UNIVERSIDAD ADOLFO IBAÑEZ

DERIVADOS AVANZADOS

CALIBRATING AN OPTION PRICING MODEL WITH MARKET DATA

Autores:
Felipe Durán Aranda
Felipe Galdames Vial

Profesor:
Prof. Jacques Burrus
Ayudantes:
Alejandro Olguin
Guillermo Sepulveda

Trabajo que busca presentar los análisis, resultados y conclusiones obtenidos para cada uno de los pasos del proyecto Calibrating an Option Pricing Model With Market Data, donde se aplican diversos modelos de valorización teóricos con información financiera real de los mercados.

Magíster Ingeniería Financiera
Facultad de Ingeniería y Ciencias

18 de Agosto, 2020

Contenidos

1 Prefacio

Mediante este informe se busca presentar los análisis, resultados y conclusiones obtenidos para cada uno de los pasos del proyecto *Calibrating an Option Pricing Model With Market Data*, el cual busca aplicar diversos modelos de valorización teóricos utilizando información financiera real de los mercados. Los cómputos necesarios para realizar este propósito se efectuarán principalmente en *Matlab*.

2 PART I: The data

Esta primera parte del proyecto tiene como objetivo realizar un primer acercamiento a los datos, identificando eventos históricos importantes que puedan haber tenido efectos en las series de tiempo en estudio, así como verificar la consistencia de la data que será utilizada posteriormente.

2.1 Step 1

En este primer paso se busca familiarizarse con los datos y series de tiempo que se tienen, respecto al tipo de cambio entre la libra esterlina y el dólar (GBP-USD). Con este motivo, se pide buscar los hechos históricos importantes en el período de estudio que afectaron a los mercados involucrados y el tipo de cambio en juego. A continuación se presenta la variación del tipo de cambio en el transcurso de Enero del año 2016 a Enero del año 2019:

Figura 1: Tipo de cambio GBP-USD entre año 2016 y 2019

En el gráfico anterior se pueden observar diversos tramos en los cuales el tipo de cambio fluctúa, encontrándose la libra esterlina más depreciada o apreciada respecto al dólar. De manera general, estas fluctuaron acorde al proceso de separación que estaba llevando el Reino Unido para dejar de formar parte de la Unión Europea, proceso comúnmente denominado como *Brexit*, lo que se reflejó en una inestabilidad del valor de la libra esterlina durante dicho período. Finalmente, dentro de los hechos históricos importantes acontecidos durante este período tenemos los siguientes:

- Febrero 2016: El alcalde de Londres, Boris Johnson, le otorgó todo su apoyo y voto al *Brexit*, lo que provocó que los inversores vieran un mayor riesgo en el país, que finalmente se tradujo en un retiro de fondos por parte de los inversionistas y por ende una depreciación de la libra esterlina.

- Junio 2016: El referéndum celebrado el 23 de Junio de 2016, con motivo del *Brexit*, presentó una aprobación equivalente al 51,9% de los votantes apoyando la idea de abandonar la *Unión Europea*, por lo cual se procedió a invocar el artículo 50 del *Tratado de la Unión Europea*, con lo que, nuevamente se vieron reflejados los problemas y preocupaciones asociadas a la salida del *Reino Unido* de la *Unión Europea*, provocando nuevamente un retiro de capitales.

- Febrero 2017: Desde este periodo, hasta comienzos del año 2018, se pudo observar como se recuperó la libra esterlina con respecto al dólar, alza que continuó durante dicho año. Lo anterior se debe a que el dolar se estuvo depreciando de forma gradual, desde que Donald Trump asumió como presidente de los Estados Unidos, debido a las malas relaciones que el mandatario llevó a cabo con respecto al comercio exterior, especialmente en la materia referente a China. Asimismo, mientras el dolar se estaba recuperando en Marzo del 2018, el tipo de cambio GBP-USD se precipitó a bajar, como se ve en el gráfico, debido a que el Reino Unido seguía gestionando su salida de la *Unión Europea*.

- Diciembre 2018: Finalmente, el 14 de Diciembre del año 2018, Theresa May (la primera ministra del *Reino Unido*) ganó el voto de confianza entre los parlamentarios, previo a esto, Theresa May fue muy cuestionada, por el acuerdo de salida planteado en ese entonces; el que no cumplía con todas las demandas exigidas por su partido político, lo que trajo mayor incertidumbre en el mercado británico y por ende una depreciación de la moneda local.

