



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“IDENTIFICACIÓN, SIMULACIÓN Y EVALUACIÓN DE UNA PROPUESTA
DE AUTOMATIZACIÓN DE PROYECCIÓN DE LA DEMANDA Y ENERGÍA
EN EL SISTEMA DE DISTRIBUCIÓN ELÉCTRICO”.

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de:

MAGÍSTER EN AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL INDUSTRIAL

Presentada por:

Ing. Miguel Alberto Torres Rodríguez

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2014

AGRADECIMIENTO

A Dios y la Virgen María por sobre todas las cosas; porque sin su ayuda nada sería posible.

El autor se encuentra agradecido con las personas que se relacionan a continuación, quienes amablemente intercambiaron experiencia, guiaron, orientaron, revisaron y le dieron sus ajustados comentarios y sugerencias:

Ing. Carlos Salazar, Director de proyecto de grado.

Dr. Cristóbal Mera, como un apoyo en la ingeniería.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios, por brindarme las pautas para labrar el camino. A mi esposa Guianella quien continuamente me ha apoyado, con amor y comprensión, a seguir cumpliendo metas en la vida. A mi hija Agnes Ivanna, quién es la razón fundamental para seguir luchando por nuevos objetivos trazados. A mis padres, Jorge y Juana, que con su apoyo incondicional me han apoyado toda una vida. A mis hermanos, Jorge Enrique y Verónica Irene, al ser pilares de mis estudios y logros en la vida.

Miguel Alberto

TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



MSc. Miguel Yapur A.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



MSc. Carlos Salazar L.
DIRECTOR DE PROYECTO



Ph.D. Cristóbal Mera
VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".

(Reglamento de Graduación de la ESPOL).



ING. MIGUEL ALBERTO TORRES

RODRÍGUEZ

RESUMEN

El presente trabajo se centra en proponer un modelo matemático basado en la identificación de sistemas de distribución eléctrica de tipo radial para poder estimar la demanda eléctrica del mismo a corto y largo plazo con una inversión mínima, optimizando los costos y los errores de estimación de la demanda que presentan actualmente los métodos convencionales utilizados por la mayoría de las empresas distribuidoras del País.

Esta propuesta de la metodología de proyección de la demanda, tiene el fin de minimizar errores de estimación respecto al valor utilizado, obteniendo resultados más ajustados a las variaciones de la demanda eléctrica debido a los hábitos de consumo de los usuarios finales acorde a la estacionalidad del consumo eléctrico anual.

Se propondrá un modelo por mes de análisis para obtener la proyección descrita. Mediante simulación se evaluará y validará los resultados del modelo generado, comparándole con el valor real

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	VI
ÍNDICE GENERAL	VII
ABREVIATURAS	XII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIV
INDICE DE TABLAS	XVIII
INTRODUCCIÓN	XX
CAPÍTULO I	
CONSIDERACIONES ACERCA DE LA PROYECCIÓN DE LA DEMANDA	
1.1 EVOLUCIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA.....	1
1.2 EL PROYECTO INTEGRAL DE LOS PLANES DE EXPANSIÓN DE LAS DISTRIBUIDORAS.....	2
1.3 LA IMPORTANCIA DEL BUEN PRONÓSTICO DE LA DEMANDA.....	4
1.4 ASPECTOS GENERALES.....	6

CAPÍTULO II

METODOLOGÍA TRADICIONAL EN LA PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

2.1 TIPOS DE CONSUMOS.....	8
2.1.1 CONSUMOS RESIDENCIALES.....	10
2.1.2 CONSUMOS COMERCIALES.....	11
2.1.3 CONSUMOS INDUSTRIALES.....	13
2.1.4 CONSUMOS ALUMBRADO PÚBLICO.....	14
2.1.5 CONSUMOS OTROS.....	15
2.2 TIPOS DE METODOLOGÍAS PARA LA PROYECCIÓN TRADICIONAL.....	17
2.2.1 PROYECCIÓN GLOBAL.....	17
2.2.2 PROYECCIÓN SECTORIAL.....	22
2.2.3 PROYECCIÓN ECONOMÉTRICA.....	30

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA DE LA PROPUESTA PARA LA PROYECCIÓN DE LA DEMANDA UTILIZANDO LA IDENTIFICACIÓN PARA EL PRONÓSTICO DE LA POTENCIA Y ENERGÍA

3.1 TIPOS DE MODELOS DE IDENTIFICACIÓN.....	34
3.1.1 MODELO ARX.....	36
3.1.2 MODELO OE.....	38
3.1.3 MODELO ARMAX.....	40
3.1.4 MODELO BJ.....	42

3.2 TIPOS DE VARIABLES EXTERNAS INVOLUCRADAS EN LA PROYECCIÓN DE LA DEMANDA.....	43
3.2.1 VARIABLE DE NIVEL DE LLUVIA.....	44
3.2.2 VARIABLE DE NIVEL DE TEMPERATURA AMBIENTAL.....	45
3.2.3 VARIABLE DE NIVEL DE NUBOSIDAD.....	48
3.3 TIPOS DE METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA NO TRADICIONAL.....	50
3.3.1 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE PROYECCIÓN ANUAL.....	51
3.3.1.1 PROYECCIÓN NO TRADICIONAL ANUAL DE ENERGÍA...52	
3.3.1.2 PROYECCIÓN NO TRADICIONAL ANUAL DE POTENCIA.53	
3.3.2 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA PROYECCIÓN MENSUAL...54	
3.3.2.1 PROYECCIÓN NO TRADICIONAL MENSUAL DE ENERGÍA.....	55
3.3.2.2 PROYECCIÓN NO TRADICIONAL MENSUAL DE POTENCIA.....	56
3.3.3 IDENTIFICACIÓN DEL SISTEMA DE VARIABLES EXTERNAS EN LA PROYECCIÓN MENSUAL.....	57
CAPÍTULO IV	
DISEÑO DE LA PROPUESTA PARA LA PROYECCIÓN DE LA DEMANDA	
4.1 INTRODUCCIÓN.....	59
4.2 DISEÑO DE MODELO TRADICIONAL ANUAL.....	60

4.2.1 PROYECCIÓN ANUAL GLOBAL.....	61
4.2.2 PROYECCIÓN ANUAL SECTORIAL.....	63
4.2.3 PROYECCIÓN ANUAL ECONOMETRICA.....	68
4.3 DISEÑO DE MODELO NO TRADICIONAL MENSUAL.....	70
4.3.1 PROYECCIÓN MENSUAL ARX.....	71
4.3.2 PROYECCIÓN MENSUAL OE.....	72
4.3.3 PROYECCIÓN MENSUAL ARMAX.....	73
4.3.4 PROYECCIÓN MENSUAL BJ.....	74
4.4 PROTOCOLO DE PRUEBAS Y ENSAYOS.....	75
4.5 EVALUACIÓN DEL MODELO SELECCIONADO MEDIANTE CONTRASTE CON VALOR REAL.....	101

CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS CON LA METODOLOGÍA TRADICIONAL Y CON LA METODOLOGÍA PROPUESTA

5.1 INTRODUCCIÓN.....	104
5.2 METODOLOGÍA TRADICIONAL.....	105
5.2.1 PROYECCIÓN GLOBAL.....	105
5.2.2 PROYECCIÓN SECTORIAL.....	106
5.2.3 PROYECCIÓN ECONOMETRICA.....	107
5.3 METODOLOGÍA NO TRADICIONAL	108
5.3.1 PROYECCIÓN ARX.....	108

5.3.2 PROYECCIÓN OE.....	109
5.3.3 PROYECCIÓN ARMAX.....	109
5.3.4 PROYECCIÓN BJ.....	110
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	111
BIBLIOGRAFÍA	

ABREVIATURAS

ABO	Número de Abonados
Abr	Abril
Ago	Agosto
AR	Auto Regresivo
ARMAX	Modelo Auto Regresivo de Media Móvil
ARMAX _{mnp}	Modelo ARMAX con coeficientes m, n, p, r
ARX	Modelo Auto Regresivo
ARX _{mnp}	Modelo ARX con coeficientes m, n, p
BJ	Modelo Box - Jenkins
BJ _{mnp}	Modelo BJ con coeficientes m, n, p, r, s
Dic	Diciembre
Dmax	Demanda máxima del año Mw
E	Energía Anual en Mwh
Ene	Enero
Ener.Med.Día	Energía Media Diaria
E _t	Energía del periodo actual
E _{t-1}	Energía del periodo anterior
FC	Factor de Carga
Feb	Febrero

