la vida de un bono, incluyendo los ingresos por intereses y apreciación”. Esta es la medida de valoración que es más usada a

nivel mundial y que tiene mayor importancia. Es también conocido como *Yield To Maturity* (YTM) o rendimiento promedio, y muestra la tasa totalmente compuesta de rendimiento que puede ganar el inversionista mientras el bono se retenga hasta el vencimiento y todos los pagos (principal e intereses) se realicen de manera rápida. (Gitman et al., 2009)

2.4 Metodología

2.4.1 Variables

Para construir el modelo Nelson – Siegel – Svensson (NSS) y estimar sus coeficientes, se utilizaron las siguientes variables: el precio de compra de mercado, el vencimiento, el rendimiento, factor de descuento para cada vencimiento y los parámetros del modelo.

2.4.2 Fuentes

El precio de compra de los bonos a la fecha del 30 de septiembre del 2017, el vencimiento de los bonos, el cupón y el rendimiento al vencimiento del bono fue extraído de la Bolsa de Frankfurt. El factor de descuento fue obtenido por cálculos propios mediante el uso del Excel. Los parámetros del modelo fueron estimados mediante la utilización del Solver de Excel.

2.4.3 Modelo

A continuación, se explica detalladamente los pasos aplicados para la estimación del modelo de Nelson-Siegel - Svensson para los bonos venezolanos con los precios de cierre del 30 de septiembre del 2017:

1. Análisis de la data actual para identificar si existen bonos de referencia para cada año o periodo de vencimiento. En caso de no tener un bono con vencimiento para cada año, como se verificó en la revisión de la data, se aplicó la metodología de interpolación de LaGrange. Esto ya que según Kazemie (2014), es el método más usado para solventar esta situación, debido a su simplicidad. La metodología de LaGrange permite calcular tanto los precios como los cupones de los bonos faltantes. Y consiste en estimar, utilizando el dato anterior y el posterior, un dato medio que se ajuste a una función. La explicación detallada de esta metodología se encuentra en el capítulo 3, en los Procedimientos de Investigación.
2. La matriz de pago: con los precios, cupones y flujo de caja de los bonos correspondientes se pasa a elaborar una matriz de pago. A esta matriz, se aplica la metodología de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) para obtener una regresión lineal que arroja como resultado los factores de descuento (FD). Una vez obtenidos los factores de descuento, se procedió a calcular el rendimiento y_{LS} , siendo y_{LS} el rendimiento estimado por Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), utilizando la siguiente formula (Benninga, 2014):

$$Y_{LS} = - \frac{LN (FD)}{Vencimiento} \quad (14)$$

3. Programación en *Visual Basics* (VBA) de Excel las ecuaciones (3) y (4) del modelo Nelson-Siegel-Svensson, para su posterior aplicación de cálculo de las tasas de rendimiento Y_{NSS} , siendo Y_{NSS} la tasa de rendimiento *spot* estimada por el modelo de Nelson-Siegel-Svensson. Los códigos utilizados para el cálculo se encuentran en el anexo E, y fueron realizados tomando como base la explicación de Benninga (2014).
4. Cálculo de los parámetros para el modelo de Nelson-Siegel-Svensson minimizando el error entre Y_{LS} y Y_{NSS} a través del uso del Solver de Excel, que aplica la minimización de errores mediante el método de Newton (Benninga, 2014).
5. Cálculo de las tasas *spot* y *forward* según Benninga (2014): con las fórmulas programadas en el VBA y los parámetros calculados en el paso anterior, se procedió al cálculo de las tasas *spot* del modelo de Nelson-Siegel-Svensson (Y_{NSS}) y las tasas *forward* (f_{NSS}).
6. Cálculo de las tasas esperadas: una vez calculadas las tasas *spot* y las tasas *forward*, aplicando la teoría de las expectativas imparciales con capitalización continua, de acuerdo a la ecuación (9), se procedió a calcular las tasas *spot* esperadas para un periodo $t+1$ (Alexander et al., 2003).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

Una vez planteado el problema de la investigación y el marco referencial de la misma, se pasa a desarrollar el tipo de metodología que se utilizará para llevar a cabo la investigación. Primero, se determina el tipo de investigación que se realizará y el diseño de la misma. Segundo, se establece la población a estudiar y la muestra que se utilizará para probar la hipótesis y realizar conclusiones. Luego se explican las técnicas e instrumentos que se utilizarán para la recolección, procesamiento y análisis de datos obtenidos a través de la muestra.

3.1 Tipo de investigación

Sampieri, Collado y Lucio (2006) definen tipo de investigación como una clasificación que “constituye un continuo de ‘causalidad’ que puede tener un estudio”. Estos autores especifican cuatro categorías de tipo de investigación: explicativa, descriptiva, correlacional y exploratoria.

Esta investigación es de tipo descriptiva. Según Sampieri, Collado y Lucio (2006) con la investigación descriptiva “se busca especificar las propiedades, las características y los perfiles de personas, grupos, comunidades, procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis”. Esta investigación tiene como objetivo analizar, en un período determinado, la curva de rendimiento de la tasa de interés de los bonos venezolanos y describir las características de los bonos y de las variables. Además, se describe el proceso requerido y la metodología para el cálculo de la curva de rendimiento de tasa de interés de dichos bonos.

3.2 Diseño de investigación

Según Sampieri, Collado y Lucio (2006) el diseño de una investigación es un “plan o estrategia que se desarrolla para obtener la información que se requiere en una investigación y responder al planteamiento”. Estos autores clasifican los diseños de investigación como experimental y no experimental. La investigación no experimental se basa en “observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos” (Sampieri, Collado y Lucio, 2006). Esta investigación es no experimental debido a que el objetivo es describir y analizar el comportamiento de las tasas de interés históricas de los bonos venezolanos mediante la aplicación de la metodología de Nelson-Siegel-Svensson y calcular la estructura temporal de las tasas de interés para los bonos emitidos por Venezuela para los años 2017 y 2018, para luego analizarla.

3.3 Población y muestra

“La población es el universo de estudio de la investigación, sobre el cual se pretende generalizar los resultados, constituida por características o estratos que le permiten distinguir los sujetos, unos de otros” (Chávez, 2007, p.162). La población sujeto de esta investigación son los bonos soberanos emitidos por gobierno venezolano alrededor del mundo en cualquier período que se encuentren actualmente vigentes. Esta delimitación se hace según lo expuesto en el planteamiento del problema en el cual se especifica que esta investigación busca realizar un aporte al análisis de la Estructura Temporal de Tasas de Interés (ETTI) de los bonos emitidos por Venezuela.

Según Sampieri, Collado y Lucio (2006), la muestra “es un subgrupo de la población de interés sobre el cual se recolectarán datos, y que tiene que definirse y delimitarse de antemano con precisión, además de que debe ser representativo de la población”. Respecto a la muestra se va a elegir de tipo no probabilística. “La ventaja de una muestra no probabilística —desde la visión cuantitativa— es su utilidad para determinados diseños de estudio que requieren no tanto una “representatividad” de elementos de una población, sino una cuidadosa y controlada elección de casos con ciertas características especificadas previamente en el planteamiento del problema.” (Sampieri, Collado y Lucio, 2006). En esta investigación se consideró un estudio censal ya que se abarcaron la totalidad de bonos soberanos emitidos por la Republica Bolivariana de Venezuela que cotizan públicamente.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Según Sampieri, Collado y Lucio (2006) “recolectar los datos implica elaborar un plan detallado de procedimientos que nos conduzcan a reunir datos con un propósito específico”.

La información necesaria para la investigación se recopiló de los competentes correspondientes. Para esta investigación la información será recopilada a partir de los registros de la Bolsa de Frankfurt.

3.5 Técnicas de procesamiento y análisis

Según Sampieri, Collado y Lucio (2006) “el análisis de los datos se efectúa sobre la matriz de datos utilizando un programa computacional”. El análisis de información se realizaó mediante el uso del modelo Nelson-Siegel-Svensson y las teorías de las estructuras de plazo.

El modelo se correrá utilizando la herramienta Excel en el cual se procederá con el análisis de la data proporcionada por el modelo para así formular la Estructura Temporal de Tasas de Interés (ETTI).

3.6 Procedimientos de la investigación

3.6.1 Interpolación mediante polinomio de LaGrange

Según Burden & Faires (2007), la interpolación consiste en obtener una estimación razonable de un punto desconocido de data que se encuentra entre por lo menos 2 puntos conocidos del conjunto de datos. Esto se logra mediante el uso de una función matemática que se adapte a la forma de la data conocida, usando polinomios algebraicos.

Burden & Faires (2007) presentan como posibles polinomios a ser utilizados en una interpolación al polinomio de Taylor y LaGrange. Explican que el polinomio de Taylor es muy limitado ya que concentra toda la información en un punto único, dado esto proponen el polinomio de LaGrange como la mejor alternativa ya que este incorpora la información de diferentes puntos para realizar la interpolación.