2.2 Step 2

Para este segundo paso, se procedió a verificar la consistencia de los datos con los cuales se trabajaran, así como lograr un mayor entendimiento de estos. Este objetivo fue ejecutado en tres pasos, indicados a continuación:

- **Cálculo del *Forward Price*:** Se obtuvo a partir del *Spot Price*, el factor de descuento doméstico y extranjero.
- **Cálculo del *Strike Price*:** Se calculó utilizando el valor *delta* entregado, los *Tenores*, la volatilidad implícita, el factor de descuento doméstico y extranjero.
- **Cálculo del *Option Fair Value*:** Finalmente, este se obtuvo a partir del *Strike Price*, *Spot Price*, la volatilidad implícita, los *Tenores* y los factores de descuento tanto doméstico como extranjero.

A continuación se presentan los cálculos, desarrollo y análisis de los procedimientos realizados. Las comparaciones realizadas se hicieron principalmente con los datos teóricos presentados en el documento *Excel Data Fitting A Quantitative Model Onto A Market Smile GBP-USD*.

2.2.1 Step 2.1: Forward Price

En este apartado, se procedió a calcular el *Forward Price* o precio *Forward*, utilizando los elementos previamente mencionados, a través de la siguiente fórmula:

$$K^{ATMF} = S_0 \cdot \frac{e^{-q \cdot T}}{e^{-r \cdot T}} \tag{1}$$

$$q = Tasa\ de\ descuento\ extranjera$$

$$r = Tasa\ de\ descuento\ doméstica$$

$$S_0 = Precio\ spot$$

$$T = Tiempo$$

Para esta ecuación, el tiempo utilizado corresponde al entregado en los datos como *Working Days*.

Por otra parte, cabe destacar que los datos utilizados presentan los factores de descuento y no las tasas. Para obtener estas últimas; las tasas r (interés doméstico) y q (interés extranjero), se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$r = \frac{-\ln(Factor\ descuento\ domestico)}{Tiempo} \tag{2}$$

$$q = \frac{-\ln(Factor\ descuento\ extranjero)}{Tiempo} \tag{3}$$

Cabe mencionar que la fórmula utilizada para el cálculo de los *Forwards* es válida al considerar la propiedad de un *ATM (At The Money) Forward*, en la cual, para valores *At The Money*, el *Strike Price* coincide con el *Forward Price* o *Precio Forward*.

Finalmente, una vez calculados los precios *Forwards*, se compararon con los valores teóricos entregados en el documento *Excel*. Se puede observar una muestra de los 10 primeros datos obtenidos en el anexo, específicamente en las tablas 1 y 2. Como se puede observar de los datos adjuntos, el valor de los errores resulta relativamente diminuto, cercano a 0, por lo cual se podría decir que el cálculo del precio *Forward* fue realizado de manera correcta.

2.2.2 Step 2.2: Strike Price

En esta etapa, tal como se mencionó con anterioridad, se procede a calcular los *Strike Prices* de los contratos para cada uno de los siguientes Δ (10P, 25P, ATM, 25C, 10C) y *Tenores* T (1 mes, 3 meses, 6 meses, 9 meses, 12 meses), a través de las siguientes ecuaciones:

$$K = S_0 \cdot e^{(r-q)\cdot T} \cdot e^{\frac{\sigma^2 \cdot T}{2} - d_1 \cdot \sigma \cdot \sqrt{T}} \tag{4}$$

$$d_1 = \epsilon \cdot N^{-1}\left(\frac{\epsilon \cdot \Delta}{\alpha}\right)$$

$$\alpha = e^{-q \cdot T}$$

Donde en la anterior ecuación, usando las propiedades pertinentes, Δ toma los valores de (0.9, 0.75, 0.5, 0.75, 0.9), expresados como Δ para una opción *Call*, por lo que se trabaja con un $\epsilon = 1$. Cabe destacar que se utilizaron valores iguales para los dos últimos Δ y para los primeros dos, debido a que los datos utilizados no contaban con la información correspondiente para ser usados con la forma (0.9, 0.75, 0.5, 0.25, 0.1). En los elementos anexados al final del documento se puede observar, específicamente en las tablas 3 y 4 con 10 filas de muestra, que el error de estimación respecto a los datos teóricos resulta relativamente pequeño, por lo que podríamos decir que el proceso fue ejecutado de manera correcta.