Fig	Figura
IDENT	Herramienta de Identificación en MATLAB
Jul	Julio
Jun	Junio
kwh	Kilo vatio hora
ln	Logaritmo natural
Mar	Marzo
MATLAB	Programa “Laboratorio Matemático”
May	Mayo
Mw	Mega Vatios
Mwh	Mega Vatios hora
Nov	Noviembre
OE	Modelo de Error de Salida
OE_{mnp}	Modelo OE con coeficientes m, n, p
Oct	Octubre
PIB	Producto Interno Bruto
PIB_{t-2}	Producto Interno Bruto de dos periodos anteriores
R^2	Coeficiente de determinación en valor de tendencia
Sep	Septiembre
T	Temperatura en grados celsius
t	Tiempo en horas del año
ta	Representa el año del modelo econométrico

ÍNDICE DE FIGURAS

		Página
Fig. 2.1	Diagrama de Pastel Consumo Residencial	10
Fig. 2.2	Curvas de Energía y Temperatura CATEG 2007	18
Fig. 2.3	Producto Interno Bruto en Países Latinoamericanos INEM 2011	31
Fig. 3.1	Sistema entrada – salida y perturbación - salida	35
Fig. 3.2	Sistema modelado estructura ARX	38
Fig. 3.3	Sistema modelado estructura OE	39
Fig. 3.4	Sistema modelado estructura ARMAX	41
Fig. 3.5	Sistema modelado estructura BJ	42
Fig. 3.6	Energía y Consumo Promedio respecto al Tiempo EMPRESA ELÉCTRICA	45
Fig. 3.7	Curvas de Energía y Temperatura CATEG 2007	48
Fig. 4.1	Curva de Tendencia de Factor de Carga	61
Fig. 4.2	Curva de Tendencia de Energía Proyección Global	62
Fig. 4.3	Curva de Tendencia de Energía Sector Residencial	63
Fig. 4.4	Curva de Tendencia de Energía Sector Comercial	64
Fig. 4.5	Curva de Tendencia de Energía Sector Industrial	65
Fig. 4.6	Curva de Tendencia de Energía Sector Alumbrado Público	66
Fig. 4.7	Curva de Tendencia de Energía Sector Otros	67
Fig. 4.8	Curva de Energía Método Sectorial	68

Fig. 4.9	Curva de Energía Método Econométrico	69
Fig. 4.10	Herramienta de Identificación del Sistema ARX	72
Fig. 4.11	Herramienta de Identificación del Sistema OE	73
Fig. 4.12	Herramienta de Identificación del Sistema ARMAX	74
Fig. 4.13	Herramienta de Identificación del Sistema BJ	75
Fig. 4.14	Respuesta Paso Enero Modelo ARX222	76
Fig. 4.15	Respuesta Paso Enero Modelo ARX211	77
Fig. 4.16	Respuesta Paso Enero Modelo ARX121	77
Fig. 4.17	Respuesta Paso Enero Modelo ARX112	78
Fig. 4.18	Respuesta Paso Enero Modelo OE221	78
Fig. 4.19	Respuesta Paso Enero Modelo OE112	79
Fig. 4.20	Respuesta Paso Enero Modelo OE322	79
Fig. 4.21	Respuesta Paso Enero Modelo OE311	80
Fig. 4.22	Respuesta Paso Enero Modelo ARMAX2221	80
Fig. 4.23	Respuesta Paso Enero Modelo ARMAX3211	81
Fig. 4.24	Respuesta Paso Enero Modelo BJ11112	81
Fig. 4.25	Respuesta Paso Enero Modelo BJ11212	82
Fig. 4.26	Respuesta Paso Enero Modelo BJ10012	82
Fig. 4.27	Respuesta Paso Febrero Modelo ARX112	83
Fig. 4.28	Respuesta Paso Febrero Modelo OE112	84
Fig. 4.29	Respuesta Paso Febrero Modelo BJ10012	84
Fig. 4.30	Respuesta Paso Marzo Modelo ARX112	85

Fig. 4.31	Respuesta Paso Marzo Modelo OE112	85
Fig. 4.32	Respuesta Paso Marzo Modelo OE223	86
Fig. 4.33	Respuesta Paso Abril Modelo ARX112	86
Fig. 4.34	Respuesta Paso Abril Modelo OE112	87
Fig. 4.35	Respuesta Paso Abril Modelo BJ10012	87
Fig. 4.36	Respuesta Paso Mayo Modelo ARX112	88
Fig. 4.37	Respuesta Paso Mayo Modelo OE112	88
Fig. 4.38	Respuesta Paso Mayo Modelo BJ10012	89
Fig. 4.39	Respuesta Paso Junio Modelo ARX112	89
Fig. 4.40	Respuesta Paso Junio Modelo OE112	90
Fig. 4.41	Respuesta Paso Junio Modelo BJ10012	90
Fig. 4.42	Respuesta Paso Julio Modelo ARX112	91
Fig. 4.43	Respuesta Paso Julio Modelo OE112	91
Fig. 4.44	Respuesta Paso Julio Modelo BJ10012	92
Fig. 4.45	Respuesta Paso Agosto Modelo ARX112	92
Fig. 4.46	Respuesta Paso Agosto Modelo OE112	93
Fig. 4.47	Respuesta Paso Agosto Modelo BJ10012	93
Fig. 4.48	Respuesta Paso Septiembre Modelo ARX112	94
Fig. 4.49	Respuesta Paso Septiembre Modelo OE112	94
Fig. 4.50	Respuesta Paso Septiembre Modelo BJ10012	95
Fig. 4.51	Respuesta Paso Octubre Modelo ARX112	95
Fig. 4.52	Respuesta Paso Octubre Modelo OE112	96

Fig. 4.53	Respuesta Paso Octubre Modelo BJ10012	96
Fig. 4.54	Respuesta Paso Noviembre Modelo ARX112	97
Fig. 4.55	Respuesta Paso Noviembre Modelo OE112	97
Fig. 4.56	Respuesta Paso Noviembre Modelo BJ10012	98
Fig. 4.57	Respuesta Paso Diciembre Modelo ARX112	98
Fig. 4.58	Respuesta Paso Diciembre Modelo OE112	99
Fig. 4.59	Respuesta Paso Diciembre Modelo BJ10012	99

ÍNDICE DE TABLAS

		Pág.
Tabla 2.1	Porcentaje de Equipos de Consumo Residencial	11
Tabla 2.2	Datos Proyección Global	19
Tabla 2.3	Datos Proyección Sectorial	28
Tabla 2.4	Datos Proyección Econométrica	33
Tabla 4.1	Datos Reales Demanda de Energía Enero – Junio (2002-2011)	70
Tabla 4.2	Datos Reales Demanda de Energía Julio – Diciembre (2002-2011)	71
Tabla 4.3	Valores Pronosticados mediante Identificación de 2011 hasta 2021 Enero – Junio en Mwh	101
Tabla 4.4	Valores Pronosticados mediante Identificación de 2011 hasta 2021 Julio – Diciembre en Mwh	102
Tabla 4.5	Contraste con valores reales Enero – Junio 2011 hasta 2013	102
Tabla 4.6	Contraste con valores reales Julio – Diciembre 2011 hasta 2013	103
Tabla 5.1	Contraste con valores reales Proyección Global	106

Tabla 5.2	Contraste con valores reales Proyección Sectorial	106
Tabla 5.3	Contraste con valores reales Proyección Econométrica	107

INTRODUCCIÓN

En los actuales momentos, la necesidad de obtener de forma más fidedigna y determinada el porcentaje de crecimiento de potencia y energía en los sistemas de distribución, ha incrementado de forma que se obtenga el valor requerido mensual y anualmente.

Por otra parte, tiene una fuerte sinergia con el nivel de inversión que puede llegar a realizar una empresa distribuidora del sector eléctrico al momento de realizar sus estudios de expansión de sus redes de distribución de energía. Asegurando así el nivel mínimo requerido por los usuarios finales de la mencionada energía.

Acorde a los dos párrafos anteriores, surge el deseo de minimizar el error de pronóstico de la demanda tanto anual como mensual. Evitando en todo momento un sobre o sub equipamiento de los elementos físicos para el diseño de nuevas redes de transporte de la energía eléctrica.

Hasta inicios de la década actual, la mayoría de las empresas distribuidoras a nivel nacional, han estado utilizando las metodologías tradicionales para el ejercicio del plan decenal de expansión e inversión. Estas metodologías han

incurrido en errores de hasta el 10% en promedio con relación al valor de energía y potencia que finalmente se obtuvo como consumo real. Entre los métodos tradicionales se tienen al fundamental el econométrico.

La presente propuesta pretende minimizar el error de proyección de la demanda mensual, tomando inicialmente como partida las proyecciones anuales basadas en los métodos de pronóstico global y el sectorial. Por consiguiente, se presentarán 12 modelos que se ajusten a la estacionalidad del consumo de los usuarios finales.

Básicamente el proyecto busca mejorar los niveles de inversión, optimizando los valores de energía y potencia pronosticados respecto a los reales que se vayan obteniendo mientras transcurre un período de análisis.

