

EVALUACIÓN DE RIESGOS FINANCIEROS EN EL MERCADO ELÉCTRICO COLOMBIANO

RESUMEN

Este artículo presenta los resultados de adaptar técnicas financieras al cálculo de un portafolio de inversiones en el mercado eléctrico. Al definir políticas de inversión a largo plazo se propone usar los caudales medios de los ríos en el país para pronosticar el precio de la energía eléctrica. Luego un modelo de programación cuadrática con restricciones lineales es aplicado para determinar la estructura óptima del portafolio de inversiones y calculado el denominado "Value at Risk (VaR)", o valoración del riesgo del mismo. Finalmente se presentan algunas recomendaciones acerca de otras metodologías a analizar en posteriores estudios, para resolver este mismo problema.

PALABRAS CLAVES: Mercado Eléctrico, Portafolio, Optimización, Programación Cuadrática, Riesgo.

ABSTRACT

This paper introduces known financial techniques to compute an efficient investment portfolio within the electrical stock market. To forecast the price of the electrical energy it is proposed to index the energy price by the monthly amount of caudals. A quadratic model with linear constraints is applied to determine the optimal structure of the investment portfolio. The Value at Risk (VaR) is also computed. Finally, the paper ends with some suggestions about others methodologies to be used in future works to approach the same problem.

KEYWORDS: *Electrical stock market, Portfolio, Optimization, Quadratic Programming, Value at Risk.*

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad el sector eléctrico se está viendo inmerso a nivel mundial, en un proceso de liberalización cuyo objetivo primordial es lograr mayores eficiencias que se trasladen a un menor precio de la electricidad tanto para el comercializador como para el consumidor. Esta mejoría en el precio es posible gracias al empleo de nuevas tecnologías para la generación de la energía, a la implementación de nuevas herramientas financieras que permitan establecer medidas eficientes para la medición del riesgo y a un uso eficiente de la mano de obra.

Hoy en día el sector eléctrico se encuentra en una etapa de transformación que todavía no cumple todos los requisitos para funcionar en un mercado que se desarrolle en libre competencia. Respondiendo a esta necesidad el Mercado Eléctrico Mayorista Colombiano creó una metodología de comercialización basada en tres sistemas de contratación: (a) pague lo contratado, (b) pague lo demandado sin tope o con tope, (c) pague lo consumido [1, ISA]. En la práctica diaria, el problema no ha estado en la selección de que sistema o método de contratación es el más adecuado, sino en la poca utilización de herramientas estadísticas y financieras que puedan aminorar en gran proporción los riesgos inherentes a un portafolio de inversión.

Actualmente la ingeniería financiera ha desarrollado diversas técnicas para analizar mercados financieros

incluyendo mercado de *commodities*¹, muchas de estas técnicas no deben ser simplemente aplicadas a los mercados de electricidad debido a las diferencias inherentes entre la electricidad y otro tipo de *commodities*. La entrega en tiempo real, la falta de medidas en tiempo real y la necesidad de suplir constantemente una demanda son muchas de las razones por la cual estas técnicas deben ser adaptadas. En este artículo se adaptan dichas técnicas financieras al cálculo de un portafolio de inversiones en el mercado eléctrico.

Así, en la sección 2, "Conceptos Básicos de Riesgo", se plantean los fundamentos teóricos básicos necesarios para medir el riesgo dentro del contexto actual del sector eléctrico colombiano. Dado que al definir políticas de inversión a largo plazo no se cuenta con la información sobre precios futuros de algunos tipos de contrato y de bolsa, proponemos en la sección 3, "Indexación de Precios", el como pronosticar estos valores usando un parámetro que incide directamente en el precio de la energía eléctrica, el cual se basa en los caudales de los ríos que alimentan los embalses.

Usando los valores pronosticados en la sección 3, en la sección 4, "Optimización de un Portafolio de

JOSE SOTO MEJIA

Profesor Titular

Ph.D.

Facultad de Ingeniería Industrial
Universidad Tecnológica de Pereira
jomejia@utp.edu.co

JULIAN FELIPE ARIAS A.