2.2.3 Step 2.3: Option Fair Value

En esta sección, primero se procedió a verificar la consistencia de las volatilidades entregadas (σ), las cuales serán utilizadas posteriormente en el cálculo del precio de las opciones (*Option Fair Value*). Para el caso de las volatilidades, se procedió a descomponer los diferentes σ, en términos de *Risk Reversal* y *Butterfly* utilizando las siguientes ecuaciones:

$$\sigma_{Call} = \sigma_{ATM} + \sigma_{BF} + \frac{\sigma_{RR}}{2} \tag{5}$$

$$\sigma_{Put} = \sigma_{ATM} + \sigma_{BF} - \frac{\sigma_{RR}}{2} \tag{6}$$

Las cuales, en términos de sus Δ, son consistentes con las volatilidades entregadas en los datos del documento *Excel*, presentando un error prácticamente de cero, tal como se puede observar en las tablas anexadas 5 y 6.

Una vez obtenidas las volatilidades, se procedió a utilizarlas para calcular el precio de las opciones, tanto para los diferentes *Tenores*, como para los diversos Δ, mediante la formula de Black-Scholes, la cual de forma general se puede expresar como:

$$V_0 = \epsilon \cdot S_0 \cdot e^{-qT} \cdot N(\epsilon \cdot d_1) - \epsilon \cdot K \cdot e^{-rT} \cdot N(\epsilon \cdot d_2) \tag{7}$$

En donde:

$$d_1 = \frac{\ln(\frac{S_0}{K}) + (r-q) \cdot T}{\sigma \cdot \sqrt{T}} + \frac{\sigma \cdot \sqrt{T}}{2}$$

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

$$\epsilon = \begin{cases} +1 & si\ es\ una\ opcin\ Call \\ -1 & si\ es\ una\ opcin\ Put \end{cases}$$

$$N = Función\ de\ Densidad\ Acumulada$$

Finalmente, realizando el procedimiento anterior se obtuvo un error promedio de 0.0934, lo que, dado los relativamente diminutos valores de las opciones puede ser considerado un valor a tomar en cuenta, según la comparación entre los valores calculados y los valores teóricos presentados en el documento *Excel*. Estos errores se muestran en las tablas anexadas 7 y 8 respectivamente, con una muestra de 50 valores en conjunto a su error respectivo.

3 PART II: The pricing engine

En esta segunda parte del proyecto, se busca implementar un *Motor de Cálculo* que sea capaz de valorizar diferentes opciones de manera correcta, el cual adicionalmente será probado con distintos modelos. En primera instancia, se utilizarán opciones y modelos simples, tales como procesos deterministas, para luego utilizar modelos más complejos como lo son procesos estocásticos. A continuación se presentan los diversos resultados obtenidos a partir de simulaciones utilizando el método de *Monte-Carlo*.

3.1 Step 3

En este paso del proyecto, se plantean los procedimientos y metodologías utilizados para la confección del motor de cálculo basado en simulaciones de *Monte-Carlo*, sujeto a simular cambios en el *Spot* subyacente a través de un modelo de *Movimiento Browniano Geométrico*. Los cambios y simulaciones en el *Spot* se realizan de la siguiente forma:

$$dS_t = (r - q) \cdot S_t \cdot dt + \sigma \cdot S_t \cdot dW_t{}^Q \tag{8}$$

En donde la variación de las fluctuaciones queda sujeto a la volatilidad σ, y en donde $W_t{}^Q$ corresponde a un proceso de *Wiener*, el cuál entrega aleatoriedad al modelo, convirtiéndolo en un proceso estocástico. Para este caso en particular, se trabajó con el esquema analítico, debido a su fácil implementación, quedando de la siguiente manera:

$$S_{t+1} = S_t \cdot e^{(r-q-\frac{\sigma^2}{2})\cdot\Delta t+\sigma\cdot\Delta W} \tag{9}$$