CAPÍTULO 1

CONSIDERACIONES, IMPORTANCIA Y JUSTIFICACIÓN ACERCA DE LA PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

1.1 EVOLUCIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EL PRONÓSTICO DE LA DEMANDA

El pronóstico de la demanda eléctrica debe ser elaborado con el menor error posible de proyección, puesto que su resultado es utilizado como una guía en la toma de decisiones en el momento de la preparación del plan de expansión a largo plazo por parte de la Empresas Distribuidora de Energía Eléctrica.

Este tema ha sido de suma importancia, a lo largo del tiempo, y en la actualidad se puede evidenciar tres grandes grupos en los que se divide la metodología para el pronóstico de la demanda.

El primer grupo, es en el cual se encuentran modelos que se basan en análisis estadístico puro; tales como econométricos, series de tiempo y regresión simple.

Un segundo grupo, el cual ha sido auge en los últimos años, han sido analizados los modelos de la demanda energética mediante métodos modernos de control; tales como redes neuronales, lógica difusa e identificación de sistemas.

Finalmente, existe un tercer grupo, minoritario, en el cual las posibles soluciones a los problemas de la proyección de la demanda son de índole subjetiva; es decir, juicios y análisis basados en experiencias de expertos que conocen el comportamiento habitual de un sistema eléctrico en particular.

1.2 EL PROYECTO INTEGRAL DE LOS PLANES DE EXPANSIÓN DE LAS DISTRIBUIDORAS

Un excelente análisis de expansión de un sistema de Distribución de Energía Eléctrica no es fácil de elaborar ni definir, esto se debe a la

dependencia de la geografía del sector en el cual se encuentra inmerso el sistema en análisis, así como el factor climático que rodea al mismo.

Todo proyecto integral de los planes de expansión de las distribuidoras debe ser concebido bajo el ambiente de contingencia, de cualquier índole, con lo cual se asegura un adecuado suministro de energía eléctrica para toda la concesión declarada por la distribuidora en mención.

Por tal motivo, un proyecto de expansión de energía eléctrica debe considerar lineamientos básicos, los cuales son parámetros inherentes y externos del sistema eléctrico modelado para su pronóstico, mismos que se citan a continuación:

- Crecimiento del PIB del sector en análisis.
- Evolución climática de la zona en estudio.
- Tendencias de crecimiento.
- Fenómenos que incidan en la curva de demanda.
- Estacionalidad del consumo energético de la población.

Con los anteriores criterios, se identifican dentro del modelo del sistema de proyección de la demanda de la distribuidora en análisis de tal forma que se incluyan el mayor número de estímulos que puedan afectar de forma positiva o negativa al resultado de la proyección de la demanda.

1.3 LA IMPORTANCIA DEL BUEN PRONÓSTICO DE LA DEMANDA

Actualmente el pronóstico de la demanda eléctrica es el resultado de un monitoreo continuo. En los últimos años, esta atención ha incrementado su importancia debido a los cambios de consumo de los usuarios de la energía eléctrica. Si se puede mencionar un punto de inflexión del mismo, será en el 2008 cuando a nivel País se introdujo al mercado el uso masivo de focos ahorradores, lo cual cambió drásticamente la curva de carga diaria del sistema eléctrico.

Por el valor que posee la energía eléctrica en la vida cotidiana; misma que sirve de suministro en la iluminación, operación de diversos equipos, video, acondicionadores de aire, sistemas de cómputos, obviamente también se encuentra presente en los procesos industriales, de servicio; es importante contar con un buen pronóstico de la demanda para evitar en todo momento la racionalización en el consumo de energía a nivel País.

Como ilustración de lo mencionado, por los años 90 el País sufrió un fuerte déficit en la producción anual de la energía eléctrica, lo cual conllevó a generar molestias y gastos innecesarios por parte de los usuarios que tuvieron que dotarse de plantas generadoras propias, para impedir la disminución de elaboración de productos de uso masivo y de primera necesidad.

Ahora se puede concluir que, el fin del pronóstico de la demanda es encontrar caminos efectivos para poder desarrollar de forma eficiente, efectiva y eficaz nuevas centrales de generación de energía renovable; y así no sólo suplir de forma óptima el consumo de los usuarios de las distribuidoras, sino pensar en algún momento comercializar el excedente a sectores aledaños del sistema.

El pronóstico de la demanda es el insumo principal para una empresa distribuidora, puesto que el departamento de Planificación evidencia de esta forma el consumo futuro de una ciudad en los próximos años.

Esta información, por otra parte, es utilizada por el departamento que se dedica a la ingeniería; es decir, a los diseñadores de nuevos elementos del sistema, les permite conocer en qué momento se debe incluir una nueva subestación o redistribuir una existente en el sistema actual.

Paralelamente, una empresa de esta jurisdicción, no puede perder el rumbo inicial de toda empresa instalada en un mercado; el cual es de vender el servicio que ofrece a la comunidad. Por tal motivo, el departamento financiero, también recoge la información del pronóstico de la demanda, y lo incluye en su proyección de ventas que tendrá en los próximos 10 años acorde al Plan decenal solicitado por el ente regulador, mismos que serán de utilidad para evidenciar los momentos en los que se

podrá realizar inversiones fuertes que ayuden a mejorar el servicio prestado a los usuarios de la empresa.

1.4 ASPECTOS GENERALES

Las sociedades actuales, tiene como sostén de su vida cotidiana al suministro continuo de la energía eléctrica, mediante el cual desarrollan todas sus actividades comerciales y de supervivencia.

Las empresas distribuidoras, a través de sus equipos de planificación, han incrementado la conciencia sobre la necesidad de minimizar los errores al momento de pronosticar la demanda eléctrica para cierto periodo de análisis.

Las diferentes gestiones a nivel mundial en los últimos 10 años, muestran alteraciones en la curva de carga de los consumidores de energía eléctrica. La principal causa ha sido la concientización del uso eficiente de la energía eléctrica; mediante la inclusión de equipos ahorradores de energía en el mercado eléctrico, así como también la socialización de talleres en los cuales se les invita a los consumidores a no incrementar el uso de la energía eléctrica sino a utilizar sólo lo necesario.

Las grandes distribuidoras, así como entes reguladores de las mismas, afrontan desafíos de suma importancia; puesto que deben asegurar un

abastecimiento continuo en la energía eléctrica para una población sin incurrir en inversiones millonarias innecesarias.

El pronóstico de la demanda depende de diferentes factores, los cuales a su vez se clasifican en factores controlables y factores no controlables. Entre los factores no controlables se tiene: costumbres de consumos, consumo en períodos vacacionales, zonificación de los consumidores, entre otros. En los factores controlables se tiene la estacionalidad del consumo de los usuarios.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA TRADICIONAL EN LA PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

2.1 TIPOS DE CONSUMO

En el interior de los usuarios de una empresa distribuidora típica del sector ecuatoriano, se encuentra una clasificación de consumidores como: residenciales, comerciales, industriales, alumbrado público y otros.

En la empresa distribuidora tomada como ejemplo, el consumo total anual de la energía eléctrica se desgrega de la siguiente forma:

- Consumo residencial representa un 28% aproximadamente.
- Consumo comercial representa un 23% aproximadamente.
- Consumo industrial representa un 38% aproximadamente.
- Consumo alumbrado público representa un 3% aproximadamente.
- Consumo otros representa un 8% aproximadamente.

En forma similar, se puede realizar un detalle de la cantidad de usuarios involucrados en cada sector de consumo que pertenecen a la distribuidora en análisis, como se presenta a continuación:

- Usuarios residenciales equivalen a 86% aproximadamente.
- Usuarios comerciales equivalen a 12% aproximadamente.
- Usuarios industriales equivalen a 0.5% aproximadamente.
- Usuarios alumbrado público equivalen a 0.01% aproximadamente.
- Usuarios otros equivalen a 1.49% aproximadamente.

Se puede evidenciar en los detalles anteriores, que el sector industrial posee un gran consumo, es decir es el que mayor energía absorbe del sistema, seguido del sector residencial y comercial; en contraste, el sector industrial es uno de los que menos usuarios contienen, siendo el sector residencial el que mayor cantidad de usuarios posee.

2.1.1 Consumos Residenciales

El sector residencial, como ya se lo había detallado, aporta en más de la cuarta parte del consumo de energía de la distribuidora seleccionada.

