



**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER**  
**BIBLIOTECA EDUARDO COTE LAMUS**



## **RESUMEN – TESIS DE GRADO**

AUTORES ALFREDO CERVERA ACOSTA, JORGE ENRIQUE PAZ Y LUIS HERNAN VELEZ

FACULTAD DE INGENIERÍAS

PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA ELECTRÓNICA

DIRECTOR JUAN CARLOS GARCÍA ARREDONDO

TITULO DE LA TESIS HERRAMIENTA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO DE DESVIACIONES DE ENERGIA EN UN SISTEMA DE POTENCIA A TRAVÉS DEL CSN EPSA

### **RESUMEN**

El objetivo principal de este proyecto, fue implementar una herramienta de ayuda para supervisar la generación eléctrica, dentro de un período horario en las centrales, el cual permite a las personas que laboran en el centro de control, tomar medidas remediabes durante la operación del sistema, con el fin de impedir en lo posible que sucedan estas desviaciones, causantes en muchas ocasiones de consecuencias técnicas y económicas desfavorables.

### **CARACTERÍSTICAS:**

PAGINAS: 129 PLANOS: \_\_ ILUSTRACIONES: 37 CD-ROM 1

**HERRAMIENTA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO DE DESVIACIONES DE  
ENERGIA EN UN SISTEMA DE POTENCIA A TRAVÉS DEL CSN EPSA**

**ALFREDO CERVERA ACOSTA  
JORGE ENRIQUE PAZ  
LUIS HERNAN VELEZ**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
INSTITUTO TECNOLÓGICO MUNICIPAL ANTONIO JOSÉ CAMACHO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SANTIAGO DE CALI  
2008**

**HERRAMIENTA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO DE DESVIACIONES DE  
ENERGIA EN UN SISTEMA DE POTENCIA A TRAVÉS DEL CSN EPSA**

**ALFREDO CERVERA ACOSTA  
JORGE ENRIQUE PAZ  
LUIS HERNAN VELEZ**

**Trabajo de grado presentado como requisito para  
optar al título de Ingeniero Electrónico**

**Director  
JUAN CARLOS GARCIA ARREDONDO  
Ingeniero Electricista**

**UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
INSTITUTO TECNOLÓGICO MUNICIPAL ANTONIO JOSÉ CAMACHO  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PLAN DE ESTUDIOS INGENIERÍA ELECTRÓNICA  
SANTIAGO DE CALI  
2008**

**INSTITUTO TECNOLÓGICO MUNICIPAL "ANTONIO JOSE CAMACHO"**  
**FACULTAD DE INGENIERÍAS**

**ACTA- SUSTENTACIÓN PROYECTO DE GRADO 1- 2008**

El Jurado Académico del Programa de Ingeniería Electrónica, conformado para la evaluación de la sustentación del Proyecto de Grado "HERRAMIENTA DE SEGUIMIENTO Y MONITOREO DE DESVIACIONES DE ENERGIA EN UN SISTEMA DE POTENCIA A TRAVÉS DEL CSN EPSA", presentada por (el) los estudiantes (s):

Cervera Acosta Alfredo  
Velez Luis Hernan  
Paz Jorge Enrique

Aprueban la sustentación como requisito para optar al Título de Ingeniero Electrónico.

Nota: *Cuatro.cero (4.0)*



Jurado

Sergio Ivan Quintero Ayala



Jurado

José Alejo Rangel Rolón



XIMENA RÍOS

Directora Programa Ingeniería Electrónica

Santiago de Cali, 27 de Junio de 2008.

*A Dios: La gracia del Espíritu Santo que obra sobre mí, fortaleciéndome y brindándome la sabiduría y la fe que me convirtió en lo que soy hoy, mañana y siempre.*

*A mis seres queridos: Nancy Mosquera Montenegro, Jorge Octavio Paz y Katherine Paz Mosquera: el apoyo incondicional y los valores que sembraron en mi vida.*

*A todos mis compañeros y amigos, que cultivaron en mí la lucha, la entrega, la experiencia y el conocimiento.*

**JORGE ENRIQUE PAZ MOSQUERA**

*Doy gracias primeramente al Dios de los cielos, el ser máspreciado y maravilloso del universo, quien ha hecho posible alcanzar esta nueva etapa de mi vida, teniendo su respaldo desde siempre.*

*A mi hermosa familia quien con su paciencia estuvieron presentes en los momentos más difíciles, brindándome consejos de perseverancia y fortaleza.*

*A mis perseverantes compañeros con quienes he compartido momentos gratos e hicieron posible el perfeccionamiento de mis habilidades y conocimiento.*