La interpolación mediante el polinomio de LaGrange consiste en buscar una función polinómica que se adapte y pase por los puntos conocidos del conjunto de datos para así estimar los puntos no conocidos dentro de esta. (Burden & Faires (2007)). Dicho polinomio está dado por la siguiente ecuación general:

$$P(x) = \sum_{k=0}^n f(x_k) L_{n,k}(x) \quad (15)$$

Donde: $f(x_i) = P(x_i)$ y

$$L_{n,i}(x) = \prod_{\substack{l=0 \\ l \neq i}}^n \frac{(x - x_l)}{(x_k - x_l)} \quad (16)$$

Burden & Faires (2007) explican que se debe buscar un polinomio con el grado que mejor se adapte a la forma que presentan los puntos de la data que se conocen, para de esa manera obtener la mejor función interpolante. Una vez determinado el grado al polinomio a utilizar se debe aplicar la función correspondiente al grado a la ecuación general para así obtener el polinomio interpolante.

Lilley (2008) explica que este método es fácilmente programable en Microsoft Excel utilizando la herramienta VBA; creando una función que replique las ecuaciones polinómicas expuestas anteriormente. En el anexo B se puede observar los códigos de Excel VBA realizados por elaboración propia de los autores de esta tesis de grado para la implementación de la interpolación lineal y cuadrática mediante el polinomio de LaGrange.

3.6.2 Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO)

Greene (2002) nos expone que este método es la metodología preferida para estimar los parámetros de una regresión. Este método consiste en encontrar un vector de parámetros que expliquen la relación entre una variable dependiente y una o un conjunto de variables independientes; de acuerdo a la siguiente relación matemática:

$$y_i = x_i' \beta + \varepsilon_i \quad (17)$$

Greene (2002) explica que dicha ecuación presenta un coeficiente beta para cada variable explicativa x, así como un factor “e” que representa el error de estimación. El objetivo del método de los mínimos cuadrados es un encontrar un vector beta que minimice el error de estimación entre los valores observados de la variable dependiente y los estimados; de manera tal que se debe buscar el vector que minimice la siguiente ecuación:

$$\sum_{i=1}^n e_{i0}^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - x_i' b_0)^2 \quad (18)$$

Este proceso de minimización va a generar una serie de ecuaciones que deben ser resueltas como un sistema de ecuaciones, en caso de tener más de 3 ecuaciones es indispensable el uso de algebra matricial para la solución del sistema. Para realizar este proceso la data se ensambla en forma de matrices donde habrá un vector que representa la variable dependiente, una matriz que agrupa las variables explicativas y un vector que representa los coeficientes beta

de la regresión. La solución que otorga el vector beta de mínimos cuadrados viene dada por la siguiente operación con matrices (Greene, 2002):

$$b = (X'X)^{-1}X'y \quad (19)$$

Benninga (2014) establece que dicha algebra matricial es replicable en Microsoft Excel mediante la aplicación de las funciones “MMult”, “Minverse” y “Transpose”.

3.6.3 Minimización de Newton

Según Kim et al (2009), el método de Newton es una manera de resolver sistemas de ecuaciones no lineales mediante el uso de la iteración. Este es el método que utiliza el programa Microsoft Excel mediante su función Solver y consiste en cambiar los valores de ciertas celdas para lograr maximizar o minimizar la celda objetivo designada.

Burden & Faires (2007) establecen que este método permite resolver un problema de búsqueda de raíces $f(x)=0$ mediante un proceso de iteración basado en el polinomio de Taylor. Esto consiste en partir de una aproximación inicial de la cual se generan una serie de sucesiones basándose en la siguiente fórmula matemática de la cual se obtiene la sucesión usando tangentes sucesivas:

$$p_n = p_{n-1} - \frac{f(p_{n-1})}{f'(p_{n-1})} \quad \text{para } n \geq 1 \quad (20)$$

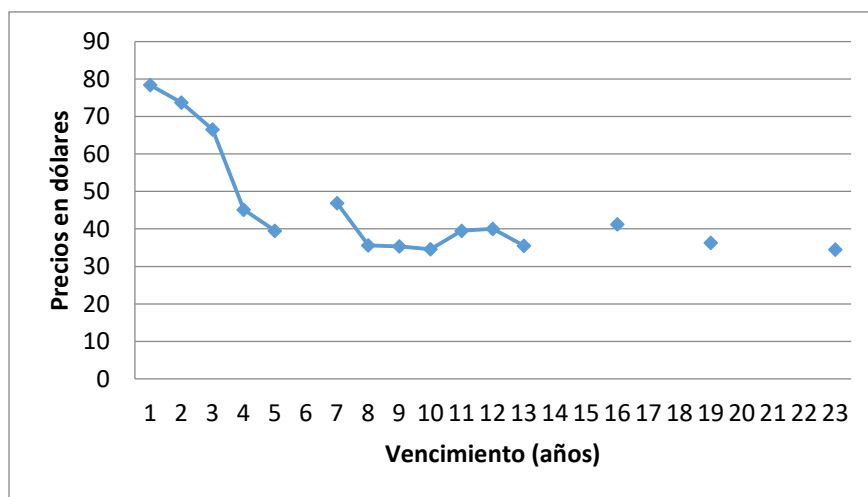
Burden & Faires (2007) explican que este proceso se va dando con un número máximo preestablecido de iteraciones que se van realizando hasta que se logra un resultado por debajo del nivel de tolerancia, de no encontrarse un resultado por debajo de dicho nivel entonces el algoritmo arroja un resultado sin éxito.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

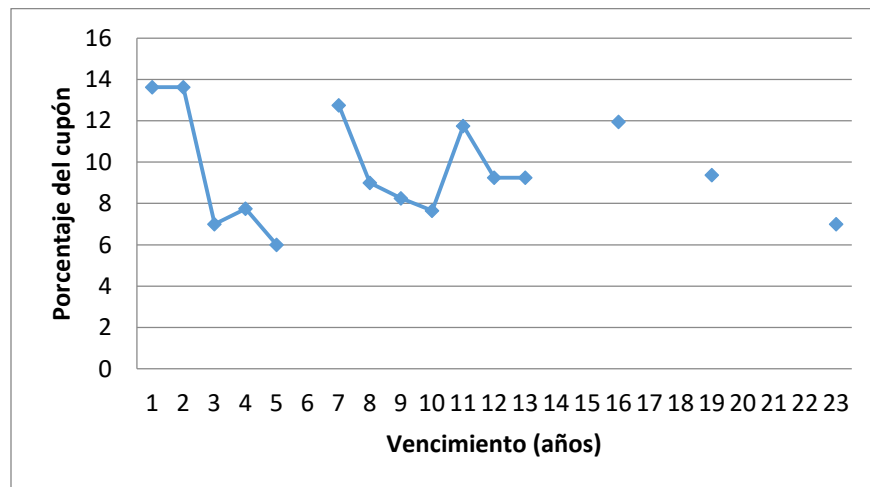
4.1 Descripción y análisis de la data utilizada

Se tomaron los datos de precios de cierre de los bonos emitidos por la República Bolivariana de Venezuela al 30 de septiembre del año 2017. La data fue extraída de la Bolsa de Frankfurt, y se tomaron todos los bonos que se negocian públicamente en el mercado de valores con sus respectivos cupones. La data referente a los bonos utilizados se encuentra en el anexo A.

Grafica 1: Precios observados de venta de los bonos emitidos por la República Bolivariana de Venezuela al 30-09-17



Gráfica 2: Cupones observados de los bonos emitidos por la República Bolivariana de Venezuela

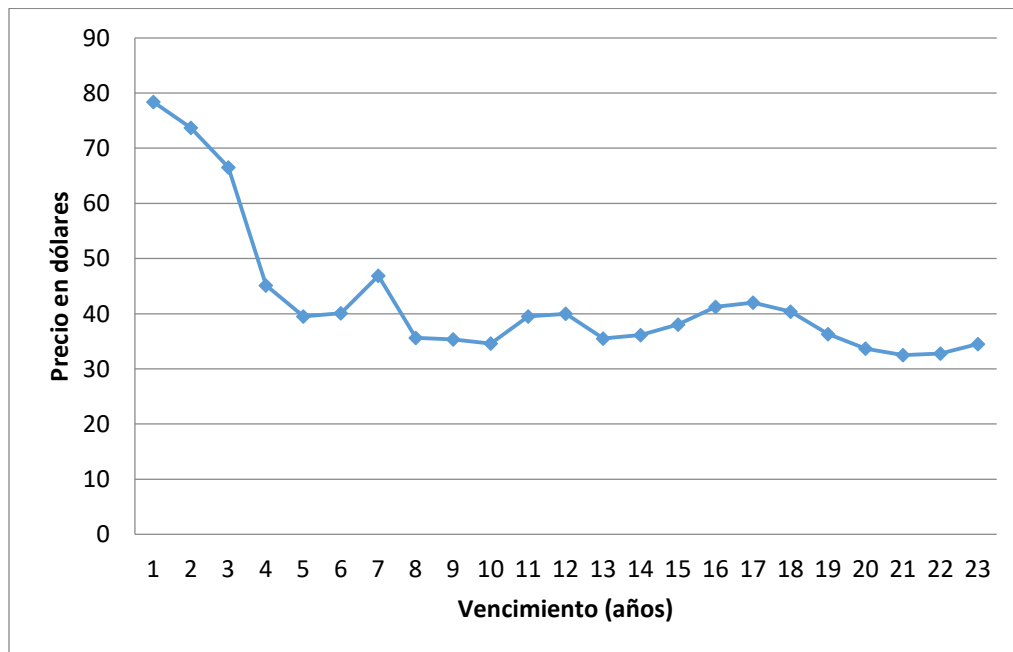


En las gráficas anteriores se observa que no se dispone de un bono para cada periodo de vencimiento, quedando así puntos faltantes en la data. En vista de que hay insuficientes bonos observables en el mercado para tener una referencia para cada vencimiento, lo cual es necesario para la aplicación del modelo, se aplicó el método de la interpolación de LaGrange y se obtuvo la estimación de los puntos faltantes.