Este consumo energético del sector residencial, se lo puede disgregar de la siguiente forma:

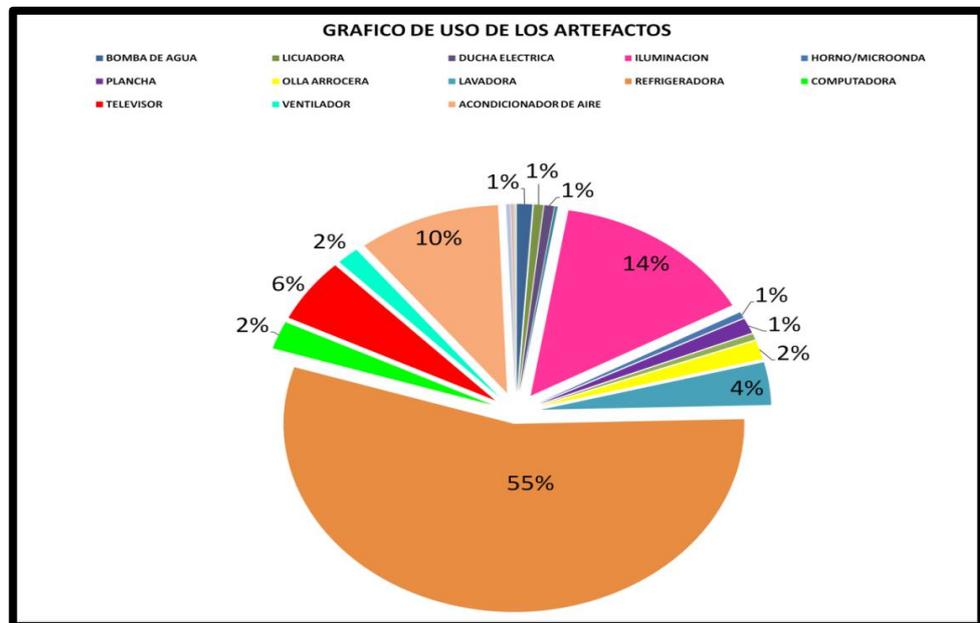


Fig. 2.1 Diagrama de Pastel Consumo Residencial

Al observar el diagrama anterior se puede verificar la gran influencia de electrodomésticos en el consumo total sector residencial, a continuación se detalla en forma tabular la contribución de cada electrodoméstico en el consumo total residencial:

EQUIPOS ELECTRODOMÉSTICOS	PORCENTAJE DE USO
Refrigeradora	55%
Iluminación	14%
Acondicionador de Aire	10%
Televisor	6%
Lavadora	4%
Computadora	2%
Olla Arrocera	2%
Ventilador	2%
Plancha	1%
Bomba	1%
Horno/Microonda	1%
Licuada	1%
Ducha Eléctrica	1%

Tabla 2.1 Porcentaje de Equipos de Consumo Residencial

2.1.2 Consumos Comerciales

El sector comercial, como ya se lo había detallado, aporta en casi la cuarta parte del consumo de energía de la distribuidora seleccionada.

Por la gran heterogeneidad de este tipo de consumidores, no ha sido factible agruparlos totalmente bajo ciertas características similares a todos los consumidores de este grupo.

El consumo de este tipo de usuarios depende de los siguientes aspectos detallados a continuación:

- Las dimensiones del lugar en el cual se desarrolla la actividad comercial.
- La existencia de diferentes equipos eléctricos que aportan al consumo de energía de los usuarios, tales como:
 - La iluminación, misma que es diferente para la zona de atención al cliente, oficina, parqueos, entre otras.
 - El equipo de oficina utilizado, ya sea una computadora o hasta un centro de cómputo para el manejo de todo un centro comercial.
 - Implementos para el acceso a discapacitados, como ascensores y escaleras mecánicas.
 - Los sistemas de climatización, tanto para el medio en el que se encuentran los clientes como para mantener frescos los alimentos.
- A diferencia de los consumidores residenciales, en el sector comercial grande, se cuenta con domótica en el cual procesos de encendido de luminarias y equipos de climatización están programados mediante sensores y otros actuadores autómatas para gestionar eficientemente la energía eléctrica consumida.

2.1.3 Consumos Industriales

El sector industrial, como ya se lo había detallado, aporta en casi un cuarenta por ciento del consumo de energía de la distribuidora seleccionada.

En este sector de consumo, acorde a estadísticas llevadas por la empresa distribuidora seleccionada, se puede asumir que este valor en porcentaje no varía severamente a lo largo del tiempo, y esto se mantiene aunque exista un aumento en la demanda total de la distribuidora.

En este grupo industrial, el gran peso del consumo lo obtiene la gran industria; es decir fábricas cuyas potencias instaladas son sumamente enormes respecto a los otros industriales del sector.

Los principales equipos que demandan energía eléctrica en estas grandes industrias son:

- Hornos de Arco.
- Cuartos de Curado.
- Motores de Arranque.
- Mezcladoras.
- Trituradoras

Estos equipos requieren un pronóstico de la demanda con el menor error posible, puesto que la coordinación de sus protecciones depende del nivel de cortocircuito en el punto de enlace a la red del sistema eléctrico de distribución, lo cual se lo obtiene mediante la distribución correcta del crecimiento de la demanda de la empresa distribuidora.

2.1.4 Consumos Alumbrado Público

El sector denominado alumbrado público, como ya se lo había detallado, aporta en alrededor un tres por ciento del consumo de energía de la distribuidora seleccionada.

En los estudios de pronóstico de la demanda en años anteriores al 2008, se podía concluir que el incremento en este sector era muy ínfimo debido a que no se tenía un excelente levantamiento de las luminarias del alumbrado público existente en la concesión.

A partir del 2008, con la inclusión del Sistema de Información Geo referenciada, se comenzó a tener a disposición valores más próximos a los reales de los consumos de las luminarias del alumbrado público.

En la actualidad, con la inclusión de campañas de uso eficiente de la energía eléctrica, se ha observado una disminución en el

crecimiento de la energía utilizada por este sector; misma que bordea un promedio de 6% de crecimiento.

En estos días, por disposición de los entes reguladores de las empresas eléctricas de distribución de energía eléctrica, se ha creado en varias de las empresas departamentos específicos que se dedican a realizar estudios que modelen el comportamiento casi real del sector del alumbrado público.

Debido a que el consumo de energía eléctrica de este sector se encuentra ligado a los actuadores inteligentes que permiten el encendido y/o el apagado de las mismas, se ha emprendido la campaña del servicio al cliente que recepte llamadas para localizar mal funcionamientos de luminarias en los diferentes sectores de la ciudad y así poder utilizar de forma óptima la energía eléctrica del sector alumbrado público.

2.1.5 Consumos Otros

El último sector en el cual se divide el consumo de la empresa distribuidora seleccionada en el estudio es el sector denominado otros, como ya se lo había detallado, aporta en alrededor un ocho por ciento del consumo de energía de la distribuidora seleccionada.

A pesar de poder utilizar una metodología con menor errores posibles, en este sector es difícil pronosticar la demanda eléctrica y de potencia a ser utilizada para los próximos años, debido a la naturaleza del comportamiento del sector otros.

La naturaleza del sector otros es muy variante un año respecto a otro; es decir no existe patrón alguno que permita evidenciar un comportamiento tendencial.

Dentro del sector, existen diferentes usuarios los cuales la mayoría de los tiempos tienen una actividad ocasional; es decir que, son usuarios que pueden requerir demanda ciertos meses del año, como son:

- Estaciones de Bombeo Ocasionales
- Alumbrado en escenarios deportivos
- Alumbrado para eventos casuales
- Artesanos ocasionales
- Artesanos ocasionales con demanda
- Hospitales ambulantes
- Cargos por re facturaciones en media tensión
- Cargos por re facturaciones en alta tensión
- Cargos por re facturaciones en baja tensión

Como se puede observar el grupo que compone este sector de consumo; es muy disperso si se lo desea analizar separadamente. La gran ventaja del grupo, es que su comportamiento en total anual llega a tener cierta homogeneidad. Esta ventaja ha permitido asignarle un valor de crecimiento del 5% aproximadamente para los estudios de planificación y pronóstico de la demanda eléctrica para largo plazo.

2.2 TIPOS DE METODOLOGÍA PARA LA PROYECCIÓN TRADICIONAL

En un sistema de distribución eléctrica, se puede definir a la demanda de la misma como el ratio de transferencia que se requiere a cada instante para poner en uso los equipos eléctricos de una ciudad a la cual tiene concesión la empresa distribuidora.

Como ya se había mencionado anteriormente, el movimiento creciente o decreciente de esta tasa se encuentra directamente proporcional ligado a la expansión demográfica de la ciudad, así como el nivel adquisitivo de los ciudadanos de la misma; e indirectamente se afecta con los cambios climáticos y sociales que atañen a la comunidad en análisis.

En la empresa distribuidora seleccionada, se evidencia claramente un comportamiento estacional del consumo o demanda de la concesión. En la figura de continuación, se evidencia crecimiento en los meses de calor así como en los meses de festividades de fin de año.