Cuya forma es equivalente a:

$$S_{t+1} = S_t \cdot e^{(r-q-\frac{\sigma^2}{2})\cdot\Delta t+\sigma\cdot\sqrt{\Delta t}\cdot Z} \tag{10}$$

$$Con\ Z = Normal\ (0, 1)$$

La formulación planteada anteriormente tiene como función el simular diferentes escenarios para el *Spot* subyacente, específicamente realizando 10.000 simulaciones por cada aplicación en nuestro modelo, de la cuál cada una de ellas consta de una trayectoria diferente, determinada por el proceso de *Wiener*. Una vez obtenidas las distintas simulaciones, se procedió a calcular el *Payoff* V_t de las opciones de la siguiente forma:

$$V_t = V(S_t) = Max(S_t - K, 0) \tag{11}$$

Posteriormente, se procedió a calcular el costo de replicación descontado, conocido también como *Payoff* descontado, el cual se calcula de la siguiente manera:

$$Y_t = \frac{V_t}{e^{r \cdot t}} \tag{12}$$

Finalmente, se procedió a calcular el precio de la opción V_0, el cual se obtuvo calculando el promedio de todos los *Payoff* descontados conseguidos, tal como se puede ver en la siguiente expresión:

$$\overline{V_0}(N) = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^{N} Y_i \tag{13}$$

O bien en nuestro caso particular:

$$\overline{V_0}(10,000) = \frac{1}{10,000} \cdot \sum_{i=1}^{10,000} Y_i$$

3.2 Step 4

En este paso se busca poner a prueba el motor de cálculo, utilizando formas deterministas en la metodología de *Monte-Carlo*, implementada en el paso anterior. Para esto se evaluarán principalmente dos opciones, un depósito a plazo (*Money Market Account, MMA*) y un contrato *Forward.*

3.2.1 Step 4.1: Money Market Account

En primera instancia, tenemos el depósito a plazo, cuya forma es determinista, dado que el comportamiento de este contrato es conocido, correspondiendo a la siguiente forma:

$$V_0 = D^{DOM}(T) = e^{-r \cdot t} \tag{14}$$
$$Con\ Payoff = 1$$

Posteriormente, se procedió a realizar las respectivas simulaciones de *Monte-Carlo*, moviéndonos a través de los diferentes *Tenores* para el mismo pilar *Delta C10.* Con tal de probar que el modelo funcionara de manera correcta de forma determinista, se definió la volatilidad $\sigma = 0$. Por otra parte, al tratarse de un depósito a plazo, el *Payoff* siempre resulta igual a 1, por lo que el *Strike Price* pierde importancia en esta situación.

El resultado esperado de este computo es que el valor empírico entregado por la simulación coincida con el valor teórico que se obtiene con la fórmula 14, lo que para nuestro caso resulta un error prácticamente inexistente, específicamente del 7.3352e-15%.

Luego, se procedió a crear un intervalo de confianza con un nivel de confiabilidad del 99%, en el cual se busca que los valores calculados anteriormente, se encuentren dentro de los límites del intervalo de confianza, una vez estandarizados utilizando la siguiente ecuación:

$$Z = \frac{x - \mu}{\sigma} \tag{15}$$

Finalmente, una vez realizados los procedimientos anteriormente mencionados, se obtuvo un porcentaje de datos dentro del intervalo de confianza del 100%.

3.2.2 Step 4.2: Forward Contract

En segunda instancia, se analizó el caso de un contrato *Forward*.. A diferencia del caso anterior, en esta oportunidad el *Strike Price* si toma importancia, dado que es necesario para el cálculo del *Payoff*, que viene dado por la siguiente ecuación:

$$V(S_t) = max(S_t - K, 0) \tag{16}$$

A su vez, también conocemos la forma del valor teórico de la opción *Forward*, el cuál viene dado por la fórmula cerrada:

$$V_0 = D^{FOR}(T) \cdot S - D^{DOM}(T) \cdot K = e^{-r \cdot T} \cdot S - e^{-q \cdot T} \cdot K \tag{17}$$

A continuación, tomando estos puntos en consideración, se procedió a realizar las simulaciones de *Monte-Carlo*, nuevamente utilizando una volatilidad $\sigma = 0$, para mantener los cálculos de forma determinista. Los cálculos fueron realizados nuevamente para todos los *Tenores* con el mismo pilar *Delta C10*. De manera similar a la pregunta anterior, se obtuvo un error pequeño, específicamente del 0.082052%.