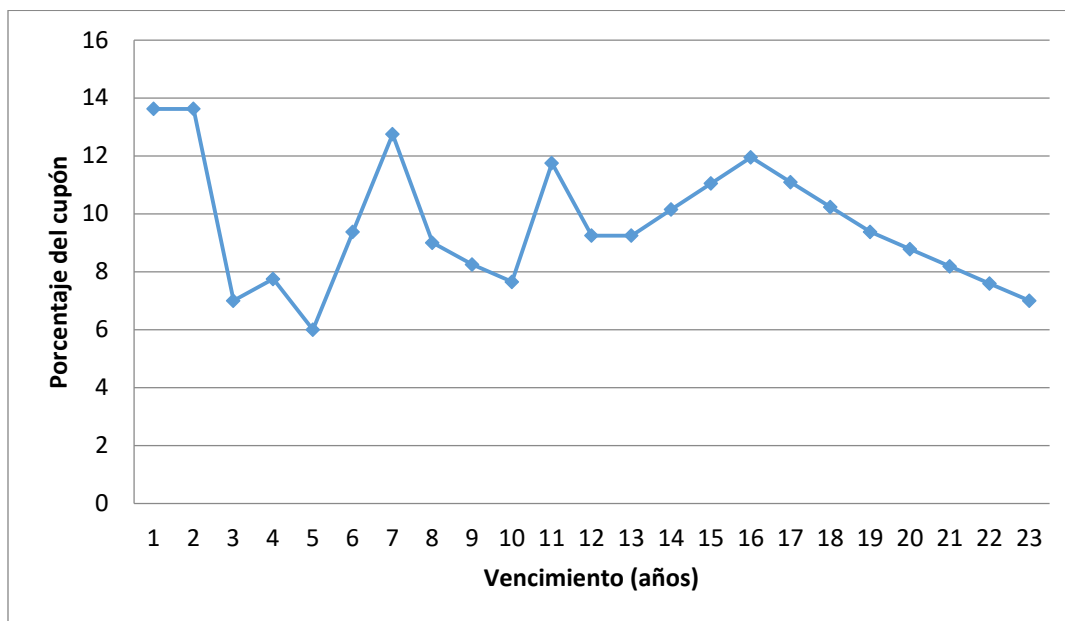
Debido a que la data de los precios sigue una forma curva que se adapta a las formas producidas por una ecuación cuadrática, se decidió aplicar la interpolación cuadrática de LaGrange. A su vez, al observar la forma y puntos faltantes de la data de los cupones, se decidió aplicar una interpolación de LaGrange con base en una función lineal; de acuerdo a lo establecido en el marco metodológico. Para realizar este proceso, se programó en Excel un código usando la aplicación *Visual Basic* (VBA) que replica las fórmulas de las interpolaciones, dicho código se encuentra en el Anexo B.

Una vez aplicado el proceso de interpolación, se obtuvieron los precios y cupones estimados para los vencimientos faltantes; esta data se muestra en el Anexo C y generó como resultados los siguientes conjuntos de datos para los cupones y precios:

Grafica 3: Precios observados de venta y estimados de los bonos emitidos por la República Bolivariana de Venezuela al 30-09-17



Gráfica 4: Cupones observados y estimados de los bonos emitidos por la República Bolivariana de Venezuela



Finalmente, la data utilizada para la aplicación del modelo está compuesta por los precios y cupones que se pueden observar en el mercado y, para los vencimientos que no les corresponde ningún bono, se utiliza los puntos estimados mediante la interpolación de LaGrange.

4.2 Estimación de factores de descuento y curva de rendimiento mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO)

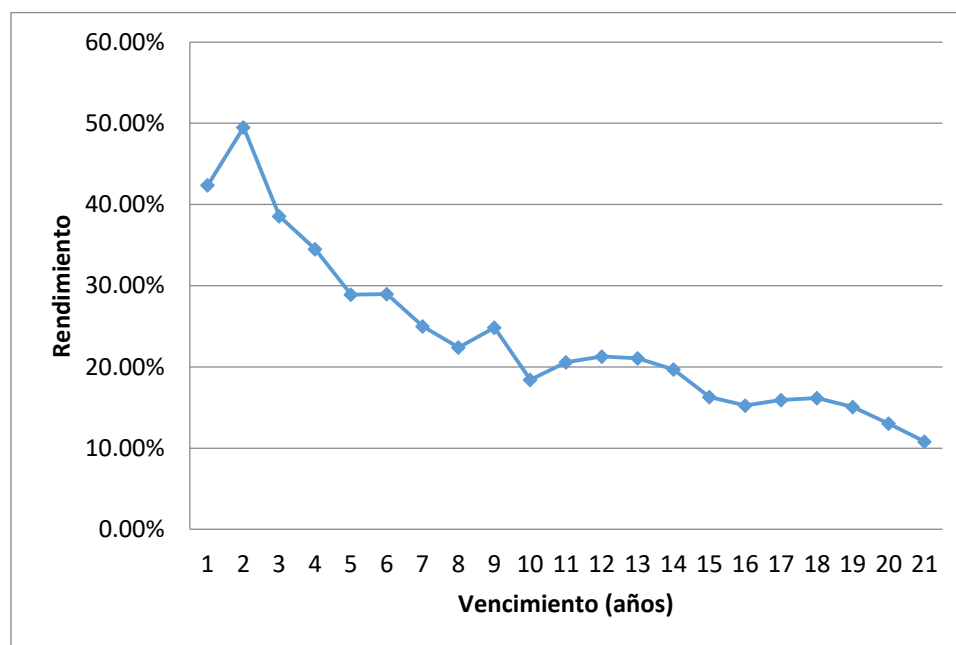
Como primer paso para esta estimación, se construyó la matriz de flujo de caja con base en los precios y cupones obtenidos en la sección anterior; esta matriz se puede apreciar en el anexo D. Seguidamente, se procedió al cálculo de los factores de descuento mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) de acuerdo a lo explicado en el marco metodológico. Por último, con base a estos factores se calcularon los rendimientos para obtener las tasas *spot*. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 1: Resultados de la estimación de factores de descuento y tasas de rendimiento *spot* de los bonos emitidos por la República Bolivariana de Venezuela al 30/09/17 mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios

Vencimiento	Factor de Descuento	Rendimiento Spot
1	0.655	42.37%
2	0.372	49.49%
3	0.315	38.55%
4	0.252	34.50%
5	0.236	28.90%
6	0.176	28.97%
7	0.174	25.00%
8	0.167	22.40%
9	0.107	24.84%
10	0.159	18.42%
11	0.104	20.58%
12	0.078	21.28%
13	0.065	21.06%
14	0.063	19.69%
15	0.087	16.30%
16	0.087	15.25%
17	0.067	15.93%
18	0.054	16.17%
19	0.057	15.07%
20	0.074	13.03%
21	0.104	10.80%

Al graficar los rendimientos obtenemos la estimación de la Estructura Temporal de Tasas de Interés (ETTI) mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO).

Grafica 5: Estructura temporal de tasas de rendimiento *spot* mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios de los bonos emitidos por la República Bolivariana de Venezuela al 30/09/17



4.3 Estimación e interpretación de los parámetros del modelo Nelson-Siegel-Svensson

Una vez obtenidas las tasas *spot* mediante Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO), se procedió a estimar los parámetros del modelo. Para esto se utilizó el método de minimización del error entre los rendimientos *spot* estimados por el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios y los rendimientos *spot* que obtienen mediante el modelo de Nelson-Siegel-Svensson. Para aplicar el modelo se programó en *Visual Basic* (VBA) de Excel un código que replica la fórmula matemática tal como se explica en el marco metodológico. Dicho código se puede apreciar en el anexo E, tanto para las tasas *spot* como para las tasas *forward*.