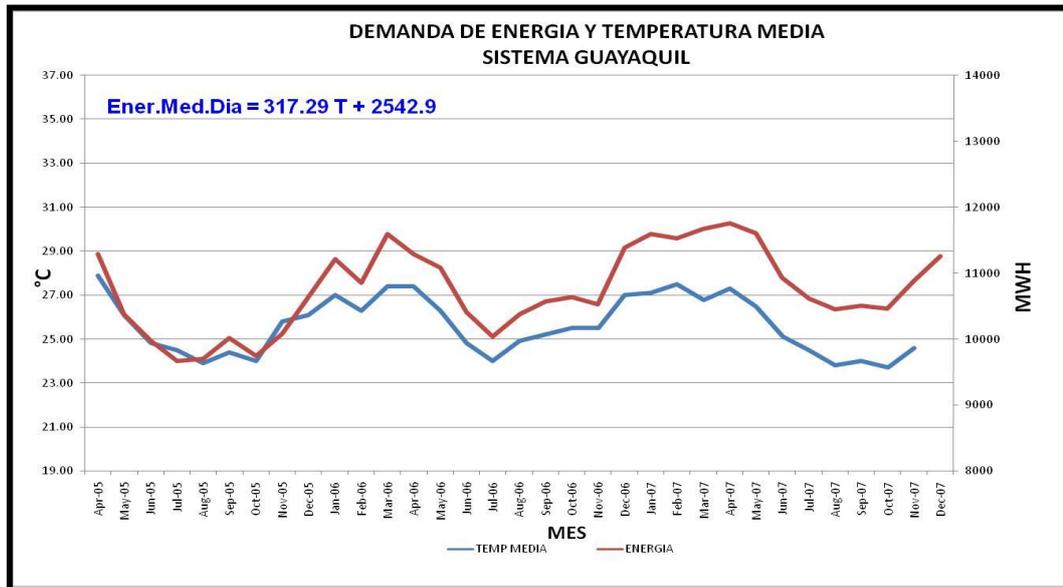


Fig. 2.2 Curvas de Energía y Temperatura CATEG 2007.

2.2.1 Proyección Global

Es un método determinístico, estadístico; mediante el cual las tendencias en la demanda se basan en un ajuste (mínimos cuadrados).

En este método se toma como referencia una base de datos histórica desde 1975, en el cual se tiene de forma real los datos obtenidos hasta la fecha tanto de energía y potencia como del factor de carga total del sistema eléctrico de distribución de la empresa en análisis.

En la tabla siguiente se muestran los datos utilizados en este tipo de proyección:

METODO GLOBAL			
AÑO	DEMANDA ENERGIA MWH METODO GLOBAL TENDENCIA 1989-1998	POTENCIA MW	FACTOR DE CARGA
1975	572.307,30	124,00	0,526870
1976	684.832,91	146,52	0,533560
1977	809.169,83	174,70	0,528741
1978	977.980,32	198,08	0,563619
1979	1.166.847,65	218,59	0,609357
1980	1.319.262,86	242,23	0,621737
1981	1.455.710,79	271,74	0,611541
1982	1.652.585,41	296,41	0,636454
1983	1.753.838,93	293,94	0,681125
1984	1.635.886,85	292,24	0,639013
1985	1.690.911,59	314,97	0,612841
1986	1.788.917,65	333,65	0,612062
1987	1.933.654,29	358,28	0,616101
1988	1.993.920,21	351,98	0,646674
1989	1.991.561,78	359,15	0,633015
1990	2.179.238,96	385,62	0,645121
1991	2.381.294,41	412,96	0,658265
1992	2.414.244,65	424,32	0,649507
1993	2.472.558,75	427,80	0,659784
1994	2.584.672,83	468,03	0,630417
1995	2.720.311,60	495,77	0,626375
1996	2.888.993,31	525,35	0,627760
1997	3.276.912,38	570,82	0,655332
1998	3.302.772,05	570,69	0,660654
1999	3.001.755,94	538,44	0,636406
2000	2.981.747,97	530,27	0,641904
2001	3.026.628,60	537,46	0,642849
2002	3.216.424,95	569,62	0,644591
2003	3.392.172,19	599,32	0,646128
2004	3.577.522,35	630,61	0,647618
2005	3.773.000,14	663,59	0,649061
2006	3.979.158,95	698,34	0,650462
2007	4.196.582,40	720,39	0,665000
2008	4.425.885,98	758,62	0,666000
2009	4.667.718,83	798,87	0,667000
2010	4.922.765,56	841,26	0,668000
2011	5.191.748,19	885,90	0,669000
2012	5.475.428,18	932,91	0,670000

Tabla 2.2 Datos Proyección Global

Se considera con un crecimiento lineal, por ser el más sencillo, y además por análisis subjetivo de los involucrados en la planificación del crecimiento de la demanda, quienes manifiestan que el sistema crece cada cinco años a un promedio de 4% de crecimiento anual.

Al momento de obtener la curva que modele mejor el comportamiento del sistema, se deduce la ecuación de la mencionada curva, para luego ajustar el periodo inicial de análisis al dato real del último año que se tenga información de energía y demanda.

A partir de este valor, se procede a introducirlo en la ecuación de la curva, y así se comienzan a obtener los valores para los próximos 10 años de expansión del sistema de distribución de la demanda en la empresa distribuidora seleccionada para el estudio.

En el caso del factor de carga, lo que se realiza es encontrar una curva que modele el comportamiento del factor en mención con base a lo históricos desde 1975.

En forma similar que la energía, una vez obtenida la ecuación, se ajusta el valor inicial de la misma al último valor real que se tiene para luego proceder con la obtención de los valores de factor de carga para los próximos 10 años.

Este procedimiento se lo realiza de esta forma, puesto que un sistema eléctrico de distribución de energía eléctrica, óptimamente oscilará entre 0,69 y 0,75 como valores de factor de carga.

Finalmente, se debe recordar que existe una ecuación que interrelaciona a la energía eléctrica con la demanda máxima del sistema en análisis, misma que se presenta a continuación:

$$FC = \frac{E/t}{D_{\max}} \quad (2.1)$$

Mediante un despeje simple de la ecuación mostrada anteriormente, y con los datos proyectados a 10 años tanto de energía eléctrica como del factor de carga; se procede a calcular el valor de la demanda máxima para el período en análisis.

Es de suma importancia, para realizar estos cálculos, proceder a verificar correctamente las unidades con las que se trabaja para cada parámetro en la ecuación, así:

E: energía anual en Mwh

t: tiempo en horas anuales

D_{máx}: potencia máxima anual en Mw

2.2.2 Proyección Sectorial

Es un método determinístico, estadístico; mediante el cual las tendencias en la demanda se basan en un ajuste (mínimos cuadrados).

En este método se toma como referencia una base de datos histórica desde 1975, en el cual se tiene de forma real los datos obtenidos hasta la fecha tanto de energía y potencia como del factor de carga total del sistema eléctrico de distribución de la empresa en análisis.

A diferencia del método anterior, para proceder con la obtención de la energía para los próximos 10 años, la proyección sectorial analiza de forma individual cada sector de consumo que compone a la empresa distribuidora seleccionada en análisis.

Es decir, como ya se lo había disgregado anteriormente, la empresa distribuidora cuenta con los siguientes sectores de consumo; que al final de cuentas son los siguientes abonados:

- Abonados Residenciales
- Abonados Comerciales
- Abonados Industriales
- Abonados Alumbrado Público

- Abonados Otros

Bajo esta clasificación, inicialmente se toma el sector residencial, luego se toma la base histórica de los últimos 10 años, para luego proceder a obtener la curva que mejor modele el comportamiento histórico de la energía del sector en análisis.

Se considera con un crecimiento mediante tendencia, por ser el más sencillo, y además por análisis subjetivo de los involucrados en la planificación del crecimiento de la demanda, quienes manifiestan que el sector crece cada cinco años a un promedio de 3,8% de crecimiento anual.

Al momento de obtener la curva que modele mejor el comportamiento del sector residencial, se deduce la ecuación de la mencionada curva, para luego ajustar el periodo inicial de análisis al dato real del último año que se tenga información de energía.

A partir de este valor, se procede a introducirlo en la ecuación de la curva, y así se comienzan a obtener los valores para los próximos 10 años de expansión del sector residencial en la empresa distribuidora seleccionada para el estudio.

A continuación, se procede a tomar el sector comercial, luego se toma la base histórica de los últimos 10 años, para luego obtener la

curva que mejor modele el comportamiento histórico de la energía del sector en análisis.

Se considera con un crecimiento mediante tendencia, por ser el más sencillo, y además por análisis subjetivo de los involucrados en la planificación del crecimiento de la demanda, quienes manifiestan que el sector crece cada cinco años a un promedio de 4% de crecimiento anual.

Al momento de obtener la curva que modele mejor el comportamiento del sector comercial, se deduce la ecuación de la mencionada curva, para luego ajustar el periodo inicial de análisis al dato real del último año que se tenga información de energía.

A partir de este valor, se procede a introducirlo en la ecuación de la curva, y así se comienzan a obtener los valores para los próximos 10 años de expansión del sector comercial en la empresa distribuidora seleccionada para el estudio.