Estudiante de X semestre de
Ingeniería Industrial.

Universidad Tecnológica de Pereira
julianarias6@hotmail.cjm

JAIRO ALBERTO VILLEGAS F.

Estudiante de X semestre de
Ingeniería Industrial.

Universidad Tecnológica de Pereira
jairinho80@hotmail.com

¹ Un "commodity" es un bien primario, tangible, que se transa internacionalmente. Por ejemplo: granos, metales, productos energéticos (petróleo, carbón, etc.) y suaves (café, algodón, etc.).

Inversiones”, aplicamos un modelo de programación cuadrática con restricciones lineales [2] para determinar de manera óptima la estructura de un portafolio de inversiones en el Mercado Eléctrico Colombiano. Finalmente el artículo presenta en la sección 5, “Conclusiones y Trabajos Futuros”, algunas recomendaciones y propuestas de otras metodologías que pretendemos analizar en posteriores estudios, para resolver este mismo problema.

2. CONCEPTOS BASICOS DE RIESGO

Dentro de la teoría clásica, se identifican dos tipos de riesgo, el sistemático y el no sistemático, el *riesgo sistemático* se conoce como riesgo de mercado y es aquel que esta asociado a los cambios económicos de un país por factores internos o externos, este riesgo no es diversificable, es decir que no se puede minimizar invirtiendo sobre varios tipos de activos, ya que todos están bajo las mismas condiciones de cambios económicos. El otro riesgo es el *no sistemático* y es aquel que se refiere a factores propios o internos del agente participante del mercado; este riesgo es independiente de los factores económicos, políticos y sociales del país. Este tipo de riesgo *no sistemático* es minimizable diversificando el portafolio de inversiones, así en caso de perdidas en determinada inversión las otras lo compensan, esto se conoce como diversificación del riesgo y permite reducir el riesgo no sistemático [3].

Dentro del análisis de riesgo de un portafolio el primer punto importante a considerar es determinar el perfil de riesgo del inversor o también llamado *nivel de tolerancia al riesgo* así como identificar los principios de diversificación que se utilizarán, o dicho de otra manera, en cuales activos se desea invertir; este aspecto también irá moldeando la política de inversiones [3].

En términos generales el riesgo se define como la incertidumbre sobre los flujos futuros o resultados futuros y se mide por la desviación estándar de los flujos no esperados, representada por sigma (σ) [4].

El riesgo de un portafolio depende de la covarianza de los rendimientos (o retornos de los valores), la cual indica como se relacionan los activos entre sí que hacen parte del portafolio.

En un sentido más amplio existen medidas complementarias para el análisis del riesgo como la covarianza y la correlación ya que estas pueden interferir en el rendimiento del portafolio y definir numéricamente el sentido en el que se mueven dichos instrumentos dentro del mismo.

Después de lo mencionado anteriormente se deben tener en cuenta una serie de consideraciones técnicas al momento de valorar los activos que conforman el portafolio, cada activo debe generar un retorno el cual es tomado la mayoría de las ocasiones como la rentabilidad generada del mismo.

Dentro de los modelos de valoración de activos más aceptados podemos citar tres², la técnica empleada depende de la naturaleza del portafolio y de los activos que lo conforman. El método de flujo de fondos es comúnmente el más utilizado en el mercado de valores [3] pero presenta deficiencias técnicas en el momento de adaptarlo a un portafolio de un agente comercializador de electricidad. Metodologías alternas son aplicadas como el método de rentabilidad simple o el método de la rentabilidad continua [3].

Si utilizamos el criterio tradicional del mercado de *commodities*, el rendimiento de un activo es la diferencia entre el rendimiento de un periodo siguiente respecto a un periodo dado y su relación con respecto a este último período [3], es decir un cambio positivo en el precio de un periodo a otro genera entonces un retorno positivo o sea una rentabilidad.³

Utilizando este criterio, metodológicamente, solo se tienen en cuenta los precios promedios de las transacciones realizadas. En nuestro caso sería el precio de compra promedio al que estaríamos sujetos en el mercado, pero es obvio que no se está teniendo en cuenta la otra parte de la transacción correspondiente a los precios de venta a los que se renegocia la energía comprada, los cuales son los que finalmente determinan o no una utilidad. Utilizaremos entonces un concepto un poco más completo que tenga en cuenta los 2 tipos de transacciones la cual es la técnica mas utilizada en los mercados bursátiles.