Una vez programadas las fórmulas, se estimaron los parámetros mediante la minimización del error. Para el caso de esta investigación, se utilizó la herramienta Solver de

Excel para la aplicación del método de Newton. En el anexo F se puede apreciar una captura de pantalla del procedimiento aplicado. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2: Resultados de la estimación de los parámetros del modelo Nelson-Siegel-Svensson

Parametros NSS	
α_1	0.000000
α_2	0.531488154
α_3	2.234849926
α_4	-2.39686109
β_1	6.395960419
β_2	6.030553615
Error	0.01

Los resultados de los parámetros se interpretan de la siguiente manera según Benninga (2008) y Bolder (1999):

- α_1 : representa la asíntota de la función que se interpreta como la tasa de rendimiento al largo plazo, en este caso la tasa es de 0%. Es decir, cuando el vencimiento de los bonos tienda a infinito, la curva de rendimiento tenderá a acercarse a la tasa de 0%.
- α_2 : este parámetro dicta la pendiente de la curva, al ser el parámetro positivo obtenemos que la pendiente de la curva de rendimientos es negativa; es decir, estamos bajo una curva invertida.
- $\alpha_1 + \alpha_2$: la suma de estos dos parámetros se interpreta como la tasa de rendimiento instantánea o *overnight*. Obtenemos que para nuestro caso la tasa de rendimiento *overnight* es de 53,14%.
- α_3 : al este parámetro ser positivo indica que va a ocurrir una joroba en el punto establecido por el parámetro β_1 .

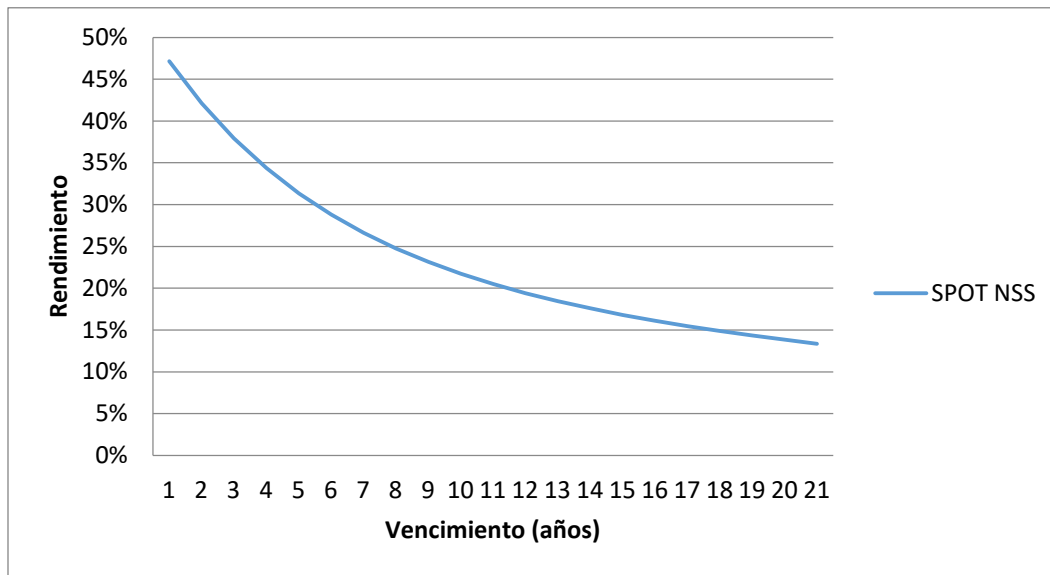
- α_4 : al este parámetro ser negativo indica que va a ocurrir una forma de “U” en el punto establecido por el parámetro β_2 .
- β_1 : indica donde va a ocurrir la joroba establecida por α_3 , siendo esta en el vencimiento 6 aproximadamente.
- β_2 : Indica donde va a ocurrir la forma de “U” indicada por α_4 , siendo esta en el vencimiento 6 aproximadamente.
- Error: Indica que con un intervalo de confianza del 95% el error de estimación es en promedio un punto porcentual del rendimiento.

4.4 Estimación de la Estructura Temporal de Tasas de Interés para tasas *spot* y *forward*

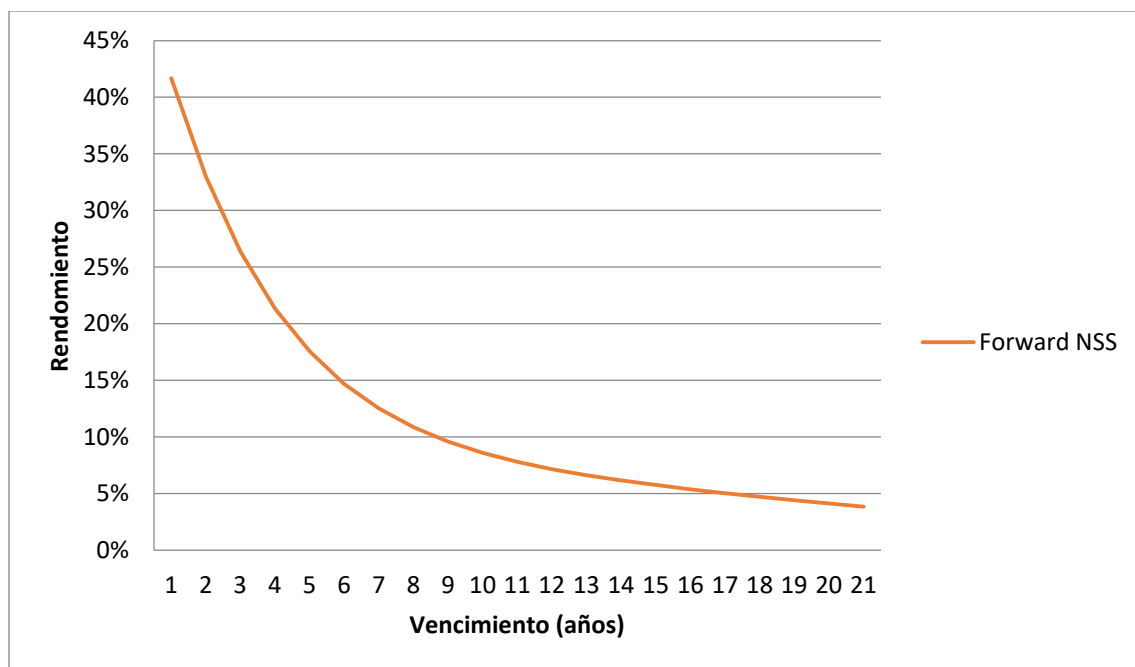
Una vez obtenidos los parámetros del modelo, utilizando los códigos anteriormente programados usando VBA, se aplicaron las fórmulas propuestas por Nelson-Siegel-Svensson para, con base en los parámetros obtenidos, determinar las tasas *spot* y *forward* correspondientes a cada vencimiento. En el anexo G se pueden observar los resultados obtenidos.

Seguidamente se grafican los resultados para obtener la curva de la Estructura Temporal de Tasas de Interés (ETTI), obteniendo como resultado las curvas de rendimiento para las tasas *forward* y *spot* expuestas a continuación:

Gráfica 6: Estructura temporal de tasas de rendimiento *spot* mediante el modelo Nelson-Siegel-Svensson de los bonos emitidos por la República Bolivariana de Venezuela al 30/09/17

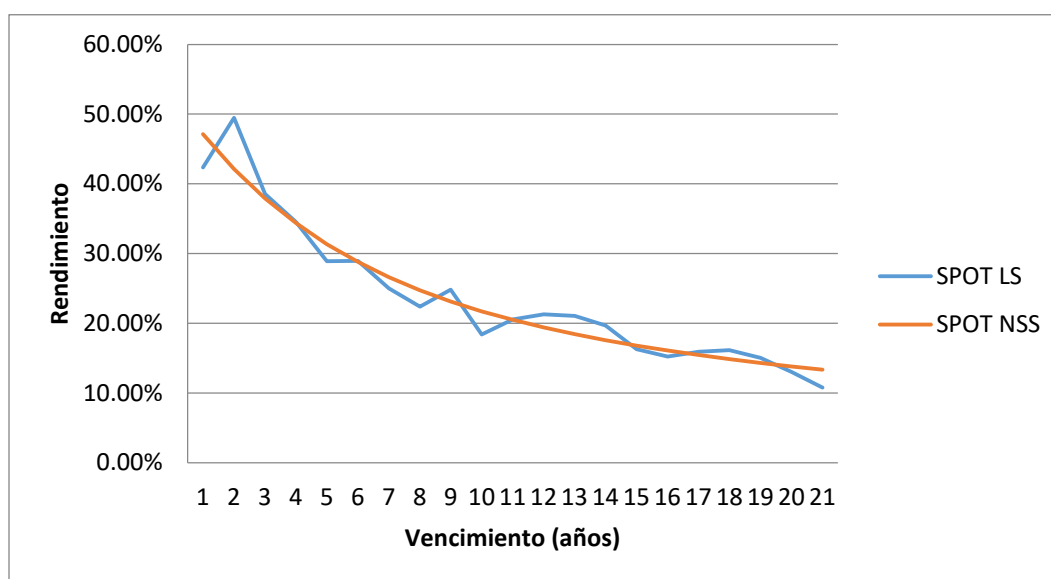


Gráfica 7: Estructura temporal de tasas de rendimiento *forward* mediante el modelo Nelson-Siegel-Svensson de los bonos emitidos por la República Bolivariana de Venezuela al 30/09/17



