

Fecha de presentación del Informe: Día Mes Año **1. Datos generales del Proyecto**

Código del proyecto:2525			
Título del proyecto: DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DE UNA HERRAMIENTA PARA EL ANÁLISIS DE RIESGOS FINANCIEROS ASOCIADOS A MERCADOS DE ELECTRICIDAD COMPETITIVOS			
Facultad o Instituto Académico: Ingeniería			
Departamento o Escuela: Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica			
Grupo (s) de investigación: Grupo de Investigación en Alta Tensión – GRALTA, Grupo de Investigación en Estadística Aplicada – Inferir, Grupo de Investigación en Logística y Producción, Grupo de Investigación en Macroeconomía Aplicada y Economía Financiera.			
Entidades:			
Palabras claves: Riesgo Financiero, Mercados de Electricidad			
Investigadores ¹	Nombre	Tiempo asignado	Tiempo dedicado
Investigador Principal	CARLOS ARTURO LOZANO MONCADA		
Coinvestigadores	INÉS MARÍA ULLOA		
	DIEGO FERNANDO MANOTAS		
	JAVIER OLAYA		
	VICTOR MANUEL GONZALEZ		
Otros participantes	SANDRA MILENA LONDOÑO		

2. Resumen ejecutivo:

El proyecto permitió desarrollar una herramienta de cómputo usando la hoja electrónica de OpenOffice, una plataforma ofimática de distribución libre, para calcular los riesgos

¹ Todas las personas relacionadas en el informe y que participen en el proyecto deben haber suscrito el acta de propiedad intelectual de acuerdo con los formatos establecidos.

financieros que asumen los participantes en un mercado de electricidad competitivo. La herramienta considera entre otras cosas, los perfiles de riesgo de cada uno de los agentes participantes y la aleatoriedad de algunos parámetros, a través del uso de la simulación Monte Carlo. Además, durante el proyecto se realizó un análisis de tendencias usando diversas herramientas estadísticas para determinar entre otras cosas, los agentes que ejercen una mayor incidencia en la formación del precio de la energía en bolsa. Es importante recordar que el precio de bolsa se usa como referencia para determinar el precio de los contratos bilaterales firmados entre agentes generadores y comercializadores de la energía en Colombia.

Durante el desarrollo del proyecto se identificaron otros problemas relacionados con el comportamiento aleatorio de los parámetros del precio de la electricidad como son el impacto del clima, la variación de la demanda tanto diaria como semanal, mensual y anual, el comportamiento estratégico de los agentes, las limitaciones de los sistemas de transporte de la energía eléctrica, entre otros. Esto ha derivado en proyectos relacionados con el pronóstico de la demanda para diferentes empresas regionales; además, se ha identificado oportunidades de colaboración con algunas empresas para desarrollar instrumentos de software ajustados para el apoyo a toma de decisiones de oferta de generación. Estos últimos han tenido dificultades debido a la naturaleza reservada de las empresas para entregar o compartir información de sus procesos internos de toma de decisiones en la oferta de energía eléctrica (confidencialidad de la información).

3. Síntesis del proyecto:

En el presente proyecto de investigación se abordó el análisis y medición de riesgo financiero en mercados de electricidad. Se analizaron diferentes perspectivas teniendo en cuenta el punto de vista de los agentes generadores, comercializadores y consumidores.

Objetivos:

General

Desarrollo e implementación de una herramienta de apoyo a la toma de decisiones para el análisis de riesgos financieros asociados a los mercados de electricidad competitivos.

Específicos

- Establecer un marco conceptual de referencia para el análisis de riesgos financieros en mercados competitivos de energía eléctrica en Colombia.
- Identificar herramientas de evaluación de riesgos financieros en el mercado de electricidad en Colombia.

- Establecer la estructura general de un mercado de electricidad competitivo y sus factores de riesgo financiero.
- Evaluar diversas metodologías de análisis del riesgo financiero asociado a los mercados de electricidad competitivos colombianos, tales como el análisis econométrico con series temporales, árboles de decisión, simulación MonteCarlo, teoría de juegos y lógica difusa.
- Implementar herramientas didácticas de computador para la evaluación de riesgos financieros en mercados de electricidad competitivos en Colombia.
- Identificar herramientas de apoyo a la toma de decisiones en el mercado de electricidad competitivo colombiano, considerando factores de riesgo financiero asociado a él.