Finalmente, se volvió a comprobar que los valores obtenidos empíricamente estuvieran dentro de un intervalo de confianza del 99%, replicando el procedimiento de la pregunta anterior, en el cuál se obtuvo que un 99.9502% de los datos se encontraban dentro del intervalo de confianza.

3.3 Step 5

El objetivo de este paso consiste en incorporar una volatilidad constante al modelo planteado en preguntas anteriores, específicamente para opciones *European Vanilla Call*, en donde se busca que los valores obtenidos a través de las simulaciones de *Monte-Carlo* coincidan con los valores teóricos de la fórmula de *Black-Scholes* (7). Con este propósito, se utilizaron volatilidades constantes de 5%, 10%, 20% y 50%, realizando simulaciones para todos los *Tenores* posibles, manteniendo el mismo pilar *Delta C10*, para todas las volatilidades anteriormente mencionadas. Así mismo se utilizaron las tasas de descuento y *Strike Price* correspondientes. Cabe destacar que para que los valores teóricos y empíricos coincidan, y bajo el modelo de *Stein-Stein*, se debe asumir que:

$$\frac{1}{2}\sigma^2 PF_{pp} + rF_{pp} - rF + F_t + \frac{1}{2}\kappa^2 F_{\sigma\sigma} + F_\sigma\left[-\delta(\sigma-\theta) - \phi\kappa\right] = 0 \qquad (18)$$

En donde:

$$P = Precio\ del\ activo.$$

$$F = Valor\ opción.$$

$$\phi = Precio\ de\ mercado\ de\ la\ volatilidad = 0$$

$$\delta,\ \theta,\ \kappa = Parámetros\ del\ modelo.$$

Bajo los anteriores supuestos, se cumple que las volatilidades permanecen constantes, así como también los pares de coeficientes de correlación entre los retornos del activo, la volatilidad y el retorno del portafolio de mercado.

Finalmente, se realizaron simulaciones de *Monte-Carlo* para las volatilidades, Tenores, y pilar *Delta C10* mencionados anteriormente, para los cuales se obtuvo un error del 0.92959% entre los valores empíricos y los valores teóricos.

3.4 Step 6

Este paso no es considerado para esta actividad.

3.5 Step 7

En este paso, se utilizaron los valores empíricos obtenidos en el *Step* 5 para calcular las volatilidades implícitas de dichos resultados y poder analizar los distintos parámetros que influyen en la curva *Smile*.

Con tal de obtener aquellas volatilidades citadas con anterioridad se utilizó el algoritmo de *Newton-Raphson*, el cual a partir de un σ inicial, la fórmula de *Black-Scholes* (7) y el valor del *Greek Vega*, itera la volatilidad inicial hasta obtener la volatilidad implícita en el modelo. Cabe mencionar que el valor del *Greek Vega* viene dado por la siguiente ecuación:

$$V'^{BS} = \frac{\partial V^{BS}}{\partial \sigma} = S_0 \cdot e^{-qT} \cdot n(d1) \cdot \sqrt{T} \tag{19}$$

En donde además, las iteraciones de la volatilidad, en cada ciclo del algoritmo de *Newton-Raphson*, vienen determinados por la siguiente ecuación:

$$\sigma_{N+1} = \sigma_N + \frac{C_0 - V_0(\sigma_N)}{V'^{BS}(\sigma_N)} \tag{20}$$

Finalmente, una vez aplicado el algoritmo de *Newton-Raphson* con una precisión (*Accuracy*) de 0.00001, se pudo observar que los valores de las volatilidades implícitas obtenidas convergen a las indicadas en el *Step* 5, es decir, aquellas volatilidades constantes de 5%,10%, 20% y 50%, lo cuál indicaría que el algoritmo fue aplicado de manera correcta.