Podemos comparar las curvas *spot* obtenidas mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO) y la curva *spot* obtenida mediante Nelson-Siegel-Svensson para comprobar que el último produce una curva que se adapte a la primera curva calculada, siendo esta más estilizada. A través de la siguiente gráfica se demuestra que el modelo utilizado presenta un buen ajuste para la data venezolana tal y como lo había establecido en investigaciones anteriores Chirinos y Moreno (2011):

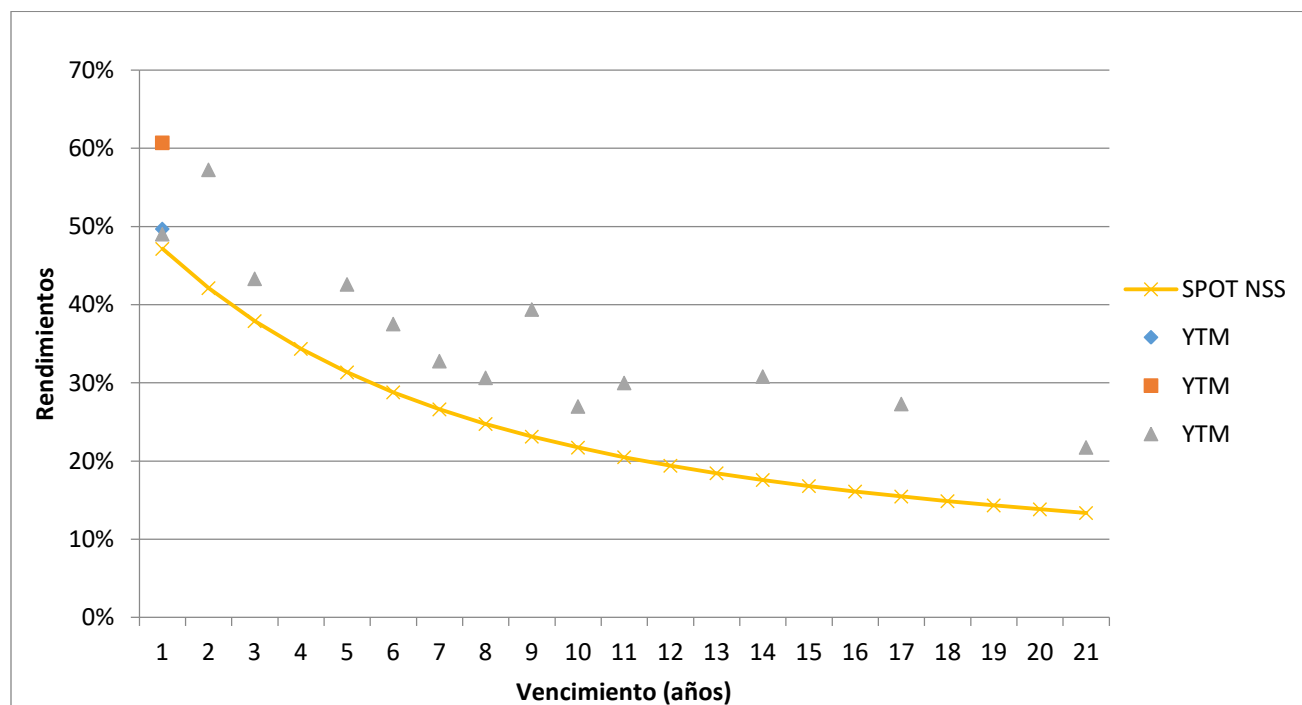
Grafica 8: Comparación entre la Estructura Temporal de Tasas de Rendimiento Spot mediante el modelo Nelson-Siegel-Svensson y la Estructura Temporal de Tasas de Rendimiento Spot mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios de los bonos emitidos por la República Bolivariana de Venezuela al 30/09/17



A modo ilustrativo podemos graficar en conjunto los rendimientos obtenidos por el método de los rendimientos al vencimiento y las tasas *spot* obtenidas por el modelo. Según Svensson (1994) se espera que estos rendimientos sean diferentes ya que se basan en métodos de

cálculo diferentes con distintos supuestos; lo cual se comprobó como cierto en los cálculos tal como se aprecia en la grafica siguiente:

Grafica 9: Comparación entre la Estructura Temporal de Tasas de Rendimiento Spot mediante el modelo Nelson-Siegel-Svensson y los rendimientos al vencimiento (YTM) de los bonos emitidos por la República Bolivariana de Venezuela al 30/09/17

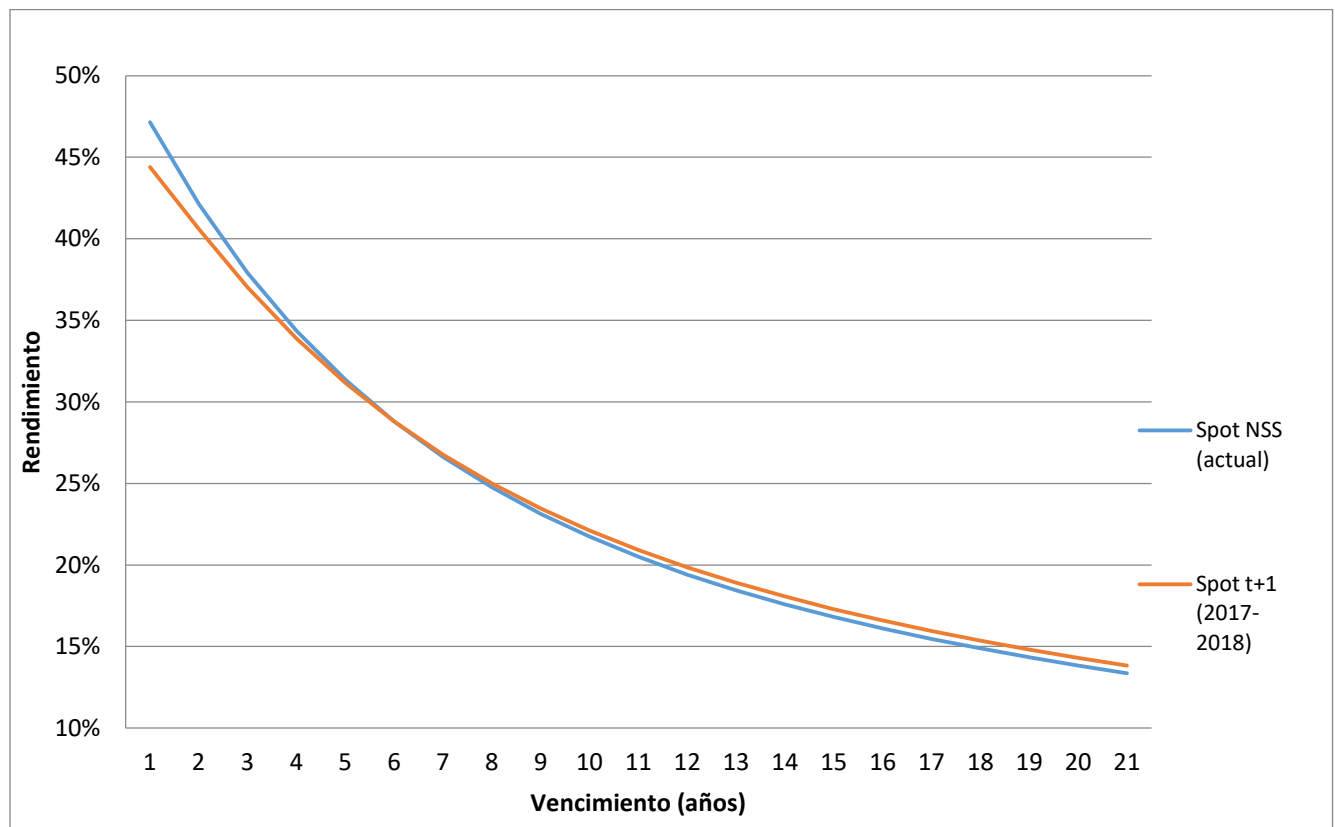


4.5 Estimación de las tasas de rendimiento *spot* para el periodo 2017-2018

Apegándonos a la teoría de las expectativas imparciales, se estimaron las tasas *spot* para un periodo $t+1$, en este caso para el 2017-2018. Esto se realizó con base en la relación de equilibrio existente entre las tasas *forward* y *spot* explicada en el Capítulo II de este trabajo de investigación. En el anexo H se aprecian las tasas *spot* actuales y proyectadas a un año. Al

realizar la representación gráfica de ambas se obtiene la comparación entre las tasas *spot* actuales y las que el mercado espera que sean dentro de un año.