Los retornos se pueden calcular de diferentes formas, entre ellas tenemos el *método de rentabilidad simple*. Este método calcula la rentabilidad para un período determinado (día, mes, año) de manera similar a la tasa de interés simple y se calcula como la diferencia entre el precio de venta y el precio de compra (valorización) más los dividendos y otras remuneraciones pagadas durante el período, sobre el precio de compra. Su fórmula adaptada para nuestro caso es:

$$R_j = \frac{(P_{venta} - P_{compra})}{P_{compra}} \quad (1)$$

En gran parte el éxito en la obtención de un portafolio eficiente depende de la técnica de *valoración de retornos* que se emplee ya que el objetivo de las técnicas de optimización es justamente estudiar el comportamiento *histórico de los retornos*, identificar los comportamientos volátiles de cada uno de los activos y de acuerdo a esto obtener una proporción específica de inversión en cada

² Descuento de Flujo de Fondos, Método de Comparables, Capital Asset Pricing Model: (CAPM).

³ $R_{(t+1)} = \left(\frac{P_{(t+1)} - P_t}{P_t} \right)$

activo teniendo en cuenta una utilidad deseada por el inversionista.

La fórmula (1) es aplicada a cada tipo de activo teniendo en cuenta algunas consideraciones especiales como periodicidad de los contratos, volatilidad de la bolsa y otros como se explica detalladamente en [5].

3 INDEXACION DE PRECIOS

En la tabla 1, presentamos los precios de venta de energía para diferentes activos en el mercado eléctrico Colombiano, tomados de la pagina Web de ISA [1]. Así, se dispone de la información para el período comprendido entre Enero-02 a Diciembre-03. Suponiendo que en Diciembre del 2003 queremos definir un portafolio de inversiones y por supuesto en ese momento no tendríamos de la información futura sobre esos activos (para el período que comienza en Enero del 2004) debemos proponer una solución que modele los precios futuros *de venta*, por ejemplo para el período comprendido entre Enero 04 y Septiembre 04.

PERIODO	BOLSA	PRECIO DE VENTA 3 MESES	PRECIO DE VENTA 12 MESES	PRECIO DE VENTA 36 MESES
Ene-02	38,70136	68,89172	70,91687	52,64331
Feb-02	57,13789	62,56459	66,94910	52,04565
Mar-02	53,19023	63,19237	67,39338	52,64879
Abr-02	48,71632	68,91231	68,53571	52,07148
May-02	39,38776	62,28870	68,59296	50,55704
Jun-02	35,00935	62,29498	67,87250	47,57736
Jul-02	41,94515	68,42078	66,44418	50,06552
,	,	,	,	,
,	,	,	,	,
Sep-03	63,02990	76,06470	73,32930	54,78310
Oct-03	55,65201	72,43177	73,2538	57,42334
Nov-03	63,92750	76,86012	75,09545	54,58036
Dic-03	52,38088	77,02128	76,57958	67,13163
Ene-04	58,97111	91,8838875	94,7374	61,808575
,	,	,	,	,
,	,	,	,	,
Jul-04	53,06892	72,74887152	74,64369718	63,84573546
Ago-04	54,26534	66,79414	66,16134	50,51594564
Sep-04	60,32688	55,98362	53,97036	40,3203616

Tabla 1. Precios promedios de venta

Para tal efecto, proponemos tomar como referencia los precios del pasado (período comprendido entre Enero-02 a Diciembre-03) y ajustarlos por medio de un parámetro que este correlacionado directamente con el comportamiento del valor de los contratos y la bolsa. En nuestro caso proponemos como dicho parámetro los caudales de los ríos que alimentan los principales embalses, pronosticamos el precio de venta de la energía calculándolo por medio de la ecuación 2 siguiente:

$$Pr\ ecio(2004) = Pr\ ecio(2003) * (1 + \Delta de Pr\ ecipitaci\ on), (2)$$

Así, el precio de un activo para un mes dado del año 2004 sería igual al precio del mismo activo en el mismo mes del año 2003 más un porcentaje del cambio (delta) del caudal en ese mes con respecto al mes inmediatamente anterior.