En tercer lugar, se procede a tomar el sector industrial, luego se toma la base histórica de los últimos 10 años, para luego obtener la curva que mejor modele el comportamiento histórico de la energía del sector en análisis.

Se considera con un crecimiento mediante tendencia, por ser el más sencillo, y además por análisis subjetivo de los involucrados en la planificación del crecimiento de la demanda, quienes manifiestan que el sector crece cada cinco años a un promedio de 2,8% de crecimiento anual.

Al momento de obtener la curva que modele mejor el comportamiento del sector industrial, se deduce la ecuación de la mencionada curva, para luego ajustar el periodo inicial de análisis al dato real del último año que se tenga información de energía.

A partir de este valor, se procede a introducirlo en la ecuación de la curva, y así se comienzan a obtener los valores para los próximos 10 años de expansión del sector industrial en la empresa distribuidora seleccionada para el estudio.

En penúltimo lugar, se procede a tomar el sector alumbrado público, luego se toma la base histórica de los últimos 10 años, para luego obtener la curva que mejor modele el comportamiento histórico de la energía del sector en análisis.

Se considera con un crecimiento mediante tendencia, por ser el más sencillo, y además por análisis subjetivo de los involucrados en la planificación del crecimiento de la demanda, quienes manifiestan

que el sector crece cada cinco años a un promedio de 3,5% de crecimiento anual.

Al momento de obtener la curva que modele mejor el comportamiento del sector alumbrado público, se deduce la ecuación de la mencionada curva, para luego ajustar el periodo inicial de análisis al dato real del último año que se tenga información de energía.

A partir de este valor, se procede a introducirlo en la ecuación de la curva, y así se comienzan a obtener los valores para los próximos 10 años de expansión del sector alumbrado público en la empresa distribuidora seleccionada para el estudio.

Finalmente, se procede a tomar el sector otros, luego se toma la base histórica de los últimos 10 años, para luego obtener la curva que mejor modele el comportamiento histórico de la energía del sector en análisis.

Se considera con un crecimiento mediante tendencia, por ser el más sencillo, y además por análisis subjetivo de los involucrados en la planificación del crecimiento de la demanda, quienes manifiestan que el sector crece cada cinco años a un promedio de 3,5% de crecimiento anual.

Al momento de obtener la curva que modele mejor el comportamiento del sector comercial, se deduce la ecuación de la mencionada curva, para luego ajustar el periodo inicial de análisis al dato real del último año que se tenga información de energía.

A partir de este valor, se procede a introducirlo en la ecuación de la curva, y así se comienzan a obtener los valores para los próximos 10 años de expansión del sector otros en la empresa distribuidora seleccionada para el estudio.

Una vez que se tienen los valores de energía para los cinco sectores de consumo, en los que se divide el sistema de distribución de energía eléctrica en análisis, se procede a realizar la suma individualmente de cada uno de los sectores para obtener el valor total de la energía en el año indicado por los próximos 10 años.

Es de suma importancia destacar que en este método, los valores a obtener serán menores que los valores por sector global, puesto que toma en consideración el comportamiento individual de cada sector, verificando que no todos los sectores crecen a la misma tasa.

En la tabla siguiente se muestran los datos utilizados en este tipo de proyección:

METODO SECTORIAL			
AÑO	DEMANDA ENERGIA MWH	POTENCIA MW	FACTOR DE CARGA
1975	572.307,30	124,00	0,526870
1976	684.832,91	146,52	0,533560
1977	809.169,83	174,70	0,528741
1978	977.980,32	198,08	0,563619
1979	1.166.847,65	218,59	0,609357
1980	1.319.262,86	242,23	0,621737
1981	1.455.710,79	271,74	0,611541
1982	1.652.585,41	296,41	0,636454
1983	1.753.838,93	293,94	0,681125
1984	1.635.886,85	292,24	0,639013
1985	1.690.911,59	314,97	0,612841
1986	1.788.917,65	333,65	0,612062
1987	1.933.654,29	358,28	0,616101
1988	1.993.920,21	351,98	0,646674
1989	1.991.561,78	359,15	0,633015
1990	2.179.238,96	385,62	0,645121
1991	2.381.294,41	412,96	0,658265
1992	2.414.244,65	424,32	0,649507
1993	2.472.558,75	427,80	0,659784
1994	2.584.672,83	468,03	0,630417
1995	2.720.311,60	495,77	0,626375
1996	2.888.993,31	525,35	0,627760
1997	3.273.911,97	570,82	0,655332
1998	3.302.772,05	570,69	0,660654
1999	3.001.755,94	538,44	0,636406
2000	2.981.747,97	530,27	0,641904
2001	3.026.628,60	537,46	0,642849
2002	3.216.424,68	569,62	0,644591
2003	3.334.023,55	589,04	0,646128
2004	3.449.162,92	607,98	0,647618
2005	3.565.437,31	627,08	0,649061
2006	3.682.869,72	646,34	0,650462
2007	3.801.476,41	652,57	0,665000
2008	3.921.275,00	672,12	0,666000
2009	4.042.283,09	691,83	0,667000
2010	4.164.519,64	711,68	0,668000
2011	4.287.998,20	731,69	0,669000
2012	4.406.740,07	750,82	0,670000

Tabla 2.3 Datos Proyección Sectorial

En el caso del factor de carga, lo que se realiza es encontrar una curva que modele el comportamiento del factor en mención con base a lo históricos desde 1975.

En forma similar que la energía en el método global, una vez obtenida la ecuación, se ajusta el valor inicial de la misma al último valor real que se tiene para luego proceder con la obtención de los valores de factor de carga para los próximos 10 años.

Este procedimiento se lo realiza de esta forma, puesto que un sistema eléctrico de distribución de energía eléctrica, óptimamente oscilará entre 0,69 y 0,75 como valores de factor de carga.

Finalmente, se debe recordar que existe una ecuación que interrelaciona a la energía eléctrica con la demanda máxima del sistema en análisis, misma que se presenta a continuación:

$$FC = \frac{E/t}{D_{\max}} \quad (2.2)$$

Mediante un despeje simple de la ecuación mostrada anteriormente, y con los datos proyectados a 10 años tanto de energía eléctrica como del factor de carga; se procede a calcular el valor de la demanda máxima para el período en análisis.

Es de suma importancia, para realizar estos cálculos, proceder a verificar correctamente las unidades con las que se trabaja para cada parámetro en la ecuación, así:

E: energía anual en Mwh

t: tiempo en horas anuales

Dmáx: potencia máxima anual en Mw

2.2.3 Proyección Econométrica

Es un método condicional, estadístico; mediante el cual las tendencias en la demanda se basan en relaciones directas a factores económicos como la inflación y el Producto Interno Bruto (PIB).

Es de conocimiento público que el poder socioeconómico es una variable la cual está relacionada con el consumo de energía eléctrica de los usuarios finales.

El poder adquisitivo de los usuarios incide directamente en la curva de demanda del sistema, puesto que mejorando el ingreso per cápita, los usuarios podrán adquirir más equipos eléctricos lo cual incurren en un aumento en el consumo diario de la energía eléctrica.

Si se toma en consideración el nivel PIB per cápita del 2010, se evidencia un incremento del 2,12%, como muestra de recuperación de la crisis mundial económica del 2009. En ese instante en el Ecuador, se registró un PIB de 3,58%.

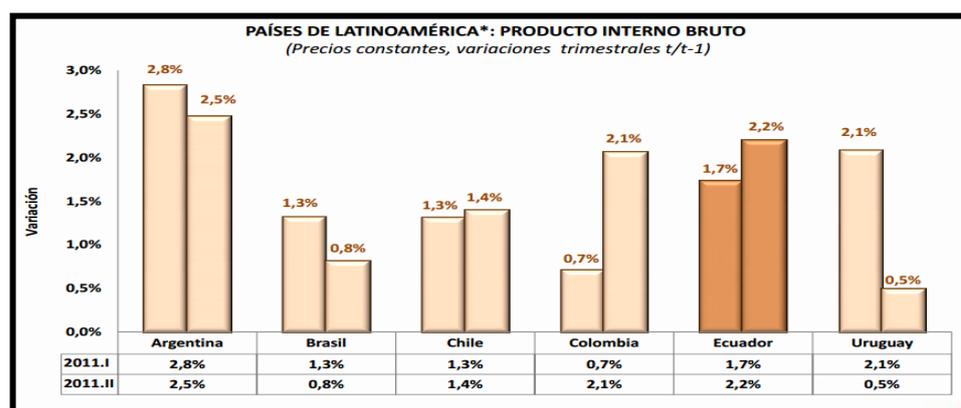


Fig. 2.3 Producto Interno Bruto en Países Latinoamericanos INEM 2011

La gráfica de barras de la Fig. 2.3, muestra para el segundo trimestre del año 2011 tasas de variación positiva, en la mayoría de economías de la región, teniendo despuntes países como Argentina, Ecuador y Colombia.