Grafica 10: Comparación entre la Estructura Temporal de Tasas de Rendimiento Spot actuales mediante el modelo Nelson-Siegel-Svensson y la Estructura Temporal de Tasas de Rendimiento Spot para el 2017-2018 mediante la teoría de expectativas imparciales.



Se observa como las expectativas del mercado establecen que las tasas de rendimiento a corto plazo disminuirán en un periodo de un año; y a su vez, el mercado espera que las tasas a largo plazo aumenten. Esto se evidencia al ver que la curva spot correspondiente al periodo 2017-2018 se encuentra por debajo de la actual en los vencimientos más cercanos, a la vez que en los vencimientos más lejanos se encuentra sobre la curva actual.

CAPÍTULO V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En este trabajo de investigación se buscó un modelo que, de manera parsimoniosa y simple, se adaptara correctamente a la data de los bonos emitidos por la Republica de Venezuela en dólares. Dentro de la literatura alrededor de estos temas hay una gran variedad de modelos; sin embargo, nos decantamos por el Nelson-Siegel-Svensson por su aceptación entre distintos bancos centrales alrededor del mundo. Además, según Chirinos y Moreno (2011), este modelo presenta el mejor ajuste a la data venezolana al compararlo con el de Vasicek y Nelson-Siegel.

El modelo Nelson-Siegel-Svensson permite estimar las tasas de rendimiento, tanto *spot* como *forward*, de una manera precisa. Esta información no es observable directamente en los mercados financieros, sino que se requiere de la aplicación del modelo para estimar las tasas deseadas. Estas estimaciones permiten realizar una serie de análisis de índole macroeconómica y financiera.

Desde el punto de vista macroeconómico, Dombrecht y Wouters (1998) explican que existe una correlación directa entre la pendiente de la curva de rendimientos *spot* y el crecimiento del PIB real. Por lo tanto, al presentar una curva *spot* con pendiente negativa podemos concluir que se espera un crecimiento negativo del PIB real. Esta información puede ser de utilidad para inversionistas nacionales y extranjeros ya que el crecimiento del PIB, que señala el crecimiento económico del país, es una variable importante a tomar en cuenta en el momento de la toma de decisión del país donde se quiere invertir capital.

Svensson (1994) indica que si se compara la curva *forward* de un país con la de otro podemos estimar, mediante la diferencia entre ambas, la tasa de depreciación esperada en el tiempo de la moneda local relativo a la moneda extranjera. Esto es un elemento a tomar en cuenta cuando se hace una evaluación económica de un país al momento de realizar una inversión. También las tasas *forward* pueden ser vistas como una estimación de la evolución en el tiempo que va a tener la tasa “repo o *overnight*”. Esta tasa es de mucha utilidad para los Bancos Centrales de los países, ya que te permite hacer política monetaria dependiendo del objetivo de inflación que se tenga. Sin embargo, como en Venezuela hay control tanto de cambio como de tasas de interés, recomendamos que esto sea evaluado en una investigación futura bajo un distinto ambiente macroeconómico.

Desde el punto de vista financiero, se realizó una proyección de la curva de rendimientos para el próximo año; utilizando los supuestos asumidos por la teoría de las expectativas imparciales para la explicación de las formas de las curvas de rendimiento. Estamos conscientes que pueden existir factores presentes en otras teorías tales como: la prima de riesgo, prima de liquidez o hábitat preferido; que hagan a esta estimación imprecisa. Sin embargo, los resultados de este trabajo de investigación son acertados si se asume que existe un equilibrio de mercado como el planteado en la teoría de las expectativas imparciales que hace que las primas de riesgo y liquidez sean irrelevantes; tal como los consideró en su modelo Svensson (1994) también consideró irrelevantes dentro de su modelo.

Al realizar esta estimación se obtuvo que la curva de rendimientos va a presentar una serie de movimientos entre el tiempo actual y un año, que permiten aplicar estrategias de

inversión por parte de fondos de cobertura, inversionistas individuales y bancos. Estas estrategias se basan en el análisis conocido como “*Steepening and Flattening Yield Curve*”, el cual supone que la curva de rendimiento puede sufrir cambios en su pendiente donde la misma se puede hacer más inclinada o más acostada generando oportunidades de inversión, según CME Group (2013) . Para aprovechar este análisis Powers y Thomas (2015) explican que se puede aplicar una estrategia de inversión conocida como *Barbell*, la cual según McFarlane (2014) consiste en realizar una inversión de 2 puntas: una en la parte de vencimientos más alejados y otra en la parte de los vencimientos más cercana. De esta manera se busca estar lo más alejado de los vencimientos de la parte media de la curva ya que las variaciones de precios se van a registrar con mayor magnitud en los vencimientos más cercanos y lejanos.

Nuestra recomendación es la incorporación a este modelo coeficientes que incorporen los efectos del riesgo y la liquidez en las estimaciones; de esta manera se estaría incluyendo los factores propuestos por las otras teorías sobre las formas de la curva de rendimiento.

Como conclusión, identificamos que a pesar de que no se tienen bonos observables para cada fecha de vencimiento, es posible realizar estimaciones que completen la data necesaria para la satisfactoria aplicación del modelo Nelson-Siegel-Svensson; resultando este perfectamente aplicable al caso venezolano.

BIBLIOGRAFÍA

- Alexander, G. J., Sharpe, W. F., Bailey, J. V., Ramos, E. N., & Antana, M. D. (2003). *Fundamentos de inversiones: teoría y paráctica*. Madrid, España: Prentice Hall.
- Aljinović, Z., Poklepović, T., & Katalinić, K. (2012). Best Fit Model For Yield Curve Estimation. *Croatian Operational Research Review*. Consultado el 8 de julio de 2017.
- BCRP. (2011). *Glosario de Términos Económicos*. Lima
- Benninga, S. (2014). *Financial modeling* (4th ed.). Cambridge, MA: MIT Press.
- BIS (2005). Zero-Coupon Yield Curves: Technical Documentation. SSRN Electronic Journal. Doi:10.2139/ssrn.1188514
- Bolder, D. J., & Streliski, D. (1999). Yield Curve Modelling at the Bank of Canada. *SSRN Electronic Journal*. Doi:10.2139/ssrn.1082845
- Burden, R. L., & Faires, J. D. (2007). *Análisis numérico*. S.l.: International Thomson. México.
- Cabrera, D., Lammers, J., Del Prado Morón, M., & Vegas, A. (2014). The Nelson-Siegel-Svensson approach. *Universidad Carlos III de Madrid*.

CFA. (2012). CFA program curriculum. Vol. 5: Alternative investments and fixed income: Level 2 2012. Boston, MA: Pearson.

Chirinos, A. M., & Moreno, M. (2011). Estimación de la Estructura Temporal de las Tasas de Interés: El Caso Venezolano. Consultado el 13 de agosto del 2017.

Chirinos, A y Pagliacci, C (2014). Macroeconomic fluctuations and the forward yield curve. BCV Colección Economía y Finanzas Serie Documentos de Trabajo.

Claritas Investment Certificate. (2014). Charlottesville, VA: CFA Institute.

CME Group. (2013.). Yield Curve Shifts Create Trading Opportunities. Consultado de: https://www.cmegroup.com/trading/interest-rates/files/Yield_Curve_Strategy_Paper.pdf

Cochrane, J.H. (2000). *Asset pricing*. University of Chicago.

Gitman, L. J., Joehnk, M. D., Ángel, S. C., Mario, A. R., Valencia, H., & Rivera, I. P. (2009). Fundamentos de inversiones. México: Pearson Educación de México.

Greene, W. H. (2002). *Econometric analysis* (5th ed.). Prentice Hall.

Hidalgo, S. (2011). Estructura temporal de tasas de interés y actividad económica en Venezuela. Un enfoque de redes neuronales. BCV Colección Economía y Finanzas Serie Documentos de Trabajo.