Metodología:

La realización del proyecto se basó en el trabajo interdisciplinario de los grupos de Investigación GRALTA, Grupo de Estadística Aplicada (INFERIR), Grupo de Investigación en Logística y Producción, y el Grupo de Investigación en Crecimiento y Desarrollo Económico. La metodología involucró las siguientes actividades específicas:

Revisión bibliográfica

En esta etapa se revisó y analizó la información referente a la estructura de los mercados de electricidad, las características de los mercados financieros, los tipos de contratos estándar disponibles actualmente y la reglamentación sobre la operación del Mercado de Electricidad Colombiano. De igual forma, se realizó una recopilación de información con las experiencias internacionales en la implementación de mercados financieros en el sector eléctrico.

Desarrollo de metodologías para el análisis de riesgo

En el desarrollo de esta actividad se revisaron los diferentes indicadores disponibles para la gestión de riesgos financieros (VaR, CfaR, entre otras) y se desarrolló una herramienta de asistencia a la toma de decisiones. Se realizó la modelación del riesgo financiero usando modelos HARCH, ARCH, TARARCH, etc., revisando en particular su aplicación al mercado de electricidad en Colombia.

Reconocimiento de las herramientas disponibles en Matlab y @Risk

En esta etapa se establecieron las distintas opciones de análisis de riesgo financiero incluidas con Matlab y @Risk con el propósito de definir su aplicación en Mercados de Electricidad.

Desarrollo del software para la gestión de riesgos financieros

En esta actividad se desarrolló una herramienta didáctica que permita cuantificar los riesgos financieros a los que están expuestos los participantes de un mercado de electricidad.

Simulación de Riesgos Financieros

En esta etapa se usó la base de datos comercial del MEM para evaluar las herramientas de análisis de riesgo desarrolladas/implementadas en el proyecto.

Análisis de resultados

Con base en los resultados de la simulación usando los datos de la base comercial del MEM, se determinó cuáles son los parámetros que tienen mayor influencia en los riesgos financieros en el mercado de electricidad colombiano.

Resultados obtenidos:

La realización del proyecto permitió fortalecer la línea de investigación en análisis de sistemas de potencia, en particular en lo relacionado con el análisis de mercados de electricidad. Además, permitió a otros grupos de investigación de la Facultad de Ingeniería (INFERIR, LOGISTICA y PRODUCCION) y de la Universidad (Economía), interesarse en la temática de los mercados de electricidad. A partir de este desarrollo,

Dentro de los compromisos adquiridos en la realización del proyecto se tienen los siguientes:

- Productos de Nuevo Conocimiento (Tipo A o su equivalente) : 3
- Productos en revistas no indexadas o sus equivalentes: 1
- Ponencias (Nacionales: 2; Internal: 1)
- Formación de Recurso Humano (Pre-2; MSc: 2; PhD: 1)
- Propuestas de investigación convocatorias externas: 2

4. Impactos actual o potencial:

Con la realización del proyecto se identificaron nuevas posibilidades de investigación. En particular, se inició el proyecto doctoral del Prof. Diego Fernando Manotas, quien elaboró la propuesta de doctorado titulada "Optimization of Investment Portfolio in Power Generation Technologies in a Low-Carbon Economy". Durante la realización de este proyecto doctoral se ha logrado la realización de varias pasantías, donde se ha podido compartir información y conocer los últimos desarrollos en las tendencias en

análisis de mercados de electricidad.

Se elaboró una herramienta de cómputo, diseñada e implementada en OpenOffice, para el análisis de Riesgos Financieros en Mercados de Electricidad, la cual se adjunta al presente informe. Esta herramienta de software usa la simulación Monte Carlo para calcular el riesgo financiero que enfrenta tanto un generador como un comercializador en el Mercado de Electricidad Colombiano.