La Tabla 1, (Precios Promedios de Venta) muestra en la parte inferior sombreada los resultados obtenidos

mediante este procedimiento para el período Enero-04 a Septiembre-04.

En la Tabla 2, se observa como el sistema de contratación (contratos a 3, 12 y 36 meses) permite que el precio se mantenga constante durante un periodo definido estipulado dentro del contrato (ver por ejemplo que entre enero 02 y Marzo 02 el precio por kilovatio-hr en los contratos a 3 meses es de \$61.42213). Esta condición garantiza un nivel mínimo de riesgo, evitando la exposición a la fluctuación de los precios pero a su vez impide al acceso a mejores negociaciones.

PERIODO	BOLSA	CONTRATOS 3 MESES	CONTRATOS 12 MESES	CONTRATOS 36 MESES
Ene-02	38,70136	61,42213	65,99588	48,93501
Feb-02	57,13789	61,42213	65,99588	48,93501
Mar-02	53,19023	61,42213	65,99588	48,93501
Abr-02	48,71632	63,52467	65,99588	48,93501
May-02	39,38776	63,52467	65,99588	48,93501
Jun-02	35,00935	63,52467	65,99588	48,93501
Jul-02	41,94515	62,74154	65,99588	48,93501
,	,	,	,	,
,	,	,	,	,
Sep-03	72,00096	67,68169	65,99588	48,93501
Oct-03	64,27368	67,60495	71,94750	48,93501
Nov-03	69,20014	74,60495	71,94750	48,93501
Dic-03	76,59516	74,60495	71,94750	48,93501
Ene-04	79,98632	75,26422	71,94750	48,93501
,	,	,	,	,
,	,	,	,	,
Jul-04	53,06892	70,62997	91,97806	48,93501
Ago-04	54,26534	70,62997	91,97806	48,93501
Sep-04	60,32688	70,62997	91,97806	48,93501

Tabla 2. Precios promedios de compra

Con la información sobre precios de venta y de compra para cada activo es ahora posible calcular los retornos mediante la formula 1 introducida en la sección anterior.

El siguiente paso es determinar la proporción a invertir en cada activo minimizando el riesgo como se describe en la siguiente sección.

4 OPTIMIZACIÓN DE UN PORTAFOLIO DE INVERSIONES

Se diseñará entonces un conjunto de opciones de inversiones típicas dentro del mercado eléctrico para concluir finalmente en un portafolio eficiente que determine la proporción específica de inversión para cada uno de estos activos.

Supongamos que tenemos la siguiente situación:

- La empresa ABC es un agente comercializador regulado, el cual debe satisfacer una demanda de energía proveniente de sus clientes.
- Poseemos información histórica de los últimos 2 años sobre transacciones realizadas por el agente comercializador para la compra y venta de energía en el Mercado Eléctrico Mayorista (MEM). Tradicionalmente nuestro agente comercializador ha realizado operaciones con contratos a largo plazo,

principalmente mediante 3 tipos de contratos (a 3, 12 y 36 meses) que serán incluidos dentro del portafolio.

- La información histórica esta ordenada de acuerdo al promedio mensual de la información diaria que se maneja en el MEM. Así evitamos una serie de complicaciones metodológicas en el momento del análisis estadístico de la información
- El comercializador ABC desea trazar sus políticas de inversión para el siguiente periodo de actividad (por ejemplo de enero de 2004 a Septiembre 2004) y a su vez prever el comportamiento de su portafolio para los próximos meses.

La figura 1, presenta el esquema básico de un agente comercializador de energía eléctrica.