Investopedia Staff (2010). Least Squares. Consultado el 19 de septiembre del 2017, de <http://www.investopedia.com/terms/l/least-squares.asp>

Kazemie, N (2014). Mispricing Due to Nelson-Siegel-Svensson model (Master's thesis). Obtenido de: <http://janroman.dhis.org/stud/EXJOBB/Neda.pdf>

Kim, T., Abdul, R., & Sie, K. (2009). Solving Non Linear Systems By Newton's Method Using Spreadsheet Excel. Consultado el 17 de 58 Ingeniería 2017, de http://eprints.uthm.edu.my/1908/1/SOLVING_NON_LINEAR_SYSTEMS_TAY_KIM_GAI_K_2009.pdf

Kwesi, B., Amoako, O., Acheampong, I. & Hassan, B. (2005) Svensson (1994) model and the Nelson & Siegel (1987) model. Mälardalens University Department of Mathematics and Physics

Lilley, D. (2008). Some Useful Numerical Methods Excel/VBA Codes with Applications. 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit. Doi:10.2514/6.2008-1164

Malkiel, Burton G. 1966. *The Term Structure of Interest Rates*. Princeton, N.J.: Princeton University Press.

McCulloch, J. Huston (1971), "Measuring the Term Structure of Interest Rates," *Journal of Business* 44, 19-31

McFarlane, G. (2014). *The Barbell Investment Strategy*. Consultado el 23 Octubre, 2017, de <http://www.investopedia.com/articles/investing/013114/barbell-investment-strategy.asp>

Nelson, C. R., & Siegel, A. F. (1987). Parsimonious Modeling of Yield Curves. *The Journal of Business*, 60(4).

PIMCO. (Ed.). (2004, Septiembre). *Yield Curve Basics*. Consultado en junio del 2017, de http://faculty.baruch.cuny.edu/ryao/fin3710/pimco_yield_curve_primer.pdf

Powers, C., & Thomas, R. (2015.). *How to Play the Flattening of the (US) Yield Curve*. State Street Global Advisors IQ: Fall 2014 Issue Excerpt. Consultado de: <https://www.ssga.com/investment-topics/fixed-income/2015/How-to-Play-the-Flattening-of-the-US-Yield-Curve.pdf>.

Sampieri, R. H., Collado, C. F., & Lucio, P. B. (2006). *Metodología de la investigación*. México: McGraw Hill.

Svensson, L. E. (1994). Estimating and Interpreting Forward Interest Rates: Sweden 1992-1994.

Wood, John H. (1983). Do yield curves normally slope up? The term structure of interest rates, 1862-1982. *Economic Perspectives*, Federal Reserve Bank of Chicago 7 (July/ August): 17-23.

Zill, D. G., & Cullen, M. R. (2008). *Ecuaciones diferenciales. V1: 60 Ingeniería 60 avanzadas para 60 Ingeniería*. México: McGraw-Hill Interamericana.

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A.....	62
ANEXO B.....	63
ANEXO C.....	64
ANEXO D	65
ANEXO E	66
ANEXO F	66
ANEXO G	67
ANEXO H	68

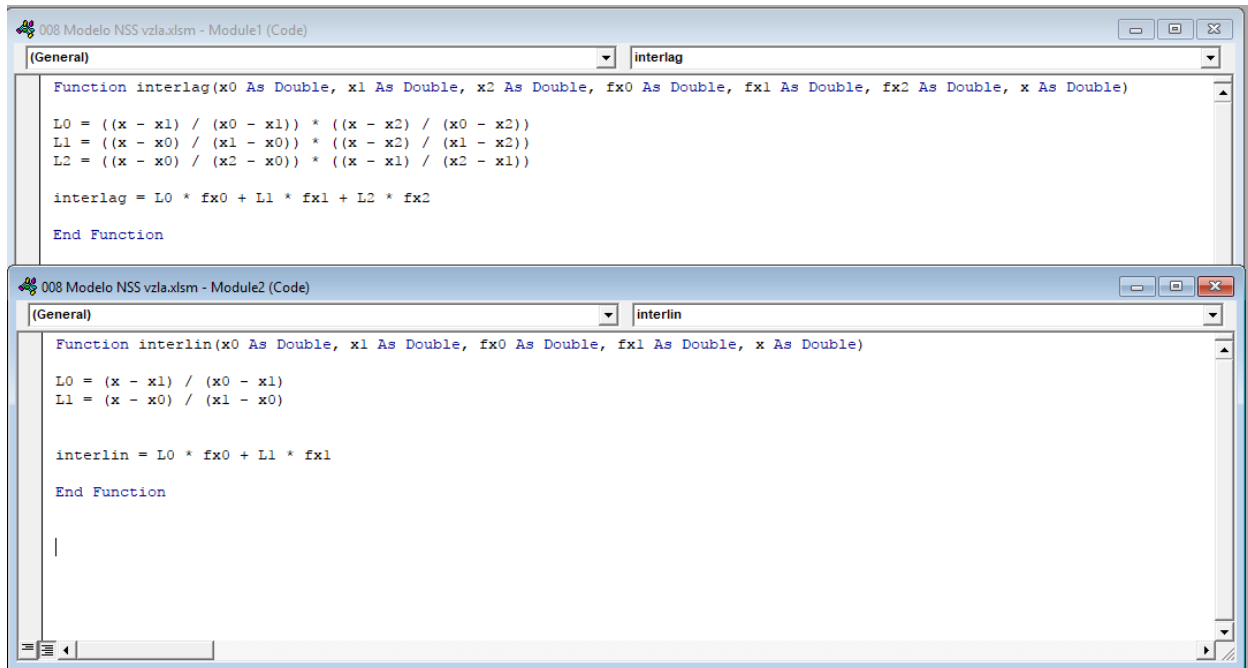
ANEXO A

**Data utilizada de los bonos en dólares emitidos por la República Bolivariana de Venezuela,
extraída de la Bolsa de Frankfurt**

Maturity	Bono	Precio	Cupon
1	Venz 18	78.38	13.625
1	Venz 18	73.7	13.625
1	Venz 18	66.52	7
2	Venz 19	45.12	7.75
3	Venz 20	39.5	6
5	Venz 22	46.88	12.75
6	Venz 23	35.62	9
7	Venz 24	35.35	8.25
8	Venz 25	34.6	7.65
9	Venz 26	39.5	11.75
10	Venz 27	40	9.25
11	Venz 28	35.5	9.25
14	Venz 31	41.24	11.95
17	Venz 34	36.3	9.375
21	Venz 38	34.5	7

ANEXO B

Códigos de programación de VBA para calcular la interpolación cuadrática y lineal por LaGrange



The image shows two overlapping VBA code windows from an Excel spreadsheet. The top window, titled '008 Modelo NSS vzla.xlsm - Module1 (Code)', contains the code for a quadratic interpolation function named 'interlag'. The bottom window, titled '008 Modelo NSS vzla.xlsm - Module2 (Code)', contains the code for a linear interpolation function named 'interlin'. Both windows have a 'General' tab selected in the left-hand pane.

```
Function interlag(x0 As Double, x1 As Double, x2 As Double, fx0 As Double, fx1 As Double, fx2 As Double, x As Double)

L0 = ((x - x1) / (x0 - x1)) * ((x - x2) / (x0 - x2))
L1 = ((x - x0) / (x1 - x0)) * ((x - x2) / (x1 - x2))
L2 = ((x - x0) / (x2 - x0)) * ((x - x1) / (x2 - x1))

interlag = L0 * fx0 + L1 * fx1 + L2 * fx2

End Function
```

```
Function interlin(x0 As Double, x1 As Double, fx0 As Double, fx1 As Double, x As Double)

L0 = (x - x1) / (x0 - x1)
L1 = (x - x0) / (x1 - x0)

interlin = L0 * fx0 + L1 * fx1

End Function
```

ANEXO C

Data utilizada de los bonos en dólares emitidos por la República Bolivariana de Venezuela

una vez aplicada la interpolación de LaGrange

Vencimiento	Precio	Cupon
1	78.38	13.625
1	73.7	13.625
1	66.52	7
2	45.12	7.75
3	39.5	6
4	40.08667	9.375
5	46.88	12.75
6	35.62	9
7	35.35	8.25
8	34.6	7.65
9	39.5	11.75
10	40	9.25
11	35.5	9.25
12	36.12	10.15
13	38.03333	11.05
14	41.24	11.95
15	42.02	11.09167
16	40.37333	10.23333
17	36.3	9.375
18	33.676	8.78125
19	32.50133	8.1875
20	32.776	7.59375
21	34.5	7