3.6 Step 8

4 PART III: The model calibration

4.1 Step 9

4.2 Step 10

4.3 Step 11

4.4 Step 12

4.5 Step 13

4.6 Step 14

5 Anexos

A continuación se presentan los documentos anexados, señalados con anterioridad:

1.4759	1.4770	1.4835	1.4988	1.5070
1.4696	1.4710	1.4773	1.4862	1.4978
1.4610	1.4623	1.4684	1.4778	1.4898
1.4520	1.4536	1.4606	1.4715	1.4842
1.4493	1.4508	1.4584	1.4687	1.4803
1.4293	1.4309	1.4382	1.4488	1.4616
1.4346	1.4364	1.4437	1.4543	1.4678
1.4160	1.4179	1.4254	1.4357	1.4499
1.4078	1.4097	1.4166	1.4269	1.4393
1.4090	1.4109	1.4169	1.4263	1.4378

Table 1: Forward Price Calculado

0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Table 2: Error Forward Price Calculado Respecto Teórico

1.4251	1.4501	1.4750	1.4517	1.4304
1.4191	1.4456	1.4721	1.4472	1.4245
1.4170	1.4424	1.4679	1.4438	1.4218
1.4169	1.4401	1.4633	1.4413	1.4208
1.4162	1.4392	1.4621	1.4403	1.4200
1.4085	1.4303	1.4519	1.4314	1.4122
1.4073	1.4309	1.4546	1.4321	1.4111
1.3950	1.4200	1.4451	1.4211	1.3988
1.3930	1.4169	1.4410	1.4180	1.3967
1.3954	1.4184	1.4416	1.4195	1.3991

Table 3: Strike Prices Calculados

0.0088	0.0053	0.0008	0.0050	0.0080
0.0059	0.0023	0.0025	0.0020	0.0051
0.0014	0.0022	0.0069	0.0024	0.0006
0.0037	0.0070	0.0113	0.0072	0.0043
0.0052	0.0085	0.0128	0.0087	0.0058
0.0151	0.0185	0.0226	0.0187	0.0157
0.0120	0.0155	0.0201	0.0157	0.0126
0.0204	0.0242	0.0292	0.0244	0.0210
0.0247	0.0284	0.0332	0.0286	0.0253
0.0243	0.0280	0.0325	0.0282	0.0250

Table 4: Error Strike Price Calculado Respecto Teórico

0.0927	0.0871	0.0815	0.0813	0.0825
0.0948	0.0892	0.0847	0.0836	0.0848
0.0914	0.0862	0.0822	0.0812	0.0824
0.0853	0.0804	0.0767	0.0761	0.0778
0.0861	0.0809	0.0772	0.0769	0.0787
0.0818	0.0767	0.0730	0.0727	0.0745
0.0857	0.0806	0.0771	0.0767	0.0785
0.0914	0.0864	0.0827	0.0823	0.0841
0.0895	0.0846	0.0807	0.0806	0.0824
0.0878	0.0828	0.0792	0.0787	0.0805

Table 5: Volatilidades Calculadas

0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

Table 6: Error Volatilidades Calculadas

0.0437	0.0263	0.0133	0.0245	0.0389
0.0492	0.0303	0.0161	0.0285	0.0444
0.0512	0.0325	0.0179	0.0309	0.0468
0.0512	0.0335	0.0194	0.0322	0.0476
0.0520	0.0344	0.0202	0.0332	0.0486
0.0588	0.0414	0.0264	0.0403	0.0556
0.0599	0.0412	0.0255	0.0400	0.0565
0.0706	0.0505	0.0330	0.0494	0.0673
0.0726	0.0532	0.0358	0.0522	0.0695
0.0705	0.0517	0.0350	0.0507	0.0673

Table 7: Valor Calculado De La Opción

0.0010	0.0015	0.0017	0.0106	0.0301
0.0040	0.0040	0.0035	0.0137	0.0350
0.0077	0.0071	0.0058	0.0165	0.0377
0.0114	0.0103	0.0083	0.0190	0.0392
0.0127	0.0115	0.0093	0.0202	0.0403
0.0217	0.0198	0.0162	0.0280	0.0477
0.0194	0.0176	0.0142	0.0265	0.0479
0.0278	0.0255	0.0210	0.0350	0.0582
0.0316	0.0292	0.0244	0.0384	0.0607
0.0310	0.0287	0.0240	0.0375	0.0589

Table 8: Error Valor Calculado De La Opción Respecto Teórico