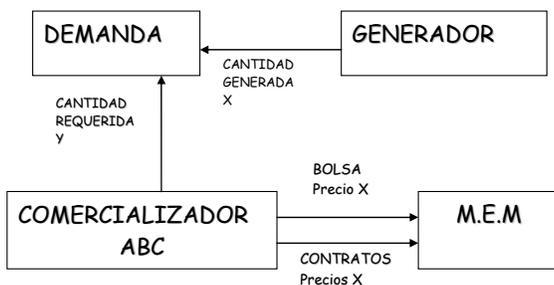


Figura 1. Esquema básico de comercialización en el Mercado Eléctrico Colombiano.

Ya que el objetivo es determinar el portafolio óptimo para nuestro agente comercializador, inicialmente deben calcularse los retornos mediante la formula 1, para luego determinar el portafolio óptimo.

Existen una gran diversidad de metodologías para optimizar portafolios financieros, nosotros usaremos la técnica de minimización de varianza propuesta por Harry M. Markowitz [4]. Esta técnica busca reducir el riesgo en condiciones de incertidumbre.

La forma canónica en la cual se puede representar el problema es la siguiente:

$$Min \sum_{k=1}^m \sum_{j=1}^m \alpha_k \alpha_j \sigma_{jk} \tag{3}$$

s.a.

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i R_i = R$$

La función objetivo consiste en minimizar la varianza del portafolio sujeto a las siguientes restricciones:

a) la suma de las proporciones a invertir en cada activo, α_i , debe ser igual a 1 y,

b) el portafolio esta sujeto a un nivel de riesgo, R, deseado por el inversionista.

La función objetivo adaptada al portafolio de 4 activos (bolsa, contratos a 3, 12, y 36 meses) como el de nuestro agente comercializador ABC toma entonces la siguiente forma:

$$Min Z = X_1^2 \alpha_{11} + X_2^2 \alpha_{22} + X_3^2 \alpha_{33} + X_4^2 \alpha_{44} + 2 \cdot (X_1 X_2 \alpha_{12} + X_1 X_3 \alpha_{31} + X_1 X_4 \alpha_{14} + X_2 X_3 \alpha_{23} + X_2 X_4 \alpha_{24} + X_3 X_4 \alpha_{34})$$

s.a :

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^m \alpha_i R_i = 0.035 \tag{4}$$

Donde α_{ij} , representa la raíz cuadrada de la covarianza entre los diferentes activos i, j, y X_i , la variable de decisión que representa la proporción a invertir en cada activo.

La Tabla 3, muestra los resultados de resolver el modelo anterior con una rentabilidad esperada de 3.5%. Se observa que lo óptimo es invertir el 19% en bolsa, el 31% en contratos a 3 meses, 0% (nada) en contratos a 12 meses y el 50% en contratos a 36 meses para obtener una rentabilidad de 3.5% y una varianza mínima (riesgo) de 0.17. El horizonte de planeación fue de Enero 2004 a Septiembre 2004. Esta aplicación se corrió en el software WinQSB [6].

Una vez calculada la proporción a invertir en cada activo, debido a las fluctuaciones del mercado, resta por estimar la cantidad de dinero que podría perder el inversor siguiendo dicho portafolio. Para tal efecto, calcularemos el llamado *Value at Risk*, o valoración del riesgo. Esto nos permite cuantificar con un determinado nivel de significancia o incertidumbre, el monto o porcentaje de pérdida que un portafolio enfrentará en un período predefinido de tiempo. Su medición tiene fundamentos estadísticos y el estándar de la industria es calcular el VaR con un nivel de significancia del 5%. Esto significa que solamente el 5% de las veces, el retorno del portafolio caerá más de lo que señala el VaR [7].