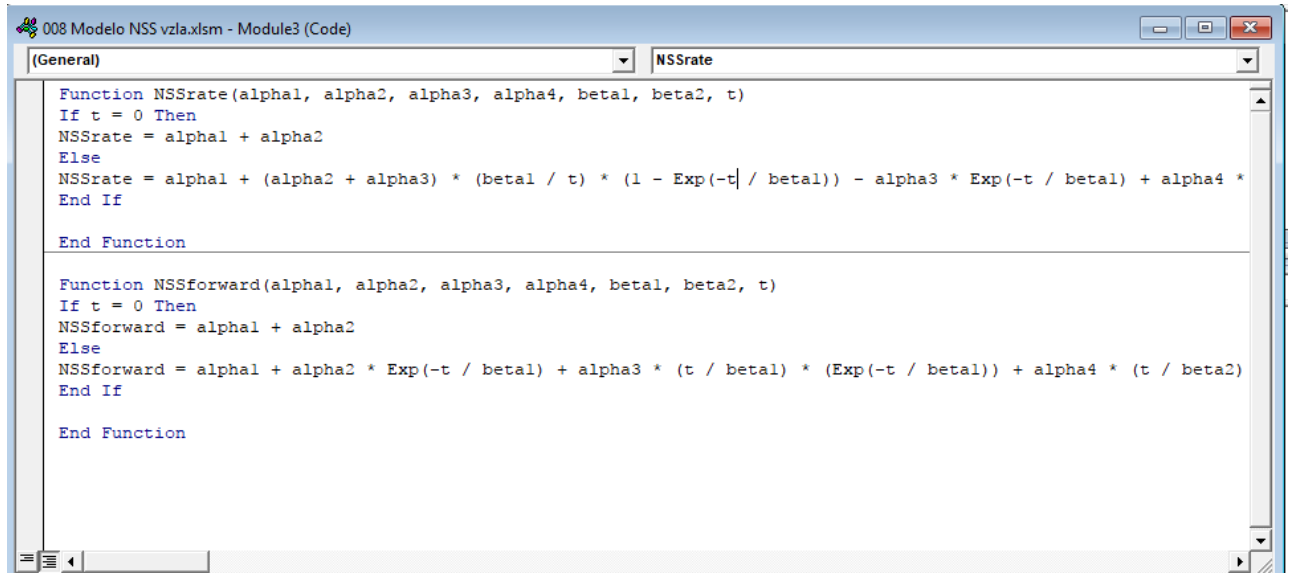
ANEXO D

Matriz de flujo de caja realizada para el cálculo del factor de descuento

Bono/Tiempo	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Vent13	78.38	113.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vent13	73.7	113.625	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vent7	66.52	107	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vent7	45.12	107.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vent6	39.5	6	6	106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	40.09	9.375	9.375	9.375	109.375	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vent12	46.88	12.75	12.75	12.75	12.75	112.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vent9	35.62	9	9	9	9	9	109	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vent8	35.35	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	8.25	108.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vent7	34.6	7.65	7.65	7.65	7.65	7.65	7.65	107.65	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vent11	39.5	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	11.75	111.75	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vent9	40	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25	109.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vent9	35.5	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25	9.25	109.25	0	0	9.25	109.25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	36.12	10.15	10.15	10.15	10.15	10.15	10.15	10.15	10.15	10.15	10.15	110.15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	38.63333333	11.05	11.05	11.05	11.05	11.05	11.05	11.05	11.05	11.05	11.05	11.05	11.05	111.05	0	0	0	0	0	0	0	0
Vent11	41.24	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95	11.95	111.95	0	0	0	0	0	0	0	0
	42.02	11.09	11.09	11.09	11.09	11.09	11.09	11.09	11.09	11.09	11.09	11.09	11.09	11.09	111.09	0	0	0	0	0	0	0
	40.37333333	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	10.23	0	0	0	0	0
Vent9	36.3	9.375	9.375	9.375	9.375	9.375	9.375	9.375	9.375	9.375	9.375	9.375	9.375	9.375	9.375	9.375	9.375	109.375	0	0	0	0
	33.676	8.78	8.78	8.78	8.78	8.78	8.78	8.78	8.78	8.78	8.78	8.78	8.78	8.78	8.78	8.78	8.78	108.78	0	0	0	0
	32.50333333	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	8.19	108.19	0	0	0	0
	32.776	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	7.59	107.59	0
Vent7	34.5	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	107

ANEXO E

Códigos de programación de VBA para calcular la curva *spot* y *forward* utilizando el modelo de Nelson-Siegel-Svensson



```

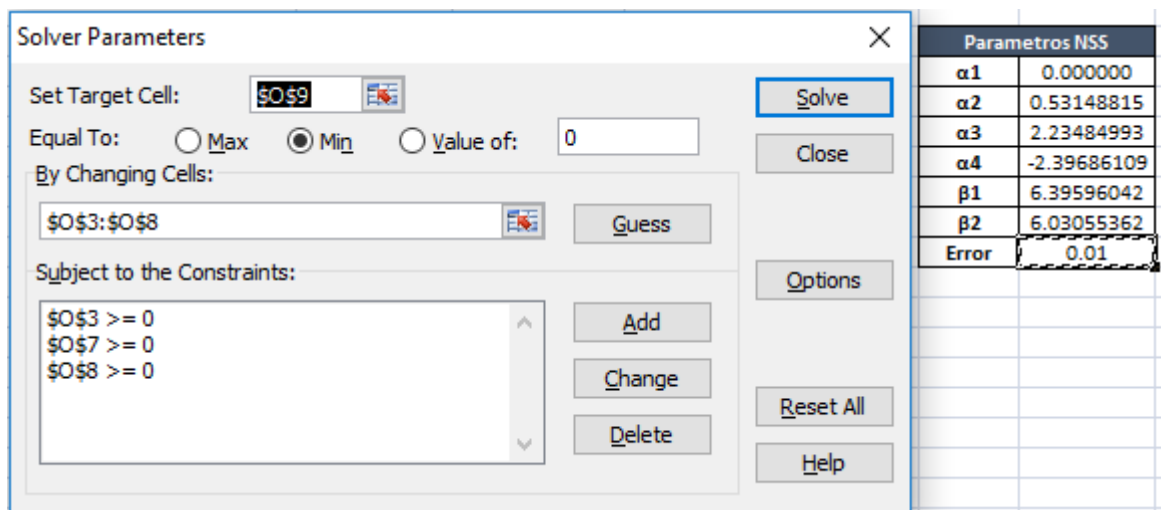
Function NSSRate(alpha1, alpha2, alpha3, alpha4, beta1, beta2, t)
    If t = 0 Then
        NSSRate = alpha1 + alpha2
    Else
        NSSRate = alpha1 + (alpha2 + alpha3) * (beta1 / t) * (1 - Exp(-t / beta1)) - alpha3 * Exp(-t / beta1) + alpha4 *
    End If
End Function

Function NSSforward(alpha1, alpha2, alpha3, alpha4, beta1, beta2, t)
    If t = 0 Then
        NSSforward = alpha1 + alpha2
    Else
        NSSforward = alpha1 + alpha2 * Exp(-t / beta1) + alpha3 * (t / beta1) * (Exp(-t / beta1)) + alpha4 * (t / beta2)
    End If
End Function

```

ANEXO F

Estimación de los parámetros en Excel



Solver Parameters

Set Target Cell:

Equal To: ☐ Max ☒ Min ☐ Value of:

By Changing Cells:

Subject to the Constraints:

-
-
-

Parameters NSS

Parameter	Value
α_1	0.000000
α_2	0.53148815
α_3	2.23484993
α_4	-2.39686109
β_1	6.39596042
β_2	6.03055362
Error	0.01

ANEXO G

Tasas *spot* y *forward* calculadas a través del modelo NSS para los bonos venezolanos

Vencimiento	Factor de Descuento	SPOT LS	SPOT NSS	Error	Forward NSS
1	0.65462	42.37%	47%	0.0022823	42%
2	0.37166	49.49%	42%	0.0054203	33%
3	0.31455	38.55%	38%	0.0000414	26%
4	0.25158	34.50%	34%	0.0000020	21%
5	0.23571	28.90%	31%	0.0006016	18%
6	0.17584	28.97%	29%	0.0000028	15%
7	0.17383	25.00%	27%	0.0002650	13%
8	0.16665	22.40%	25%	0.0005537	11%
9	0.10696	24.84%	23%	0.0002900	10%
10	0.15858	18.42%	22%	0.0010971	9%
11	0.10396	20.58%	20%	0.0000007	8%
12	0.07783	21.28%	19%	0.0003480	7%
13	0.06469	21.06%	18%	0.0006837	7%
14	0.06347	19.69%	18%	0.0004445	6%
15	0.08676	16.30%	17%	0.0000263	6%
16	0.08723	15.25%	16%	0.0000744	5%
17	0.06669	15.93%	15%	0.0000212	5%
18	0.05448	16.17%	15%	0.0001657	5%
19	0.05703	15.07%	14%	0.0000544	4%
20	0.07380	13.03%	14%	0.0000644	4%
21	0.10354	10.80%	13%	0.0006587	4%

ANEXO H

Comparación entre la tasa *spot* y la tasas *spot* para el siguiente periodo (t+1)

Vencimiento	Spot NSS	Spot t+1
1	47%	44%
2	42%	41%
3	38%	37%
4	34%	34%
5	31%	31%
6	29%	29%
7	27%	27%
8	25%	25%
9	23%	23%
10	22%	22%
11	20%	21%
12	19%	20%
13	18%	19%
14	18%	18%
15	17%	17%
16	16%	17%
17	15%	16%
18	15%	15%
19	14%	15%
20	14%	14%
21	13%	14%