Todos estos factores, se los introduce en una ecuación que simplemente, va cambiando el valor del PIB anual, y para los años a ser pronosticados, se utiliza un crecimiento en promedio de los últimos cinco años del cuatro por ciento anual.

A diferencia de los otros dos métodos, en los cuales se tenía que realizar ajustes del tipo valor inicial en la curva que mejor modele el

comportamiento del sistema en análisis, este método directamente ejecuta los valores obtenidos como ciertos para el pronóstico a largo plazo de 10 años.

Dentro de los tres métodos que realiza la empresa de distribución eléctrica señalada, esta metodología econométrica es la que representa en mejor forma el escenario medio de crecimiento; mismo que es solicitado como válido por el ente regulador para los planes de expansión del sistema energético a nivel nacional.

Es de suma importancia destacar, que de las tres metodologías, el escenario menor del pronóstico de la demanda era tomado de la proyección sectorial, el escenario mayor era tomado de referencia de la proyección global y finalmente, como ya se lo había descrito, el escenario medio es tomado de la proyección econométrica.

En la tabla siguiente se muestran los datos utilizados para este tipo de proyección:

METODO ECONOMETRICO			
AÑO	DEMANDA ENERGIA MWH METODO ECONOMETRICO	POTENCIA MW	FACTOR DE CARGA
1975	572.307,30	124,00	0,526870
1976	684.832,91	146,52	0,533560
1977	809.169,83	174,70	0,528741
1978	977.980,32	198,08	0,563619
1979	1.166.847,65	218,59	0,609357
1980	1.319.262,86	242,23	0,621737
1981	1.455.710,79	271,74	0,611541
1982	1.652.585,41	296,41	0,636454
1983	1.753.838,93	293,94	0,681125
1984	1.635.886,85	292,24	0,639013
1985	1.690.911,59	314,97	0,612841
1986	1.788.917,65	333,65	0,612062
1987	1.933.654,29	358,28	0,616101
1988	1.993.920,21	351,98	0,646674
1989	1.991.561,78	359,15	0,633015
1990	2.179.238,96	385,62	0,645121
1991	2.381.294,41	412,96	0,658265
1992	2.414.244,65	424,32	0,649507
1993	2.472.558,75	427,80	0,659784
1994	2.584.672,83	468,03	0,630417
1995	2.720.311,60	495,77	0,626375
1996	2.888.993,31	525,35	0,627760
1997	3.273.911,97	570,82	0,655332
1998	3.302.772,05	570,69	0,660654
1999	3.001.755,94	538,44	0,636406
2000	2.981.747,97	530,27	0,641904
2001	3.026.628,60	537,46	0,642849
2002	3.216.424,68	569,62	0,644591
2003	3.334.023,55	589,04	0,646128
2004	3.449.162,92	607,98	0,647618
2005	3.565.437,31	627,08	0,649061
2006	3.682.869,72	646,34	0,650462
2007	5.004.954,18	859,16	0,665000
2008	5.213.740,85	893,66	0,666000
2009	5.428.922,36	929,15	0,667000
2010	5.650.574,40	965,63	0,668000
2011	5.878.767,20	1.003,13	0,669000
2012	6.113.565,16	1.041,64	0,670000

Tabla 2.4 Datos Proyección Econométrica

CAPÍTULO 3

METODOLOGÍA DE LA PROPUESTA PARA LA PROYECCIÓN DE LA DEMANDA UTILIZANDO LA IDENTIFICACIÓN PARA EL PRONÓSTICO DE LA POTENCIA Y ENERGÍA

3.1 TIPOS DE MODELOS DE IDENTIFICACIÓN

Todo sistema lineal invariante en el tiempo puede ser modelado mediante una función de transferencia. En la presente sección, se

procederá a conocer algunos métodos que permitan determinar las respectivas funciones de transferencia mediante técnica directas.

Es de importancia resaltar que el modelo del sistema en análisis, de la empresa eléctrica distribuidora seleccionada, no necesita ser la exacta descripción del sistema, por tal motivo quien utilice el modelo debe conocer esta particularidad de forma tal que lleve a cabo su propósito.

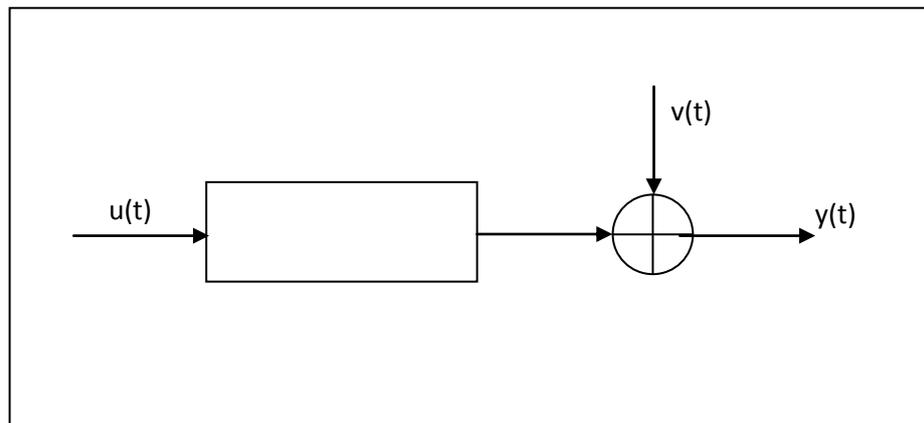


Fig. 3.1 Sistema entrada – salida y perturbación - salida

Como se muestra en la Fig. 3.1, se puede observar que la salida del sistema, $y(t)$, está en función de la entrada $u(t)$ y de la perturbación $v(t)$; a través de sus respectivas funciones de transferencia.

Dentro de la simplicidad de la aplicación y del estudio en mención, la forma más rápida de parametrizar las funciones de transferencias de la entrada $u(t)$ y de la perturbación $v(t)$, las cuales se las representarán

como G y H respectivamente, sería representarles como funciones racionales y dejar que los parámetros sean los coeficientes del numerador y del denominador.

En el transcurso de esta sección del capítulo, se presentarán varias de las principales estructuras de los modelos conocidos como los modelos de caja negra.

3.1.1 Modelo ARX

Sin temor a equivocación, la relación existente entre la entrada y la salida del sistema en análisis con menor complejidad, sea la que se obtenga a partir de establecer al sistema como una ecuación lineal en diferencias, la misma que se detalla a continuación:

$$y(t) + a_1 y(t - 1) + a_2 y(t - 2) + \dots + a_{n_a} y(t - n_a) = b_1 u(t - 1) + b_2 u(t - 2) + \dots + b_{n_b} u(t - n_b) + e(t) \quad (3.1)$$

Como se puede verificar en la ecuación anterior, el ruido blanco, denominado $e(t)$, se lo identifica como un error directo en la ecuación en diferencias.

Por tal motivo los parámetros a ser encontrados mediante la modelación, para luego realizar la respectiva simulación son agrupados en el siguiente vector:

$$\theta = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_{n_a} \ b_1 \ b_2 \ \dots \ b_{n_b}]^T \quad (3.2)$$

Para poder representar las funciones de transferencia que relacionan entrada – salida y perturbación – salida, se describen dos polinomios denominados $A(q)$ y $B(q)$, los cuales tienen la forma:

$$A(q) = 1 + a_1 q^{-1} + a_2 q^{-2} + \dots + a_{n_a} q^{-n_a} \quad (3.3)$$

$$B(q) = 1 + b_1 q^{-1} + b_2 q^{-2} + \dots + b_{n_b} q^{-n_b} \quad (3.4)$$

Acorde a esta parametrización, se puede proceder a realizar la siguiente simplificación que representa a las funciones de transferencia entrada – salida y perturbación – salida, denominadas G y H respectivamente, como se muestran a continuación:

$$G(q, \theta) = \frac{B(q)}{A(q)} \quad (3.5)$$

$$H(q, \theta) = \frac{1}{A(q)} \quad (3.6)$$

Finalmente, el sistema modelado se lo puede representar de la siguiente manera:

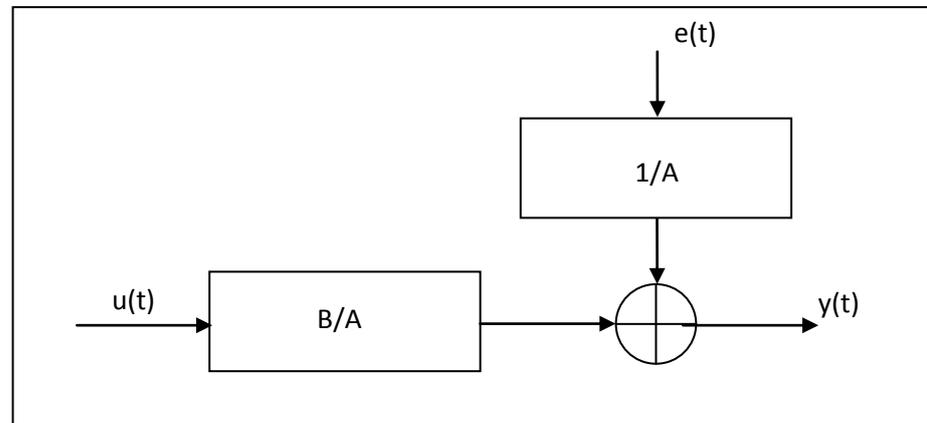


Fig. 3.2 Sistema Modelado Estructura ARX

Este modelo lleva sus siglas haciendo referencia a la parte autorregresiva “AR”, $A(q)y(t)$, y la parte “X” es la entrada adicional o extra $B(q)u(t)$, conocida como variable exógena.