Combined Report for indexación								
	Decision Variable	Solution Value	Unit Cost or Profit c(j)	Total Contribution	Dual Slack	Basis Status	Allowable Min. c(j)	Allowable Max. c(j)
1	X1	0,19	0	0	0	basic	-0,82	0,98
2	X2	0,31	0	0	0	basic	-0,32	0,2
3	X3	0	0	0	0,28	at bound	-0,28	M
4	X4	0,5	0	0	0	basic	-0,44	1,55
5	X1	*X1	1,49	0,05				
6	X1	*X2	-0,34	-0,02				
7	X1	*X3	-0,63	0				
8	X1	*X4	-0,43	-0,04				
9	X2	*X1	-0,34	-0,02				
10	X2	*X2	0,23	0,02				
11	X2	*X3	0,22	0				
12	X2	*X4	0,17	0,03				
13	X3	*X1	-0,63	0				
14	X3	*X2	0,22	0				
15	X3	*X3	0,88	0				
16	X3	*X4	0,4	0				
17	X4	*X1	-0,43	-0,04				
18	X4	*X2	0,17	0,03				
19	X4	*X3	0,4	0				
20	X4	*X4	0,65	0,16				
	Objective Function		(Min.) =	0,17				
	Constrain	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
1	C1	1	=	1	0	0	1	M
2	C2	0,04	=	0,04	0	0	0,04	M

Tabla 3. Resultados de la optimización del portafolio en la empresa ABC

Para calcular el VaR se define la matriz de varianzas y covarianzas con la base histórica de los retornos ya calculados y los pronosticados mediante el método de indexación presentado en la sección 3. Una vez que se tiene la ponderación de inversión en cada uno de los activos se procede a calcular el VaR para el portafolio especificado considerando un nivel de significancia establecido, de por ejemplo un 5%, lo que implica un ajuste de la volatilidad de 1.645.

El calculo de VaR, por el método analítico de la matriz de varianzas-covarianzas [7], se determina mediante la fórmula 5.

$$VaR_p = 1.645 \cdot \sqrt{\omega' E[\Sigma] \omega} \cdot \sqrt{\Delta t} \tag{5}$$

Donde:

ω , es el vector de ponderaciones y Σ , es la matriz de varianza-covarianza del portafolio.

En la actualidad se habla de tres metodologías para calcular el VaR las cuales son: método analítico de la matriz de varianzas-covarianzas, la simulación histórica y la simulación Montecarlo, cada una con varias variantes. Estos tres métodos hacen uso de la distribución de probabilidad de los rendimientos y solo varían en la manera de modelar dicha distribución [7].

Ahora vamos a calcular el VaR, mediante la formula 5, asumiendo que poseemos un valor total para invertir en el mercado eléctrico de \$7'200.000. Así, el objetivo de nosotros, como agente comercializador ABC, es configurar un portafolio de inversiones en el mercado eléctrico de acuerdo a un valor máximo de pérdida, al

mismo tiempo que trazamos políticas de inversión para los próximos periodos.

La Tabla 4 muestra los resultados generales del análisis de riesgo obtenido al resolver la fórmula 5 con las proporciones óptimas de inversión calculadas en la sección 4 mediante el modelo de programación cuadrática.

VALOR EN RIESGO				
ACTIVOS DEL PORTAFO	BOLSA	CONTRATO	CONTRATO	CONTRATO
Valor a invertir	\$1.368.000	\$2.232.000	\$0	\$3.600.000
Porcentaje del portafolio	0,19	0,31	0	0,5
Volatilidad al 95%	35,44%	13,90%	27,30%	23,43%
VaR No diversificado	\$484.848	\$310.310	\$0	\$843.458
Valor total del portafolio	\$7.200.000			
VaR No diversificado de 1 m	\$1.638.616	El VaR para el comercializador ABC con un 95% de confianza es igual a: \$859815,3176 este valor es la máxima pérdida esperada para un mes.		
VaR No diversificado de 1 n	22,76%			
VaR diversificado	859815,3176			
VaR diversificado	11,94%			

Tabla 4. VaR para el inversor ABC

En la Tabla 4, se presenta las proporciones a invertir en cada activo (*porcentaje del portafolio*), su equivalente en pesos (*valor a invertir*), la *volatilidad al 95%* (calculada como el producto de la desviación estándar de cada activo por 1.645), el *VaR no diversificado* para cada activo (calculado como el producto del valor a invertir por la volatilidad al 95%) y el *VaR diversificado* (calculado mediante la fórmula 5).