La relación de pasantías y eventos relacionados con esta propuesta se presenta a continuación:

- PhD Winter School on Managing uncertainty in energy infrastructure investments. Oppdal (Norway), 6-13 March 2011. Organized by A. Tomasgard, S.-E. Fleten, M. Bjørndal. NTNU - Norwegian University of Science and Technology.
- UK Energy Research Centre - UKERC Summer School for PhD Students. June 2012. University of Warwick, UK.
- Pasantía University City London (UCL) - Department of Statistics. Financial Risk Analysis in Power Systems. Mayo 2012. UK.
- 9th International Conference of Computational Management Science. Abril 18-21, 2012. Imperial College London, UK.

Producto del trabajo realizado se obtuvo un reconocimiento como segunda mejor propuesta doctoral, en el evento UKERC Summer School for PhD Students. June 2012. University of Warwick, UK.

El trabajo de grado titulado: Formulación de un modelo de optimización de portafolio ajustado por nivel de riesgo para generadores térmicos en Colombia, presentado por los estudiantes Carlos Felipe Agudelo y Jhonatan Arias del programa de Ingeniería Industrial, obtuvo el Premio Otto de Greiff como reconocimiento al segundo mejor trabajo de grado en ingeniería en el 2012. Este trabajo incorporó elementos novedosos de la teoría estadística para modelar las series de precios de electricidad y gas de forma conjunta. A partir de estos resultados se formuló un modelo de optimización estocástica para definir el portafolio de comercialización para un generador térmico. Este trabajo también recibió la distinción de trabajo de grado laureado.

Dos de los cinco trabajos de grado presentados en ingeniería industrial recibieron la distinción de tesis meritoria.

Gestión del riesgo financiero en el sector de la energía eléctrica en Colombia	ILna Pedroza, Jorge Trejos, Luis Payan
Análisis de las estrategias de cobertura de riesgo mediante el uso de instrumentos financieros derivados en el mercado mayorista de energía en Colombia	Juan José Astudillo, Luis Eduardo Naranjo

Como resultado del trabajo realizado a lo largo del proyecto de investigación se ha logrado consolidar una nueva línea de trabajo multidisciplinario en el campo de la economía energética. Se viene realizando el soporte en docencia en los cursos de Economía de Mercados de Electricidad y Contratación y Análisis de Riesgos en el programa de posgrado de la Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Se formalizó la creación de una nueva línea de investigación dentro del Grupo de Logística y Producción adscrito a la Escuela de Ingeniería Industrial. El nombre de la línea es "Modelos Financieros en Sistemas de Producción y Cadenas de Abastecimiento".

5. Productos:

Tabla No. 1. **Cantidad y tipo de productos pactados en el Acta de Trabajo y Compromiso y productos finalmente presentados**

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS				No. de PRODUCTOS PRESENTADOS			
Productos de nuevos conocimientos								
Artículo en revista ISI-SCOPUS:	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
Artículo completo publicado en revistas indexadas	A1	A2	B	C	A1	A2	B	C
		3				3		
Libros de autor que publiquen resultados de investigación					1			
Capítulos en libros que publican resultados de investigación								
Productos o procesos tecnológicos patentados o registrados								
• Prototipos y patentes								
• Software								

TIPO DE PRODUCTOS	No. de PRODUCTOS PACTADOS		No. de PRODUCTOS PRESENTADOS	
Productos o procesos tecnológicos usualmente no patentables o protegidos por secreto industrial				
Normas basadas en resultados de investigación				
Formación de recursos humanos	No. de estudiantes vinculados	No. de tesis	No. De estudiantes Vinculados	No. De tesis
Estudiantes de pregrado	2	2	7	8
Semillero de Investigación				
Estudiantes de maestría	2	2	2	2
Estudiantes de doctorado		1	1	
Joven investigador				
Productos de divulgación				
Publicaciones en revistas no indexadas	1		1	
Ponencias presentadas en eventos (congresos, seminarios, coloquios, foros)	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales	No. de ponencias nacionales	No. de ponencias internacionales
Propuesta de investigación	1	1	1	1
Propuestas presentadas en convocatorias externas para búsqueda de financiación.	2		2	