**LUIS HERNAN VELEZ**

*Por sobre todas las cosas al Dios feliz que me ha dado el poder que es mas allá de lo normal para cumplir con esta meta.*

*A mi esposa Ana María y a mis hijas Lina María Cervera y Daniela Cervera por su paciencia y comprensión en los momentos en que tuve que ausentarme de su lado para lograr alcanzar este peldaño.*

*A mis padres y suegros por el ánimo y el apoyo constante que me han brindado, y el estímulo en momentos de desanimo.*

*A todos mis amigos y compañeros que de alguna manera me colaboraron, dedico la realización de este proyecto, lo que aspiro contribuya a continuar mi desarrollo profesional y desde allí colaborar en solucionar problemas a los demás.*

**ALFREDO CERVERA ACOSTA**

## **AGRADECIMIENTOS**

Los autores expresan sus agradecimientos a:

Juan Carlos García Arredondo, Ingeniero Electricista, director del proyecto por su colaboración, apoyo y consejos.

Héctor Restrepo, Sandra Ospina Arango, María Ignacia Ortiz y a Nancy Castillo de la Empresa EPSA S.A. por su colaboración para culminar este proyecto y por el gran apoyo que nos brindaron.

## CONTENIDO

	<b>Pág.</b>
INTRODUCCIÓN	22
1. EL CENTRO DE SUPERVISIÓN Y MANIOBRA (CSM)	23
1.1 ESTRUCTURA FÍSICA	23
1.1.1 Unidades terminales remotas (RTU'S)	24
1.1.2 Subsistema de comunicaciones	24
1.1.3 Hardware de la estación maestra	25
1.1.4 Software de la estación maestra	26
1.1.5 Características generales del sistema	26
1.1.6 Procesamiento de datos	26
1.2 CONCEPTOS BÁSICOS DE OPERACIÓN	26
1.3 FUNCIONES DEL CENTRO DE SUPERVISIÓN Y MANIOBRAS (CSM)	28
1.3.1 Función Scada	29
1.3.2 Función Control Automático de Generación (AGC)	30

1.3.3	Función despacho económico	33
1.3.4	Función estimación de Estado	34
1.3.5	Análisis de seguridad	34
1.4	INTERACCIÓN DEL CSM CON OTRAS ÁREAS	35
1.4.1	Operación de Plantas	36
1.4.2	Consecuencias de exceso o deficiencia de generación	36
1.4.3	Inercia de un sistema de potencia	37
1.4.4	Introducción a los reguladores	39
1.4.5	Modos de operación de un regulador de velocidad	41
1.4.6	Respuesta del regulador ante un incremento de frecuencia	42
1.4.7	Despacho económico	46
1.4.8	El CND	48
2.	NORMATIVIDAD Y MERCADO MAYORISTA	50
2.1	FRONTERAS COMERCIALES	50
2.2	PUNTOS DE FRONTERAS COMERCIALES	50

2.3	CÁLCULO DE LA DEMANDA	51
2.4	CLASIFICACIÓN DE USUARIOS	51
2.4.1	Usuarios no regulados	51
2.4.2	Selección del comercializador	52
2.4.3	¿Cómo determinar si un usuario puede ser no regulado?	52
2.5	USUARIOS REGULADOS	53
2.6	ENLACES DE FRONTERAS	53
2.7	LA COMISIÓN DE REGULACIÓN DE ENERGÍA Y GAS (CREG)	54
2.8	CONSEJO NACIONAL DE OPERACIÓN (CNO)	56
2.9	CONFORMACIÓN DEL MERCADO MAYORISTA DE LA ENERGÍA ELÉCTRICA	56
2.9.1	Agentes generadores	56
2.9.2	Agentes comercializadores	56
2.9.3	Sistema de Transmisión Nacional (STN)	57
2.10	BOLSAS DE ENERGÍA	57
2.10.1	Proceso operativo de la bolsa de energía	57

2.10.2 Participantes en la bolsa de energía	58
2.11 OBJETIVOS DE LA BOLSA DE ENERGÍA	58
2.12 FUNCIONAMIENTO DE LA BOLSA DE ENERGÍA	58
2.12.1 Garantías para los participantes en la bolsa de energía	58
2.12.2 Facturación, cobranzas y liquidación en la bolsa de energía	59
2.12.3 Servicios complementarios de energía	59
2.1.2.4 Fuerza mayor o caso fortuito	59
2.12.5 Revisión de los aspectos comerciales	59
2.13 REGLAS DE FUNCIONAMIENTO DE LA BOLSA DE ENERGÍA	59
2.13.1 Asignación de contratos de energía a largo plazo	60
2.13.2 Determinación de la disponibilidad comercial	60
2.13.3 Cálculo del precio en la bolsa de energía	60
2.13.4 Cálculo de las restricciones de transmisión	60
2.14 PROCESO BALANCE DE ENERGÍA	61
2.14.1 Proceso de cálculo del precio en la bolsa de energía	61