5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El activo bolsa presenta un retorno promedio muy bajo de -0.0641 (-6.41%), el cual fue calculado usando la fórmula 1 para cada período. Su volatilidad (riesgo) calculada como la desviación estándar de los retornos para el período entre Enero 02 a Septiembre del 20 04 es de 0.21 (21%) y su participación en el portafolio es del 19%.

Para el activo de 3 meses, el retorno promedio es de -0.0021 (-0.21%), su riesgo es de 0.08 (8%) y su participación en el portafolio es del 31%.

El activo 12 meses proyecta gran volatilidad, 0.165 (16.5%) y un retorno promedio negativo de -0.039 (-3.9%) para culminar con una participación del 0%.

El activo 36 meses tiene un buen retorno (9.61%) y una relativa alta volatilidad (14,24%). Es el único activo con valor esperado positivo, por lo tanto se carga la gran mayoría del portafolio sobre él (50%), pero dado que tiene un riesgo considerable fue mitigado (control de riesgo *no sistemático*) mediante la diversificación en los activos 1 y 2.

Finalmente podemos afirmar con un nivel de confianza del 95% que si invertimos un total de \$ 7.200.00, el valor máximo de pérdida del portafolio será de \$ 859.815,3 (ver tabla 4, valor de VaR diversificado), es decir un 11.94%.

En trabajos futuros resolveremos este mismo problema haciendo uso de otras técnicas existentes en la actualidad para el cálculo de portafolios eficientes en mercados volátiles como: mean-variance-skewness, maximin (minimax), y máximo arrepentimiento [8].

Además, para pronosticar el comportamiento y precio de los activos, sustuiremos el método de indexación utilizado en este trabajo por la implementación de Modelos Generalizados Autoregresivos de Heteroscedasticidad GARCH, y ARCH.

Queda también para trabajos futuros explorar dentro del contexto de inversiones en el mercado eléctrico la aplicación de diferentes metodologías para el cálculo del riesgo como “Extreme Value Theory (EVT)”, o teoría de valores extremos [9], la cual argumenta que el VaR pasa por alto algunas consideraciones y por ello no es una técnica cien por ciento fiable para el cálculo del riesgo. Además el CVaR (Conditional Value at Risk) [10] presenta bondades adicionales debido a sus propiedades matemáticas.

6 REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

[1] Sitio Web de Interconexión Eléctrica S.A. ISA, <http://www.isa.com.co>

[2] Investigación de Operaciones. Wayne L. Winston. Grupo Editorial Iberoamérica, México, 1994

[3] Teoría de Portafolio capitulo 6, Marcelo Alejandro Baum. Documentos de trabajo de la Universidad UCEMA de Argentina, 2002, http://www.cema.edu.ar/u/me/Cap_n6_TEORIA_DEL_PORTAFOLIO__2.doc

[4] Teoría de la Elección de Cartera. Harry Markovitz, 1952.

[5] Riesgos Financiero en el Mercado Eléctrico Colombiano, Trabajo de grado. Facultad de Ingeniería Industrial. Universidad Tecnológica de Pereira. Julián Felipe Arias y Jairo Alberto Villegas, Enero 2005.

[6] WinQSB. Decision support software for MS/OM. Yih-Long Chang, John Wiley & Sons, Inc. 1998.

[7] Métodos de Evaluación del Riesgo para Portafolios de Inversión. Christian Andrew Johnson, Nro 67, marzo 2000. <http://www.bcentral.cl/eng/stdpub/studies/workingpaper/pdf/dtbc67.pdf>

[8] Planificación de Riesgos Financieros en la Industria de Seguros. Jesús María Velásquez, CITAD 2001, <http://www.citad.unisabana.edu.co>

[9] Teoría de valores extremos aplicada a la medición de riesgos de mercado en Argentina. Verónica Balzarotti y Miguel Delfineri. http://www.bcra.gov.ar/institucional/in060300_i.asp

[10] Optimization with CVaR, Stanislav Uryasev, 2001, <http://www.ise.ufl.edu/uryasev>