Tabla No. 2. Detalle de productos

Para cada uno de los productos obtenidos y relacionados en la tabla anterior, indique la información solicitada para cada uno, anexando copia de las respectivas constancias. Como anexo a este formato encontrará el instructivo para instructivo para la revisión de informes finales y productos

Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	Revista Ingeniería y Competitividad, Volumen 13, No. 2, p. 61 – 81. Clasificación A2
Nombre Particular:	Aplicación del coeficiente de Gini y la semivarianza como estimadores de riesgo en la selección de proyectos
Ciudad y fechas:	CALI, 2011
Participantes:	Diego F. Manotas, Alejandro Estrada, José A. Uribe
Sitio de información:	Online
Formas organizativas:	

Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	Revista Ingeniería y Universidad, Volumen 16, No. 2, p. 363 - 377 (2012). Clasificación A2
Nombre Particular:	Uso de simulaciones para la valoración del riesgo en mercados de electricidad.
Ciudad y fechas:	Bogotá
Participantes:	Diego Navas, Carlos Lozano, Diego F. Manotas
Sitio de información:	Online
Formas organizativas:	

Tipo de producto:	Artículo
Nombre General:	Revista Ingeniería y Competitividad. Volumen 16, No. 1, p. 97 - 107 (2014). Clasificación A2
Nombre Particular:	Optimización del abastecimiento energético para usuarios no regulados



Ciudad y fechas:	Cali
Participantes:	Héctor Taborda, David Oliveros, Diego F. Manotas, Carlos Lozano, Carlos Vidal.
Sitio de información:	Online
Formas organizativas:	

Tipo de producto:	Libro
Nombre General:	Editorial Académica Española con ISBN-10:3844347941 e ISBN-13:978-3844347944.
Nombre Particular:	Riesgos Financieros en Mercados de Electricidad: Análisis y Evaluación
Ciudad y fechas:	July 24, 2011
Participantes:	Diego Navas, Carlos Lozano, Diego F. Manotas
Sitio de información:	amazon
Formas organizativas:	Grupos, centros, institutos o laboratorio al cual se adscriben los autores del proyecto.

Tipo de producto:	Tesis
Nombre General:	Tesis de pregrado programa Ingeniería Eléctrica
Nombre Particular:	APLICACIÓN DE REDES NEURONALES AL MODELAMIENTO DE LA FORMACIÓN DE PRECIO DE ENERGÍA EN MERCADOS DE ELECTRICIDAD COMPETITIVOS
Ciudad y fechas:	Cali
Participantes:	Ángela María Jaramillo
Sitio de información:	Biblioteca Central



Formas organizativas:	GRALTA
-----------------------	--------

Tipo de producto:	Tesis
Nombre General:	Tesis de pregrado programa Ingeniería Eléctrica
Nombre Particular:	MPACTO DE LOS MERCADOS DE FUTUROS EN LA OPERACIÓN ECONÓMICA DE MERCADOS DE ELECTRICIDAD DESREGULADOS
Ciudad y fechas:	Cali
Participantes:	DIANA MARCELA ZUÑIGA PAREDES
Sitio de información:	Biblioteca Central
Formas organizativas:	GRALTA

Tipo de producto:	Tesis
Nombre General:	Tesis de pregrado programa Ingeniería Eléctrica
Nombre Particular:	ANÁLISIS DE INDICADORES DE RIESGO FINANCIERO EN MERCADOS DE ELECTRICIDAD
Ciudad y fechas:	Cali
Participantes:	DIEGO FERNANDO NAVAS
Sitio de información:	Biblioteca Central
Formas organizativas:	GRALTA

Tipo de producto:	Tesis
Nombre General:	Tesis de pregrado programa Ingeniería Eléctrica
Nombre Particular:	MODELAMIENTO DEL SISTEMA DE OFERTAS EN UN MERCADO DE ELECTRICIDAD COMPETITIVO USANDO TEORÍA DE JUEGOS



Ciudad y fechas:	Cali
Participantes:	FERNANDO PEÑA ATAHUALPA
Sitio de información:	Biblioteca Central
Formas organizativas:	GRALTA