2.15 PRECIO HORARIO EN LA BOLSA DE ENERGÍA EN CONDICIONES NORMALES DE OPERACIÓN	62
2.16 PRECIO EN LA BOLSA DE ENERGÍA EN CONDICIONES DE INTERVENCIÓN DE PRECIOS DE OFERTA	62
2.16.1 Función precio en la bolsa de energía. SICPREC	62
2.16.2 Procesos de la función SICPREC	63
2.16.3 Determinación del precio en la bolsa de energía	63
2.17 PRECIO DE BOLSA	64
2.18 DECLARACIÓN DE DISPONIBILIDAD Y PRECIO DE OFERTA	65
2.18.1 Proceso comercial	65
2.19 RESTRICCIONES DEL SISTEMA	66
2.20 FACTURACIÓN	66
2.21 TRANSMISIÓN	66
2.22 LOS USUARIOS TIENEN LIBRE ACCESO A LA RED	67
2.23 CARGOS POR CONEXIÓN AL STN	67
2.24 CARGOS POR USO DEL STN	68
2.25 EVOLUCIÓN DE LOS PRECIOS	68

2.26	MERCADO MAYORISTA DE ENERGÍA ELÉCTRICA (MEM)	69
2.27	OPERACIÓN DEL MERCADO MAYORISTA DE ENERGÍA	70
2.28	SERVICIOS EN EL MERCADO MAYORISTA	70
2.28.1	Interacción en el mercado mayorista de energía	71
2.29	CONTRATOS ENTRE AGENTES DE MERCADO	71
3.	LAS DESVIACIONES EN EL PROGRAMA DE GENERACION	72
3.1	RECEPCIÓN DEL PROGRAMA DE GENERACIÓN O DESPACHO ECONÓMICO	72
3.2	DESVIACIONES AL PROGRAMA	72
3.3	CAUSAS DE DESVIACIÓN	72
3.4	OBJETOS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE GENERACIÓN	74
3.5	PENALIZACIÓN DE DESVIACIONES DE ENERGÍA	75
3.5.1	Disponibilidad declarada para el despacho económico y redespacho	76
3.5.2	Inflexibilidad de unidades	76
3.6	MÉTODOS DE CONTROL	78
3.7	EXCLUSIONES A LAS DESVIACIONES	80

3.8 OPTIMIZACIÓN DE LAS DESVIACIONES	80
3.9 REGULACIÓN SECUNDARIA AGC	81
4. APLICACIÓN DE SOFTWARE PARA LA SUPERVISIÓN DE DESVIACIONES DE ENERGÍA ELECTRICA	83
4.1 CONCEPTOS BÁSICOS DE CONTROL Y REGULACIÓN DE GENERACIÓN	83
4.2 MODOS DE OPERACIÓN DE UN REGULADOR DE VELOCIDAD	87
4.3 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL SISTEMA DE REGULACIÓN	88
4.3.1 Bucla típica de control	88
4.4 MECANISMOS DE COMPENSACIÓN DE GENERACIÓN	90
4.5 FUNCIONES ASOCIADAS AL REGULADOR DE VELOCIDAD	91
4.5.1 Mando	91
4.5.2 Sincronización	91
4.5.3 Monitoreo	91
4.5.4 Regulación	92
4.5.5 Protección	92
4.5.6 Módulos de entrada y salida SLU'S	92

4.5.7	Transductor de potencia	92
4.6	MONITOREO DE GENERACIÓN EN LÍNEA	93
4.7	DESCRIPCIÓN DE LA APLICACIÓN SISTEMA DE SUPERVISIÓN DE DESVIACIONES DE ENERGÍA (SSDEE)	94
4.8	DESCRIPCIÓN FUNCIONAL DEL SISTEMA DE SUPERVISIÓN DE GENERACIÓN DE ENERGÍA	99
4.8.1	Descripción del Sistema	99
4.9	ARQUITECTURA DEL PROGRAMA	99
4.9.1	El software básico y ambiente requerido para funcionamiento del programa	102
4.9.2	Instalación del sistema de supervisión de generación de energía	102
4.10	INSTALACIÓN DEL PROGRAMA	103
4.10.1	Conexión a base de datos ODBC	103
4.10.2	Licencias de software	108
4.10.3	Estructura del software	109
4.10.4	Seguridad de respaldo del sistema	109
4.10.5	Documentación para soporte en explotación	110

5. CONCLUSIONES	111
BIBLIOGRAFÍA	112
ANEXOS	113