Tipo de producto:	Tesis
Nombre General:	Tesis de pregrado programa Ingeniería Eléctrica
Nombre Particular:	GESTIÓN DE RIESGOS PARA PARTICIPACIÓN EN MERCADOS DE ELECTRICIDAD COMPETITIVOS
Ciudad y fechas:	Cali
Participantes:	LUIS GABRIEL OSORIO YEISON A. RAMIREZ
Sitio de información:	Biblioteca Central
Formas organizativas:	GRALTA

Tipo de producto:	Tesis
Nombre General:	Tesis de pregrado programa Ingeniería Eléctrica
Nombre Particular:	APLICACIÓN DE MODELOS DE MARKOV PARA EL MODELAMIENTO DE MERCADOS DE ELECTRICIDAD COMPETITIVOS
Ciudad y fechas:	Cali
Participantes:	MILTHON ANDRES JIMENEZ ZUÑIGA
Sitio de información:	Biblioteca Central
Formas organizativas:	GRALTA

Tipo de producto:	Tesis
Nombre General:	Tesis de pregrado programa Ingeniería Eléctrica
Nombre Particular:	APLICACIÓN DE SIMULART AL ANÁLISIS DE RIESGOS DE COMERCIALIZACIÓN DE ENERGÍA EN MERCADOS DE ELECTRICIDAD COMPETITIVOS
Ciudad y fechas:	Cali
Participantes:	RUBÉN CORREA OSORIO
Sitio de información:	Biblioteca Central
Formas organizativas:	GRALTA

Tipo de producto:	Tesis maestría
Nombre General:	Tesis de maestría en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Eléctrica
Nombre Particular:	MODELADO DE VALORACION DE RIESGO E LA GESTION DE CONTRATOS DE VENTA DE ENERGIA ELECTRICA
Ciudad y fechas:	Cali
Participantes:	MONICA SANCHEZ CESPEDES
Sitio de información:	Biblioteca Central
Formas organizativas:	

Tipo de producto:	Tesis maestría
Nombre General:	Tesis de maestría en Ingeniería con énfasis en Ingeniería Eléctrica
Nombre Particular:	EVALUACION DE LOS SISTEMAS MULTI-AGENTES APLICADOS AL MODELADO DE MERCADOS DE ELECTRICIDAD COMPETITIVOS
Ciudad y fechas:	Cali

Participantes:	DIANA RAMOS MONTES
Sitio de información:	Biblioteca Central
Formas organizativas:	

Tipo de producto:	Estudiante vinculado doctorado
Nombre General:	Doctorado en Ingeniería, énfasis en Ing. Eléctrica y Electrónica.
Nombre Particular:	Paradigma de programación por restricciones aplicado al modelamiento de los mercados de electricidad
Ciudad y fechas:	Cali
Participantes:	Sandra Milena Londoño
Sitio de información:	Biblioteca Central
Formas organizativas:	

Tipo de producto:	Artículo n revista no indexada
Nombre General:	Revista Tecnura (2013). Volumen 18, No. 39, p. 110 - 127 (2014). Clasificación B.
Nombre Particular:	Modelo de valoración de riesgo financiero en la gestión de contratos de suministro de energía eléctrica
Ciudad y fechas:	Bogotá
Participantes:	Mónica Sánchez, Carlos Lozano, Diego F. Manotas
Sitio de información:	Online
Formas organizativas:	

Tipo de producto:	Ponencia internacional
Nombre General:	IX Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas
Nombre Particular:	Modelo para la evaluación de las opciones de expansión de capacidad en una empresa del sector eléctrico



Ciudad y fechas:	Universidad de Brasilia. Brasilia, Brasil. November 16-18, 2011.
Participantes:	Diego F. Manotas, Carlos A. Lozano, Oscar Rubiano
Sitio de información:	
Formas organizativas:	

Tipo de producto:	Ponencia internacional
Nombre General:	Research Conference Manual of International Summer School in Economics and Management - ISSEM 2009, Universidad de la Habana, 25-26 Septiembre de 2009.
Nombre Particular:	Economía y Demanda de Energía en Colombia.
Ciudad y fechas:	
Participantes:	Inés María Ulloa Villegas
Sitio de información:	
Formas organizativas:	

Tipo de producto:	Propuesta a Convocatoria Externa
Nombre General:	CONVOCATORIA 669-2014 PARA APOYAR PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO EN INGENIERÍAS
Nombre Particular:	DISEÑO DE CADENAS DE ABASTECIMIENTO PARA SISTEMAS ALTERNATIVOS DE GENERACIÓN ELÉCTRICA BASADOS EN RESIDUOS SÓLIDOS MUNICIPALES
Ciudad y fechas:	cali
Participantes:	Diego F. Manotas, Carlos Arturo Lozano Moncada
Sitio de información:	
Formas organizativas:	GRALTA, LOGYPRO, ECCA

Tipo de producto:	Propuesta a Convocatoria Externa
Nombre General:	Convocatoria 643-2014

Nombre Particular:	METODOLOGIA PARA EL PLANEAMIENTO DEL SISTEMA DE GENERACION-TRANSMISION EN COLOMBIA CONSIDERANDO CONDICIONES DE SEGURIDAD Y EL IMPACTO DE LA INTEGRACION DE FUENTES NO CONVENCIONALES
Ciudad y fechas:	cali
Participantes:	Diego F. Manotas, Carlos Arturo Lozano Moncada
Sitio de información:	
Formas organizativas:	

Firma del investigador principal

VoBo. Vicedecano de Investigaciones

1. Referencias bibliográficas

1. Diego F. Manotas, Alejandro Estrada, José A. Uribe. "Aplicación del coeficiente de Gini y la semivarianza como estimadores de riesgo en la selección de proyectos". Revista Ingeniería y Competitividad, Volumen 13, No. 2, p. 61 - 81 (2011) Clasificación A2
2. Diego Navas, Carlos Lozano, Diego F. Manotas. "Uso de simulaciones para la valoración del riesgo en mercados de electricidad". Revista Ingeniería y Universidad, Volumen 16, No. 2, (2012). Clasificación A2
3. Mónica Sánchez, Carlos Lozano, Diego F. Manotas. Modelo de valoración de riesgo financiero en la gestión de contratos de suministro de energía eléctrica. Revista Tecnura (2013). Volumen 18, No. 39, (2014). Clasificación B.
4. Héctor Taborda, David Oliveros, Diego F. Manotas, Carlos Lozano, Carlos Vidal. "Optimización del abastecimiento energético para usuarios no regulados". Revista Ingeniería y Competitividad. Volumen 16, No. 2, (2014). Clasificación A2
5. Diego F. Manotas. "Valoración de la flexibilidad operacional en activos de generación eléctrica". Revista Entramado, Volumen 9, No. 1, (2013). Clasificación B.
6. Diego F. Manotas, Carlos Agudelo, Jhonatan Arias, Carlos Lozano, Carlos Vidal. "Stochastic optimization of generation portfolio for thermal power plants in deregulated electricity markets". Revista Ingeniería e Investigación, Universidad Nacional. Clasificación A1
7. Diego F. Manotas, Carlos Lozano, Carlos Vidal. "Modelo de valoración de inversiones en pequeñas centrales hidroeléctricas usando análisis de opciones reales". Revista Información Tecnológica. Clasificación A1
8. Diego Navas, Carlos Lozano, Diego F. Manotas. "Riesgos Financieros en Mercados de Electricidad: Análisis y Evaluación". Editorial Académica Española (July 24, 2011), ISBN-10:3844347941 e ISBN-13:978-3844347944.
9. Diego F. Manotas, Carlos A. Lozano, Oscar Rubiano. "Modelo para la evaluación de las opciones



de expansión de capacidad en una empresa del sector eléctrico”. IX Congreso Latinoamericano de Dinámica de Sistemas. Universidad de Brasilia. Brasilia, Brasil. November 16-18, 2011.

10. Diego F. Manotas. “Optimization of investment portfolio in power generation technologies in a low-carbon economy”. UKERC Summer School. University of Warwick, 2012.
11. Diego F. Manotas, Carlos Lozano, Carlos Vidal. “Model for Selecting Renewable Energy Projects”. 22nd International Conference on Multiple Criteria Decision Making (MCDM2013). Málaga, Spain. June 17-21 (2013)