3.1.2 Modelo OE

En contraste con otros métodos de identificación paramétrica, la estructura de error de salida OE, por sus siglas en inglés “Output Error”, utiliza más la semejanza con sistemas físicos reales parametrizando las funciones de transferencia individualmente de todo el sistema en análisis.

Se puede suponer, momentáneamente, que la relación existente entre la entrada y la salida no perturbada $w(t)$ se la puede llegar a representar como otra ecuación lineal en diferencias, y además se

mantiene que la entrada no controlada, ruido es blanco, tal como se lo detalla a continuación:

$$w(t) + f_1 w(t-1) + \dots + f_{n_f} w(t-n_f) = b_1 u(t-1) + \dots + b_{n_b} u(t-n_b) \quad (3.7)$$

$$y(t) = w(t) + e(t) \quad (3.8)$$

Siendo

$$F(q) = 1 + f_1 q^{-1} + f_2 q^{-2} + \dots + f_{n_f} q^{-n_f} \quad (3.9)$$

Finalmente, el sistema modelado se lo puede representar de la siguiente manera:

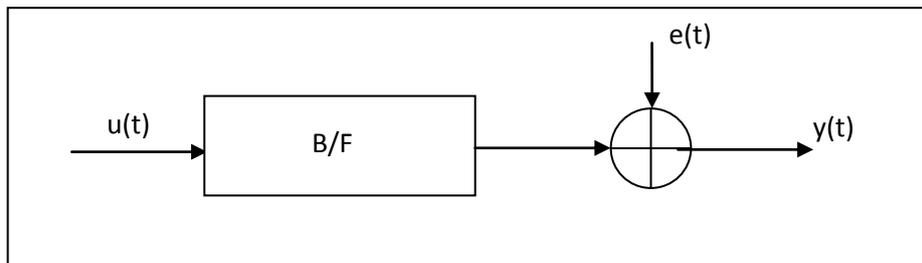


Fig. 3.3 Sistema Modelado Estructura OE

Obteniendo la ecuación de la salida del sistema como:

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)} u(t) + e(t) \quad (3.10)$$

3.1.3 Modelo ARMAX

Al realizar un análisis del modelo sencillo ARX, se ha determinado que tiene un punto débil, el cual se fundamenta en la falta de libertad al momento de describir el término de la perturbación.

Esta debilidad se la puede minimizar, al momento de incluir un término conocido como media en movimiento del ruido blanco, ruido que es llamado también perturbación del sistema.

La ecuación del sistema incluido el término de media en movimiento, se la detalla a continuación:

$$y(t) + a_1 y(t - 1) + a_2 y(t - 2) + \dots + a_{n_a} y(t - n_a) = b_1 u(t - 1) + b_2 u(t - 2) + \dots + b_{n_b} u(t - n_b) + e(t) + c_1 e(t - 1) + \dots + c_{n_c} e(t - n_c) \quad (3.11)$$

En el cual el término $C(q)$, se lo resume como:

$$C(q) = 1 + c_1 q^{-1} + c_2 q^{-2} + \dots + c_{n_c} q^{-n_c} \quad (3.12)$$

A continuación se escribe la ecuación que representa el sistema en análisis, como:

$$A(q)y(t) = B(q)u(t) + C(q)e(t) \quad (3.13)$$

Acorde a esta parametrización, se puede proceder a realizar la siguiente simplificación que representa a las funciones de transferencia entrada – salida y perturbación – salida, denominadas G y H respectivamente, como se muestran a continuación:

$$G(q, \theta) = \frac{B(q)}{A(q)} \quad (3.14)$$

$$H(q, \theta) = \frac{C(q)}{A(q)} \quad (3.15)$$

Consecuentemente, el nuevo vector de parámetros, que serán encontrados al momento de la modelización del sistema serán:

$$\theta = [a_1 \ a_2 \ \dots \ a_{n_a} \ b_1 \ b_2 \ \dots \ b_{n_b} \ c_1 \ c_2 \ \dots \ c_{n_c}]^T \quad (3.16)$$

Mediante la incorporación del término C(q) a la perturbación e(t), C(q) e(t), el modelo lleva el nombre de ARMAX. Este modelo es una fuerte herramienta estándar en control y econometría.

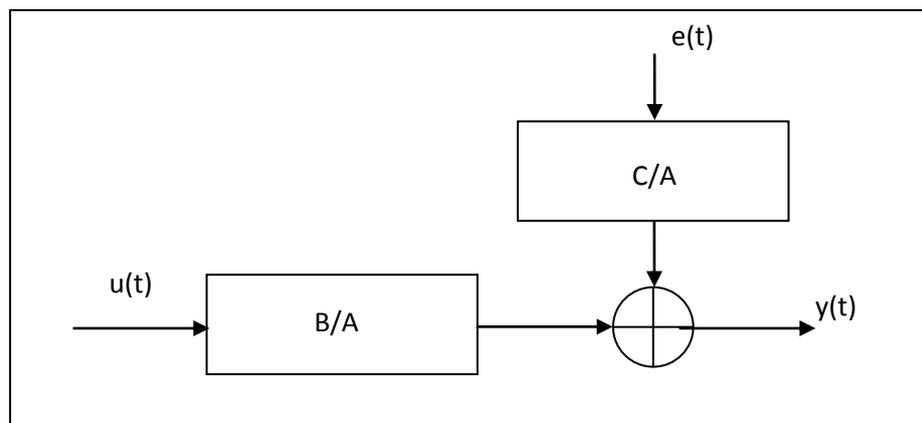


Fig. 3.4 Sistema Modelado Estructura ARMAX

3.1.4 Modelo BJ

Finalmente, el último modelo más utilizado en la modelación mediante identificación es el denominado BJ por siglas, Box-Jenkins.

En este modelo todas las variables son independientes respecto de la salida del sistema, y entre ellas. Por tal motivo, la ecuación que representa el modelo del sistema en análisis, se detalla a continuación:

$$y(t) = \frac{B(q)}{F(q)} u(t) + \frac{C(q)}{D(q)} e(t) \quad (3.17)$$

La estructura del modelo Box-Jenkins, se puede observar en la Fig.3.5, en el cual se visualizan las funciones de transferencia entrada – salida y perturbación – salida.

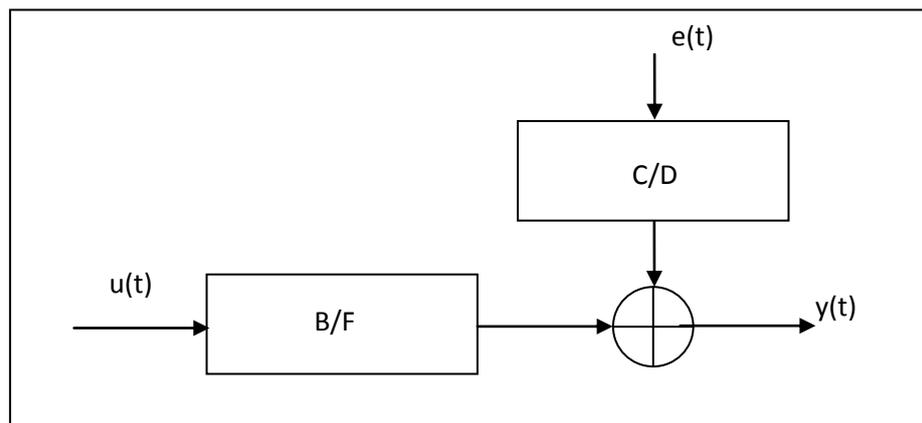


Fig. 3.5 Sistema Modelado Estructura BJ

3.2 TIPOS DE VARIABLES EXTERNAS INVOLUCRADAS EN LA PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

La proyección de la demanda, en el presente estudio, ha sido considerada como un sistema en el cual participan variables; tanto endógenas (la demanda de periodos anteriores) como exógenas (Nivel de Lluvia, Temperatura Ambiental, Nivel de Nubosidad).

En la presente sección, se procederá a detallar la naturaleza de las variables exógenas al sistema de la empresa distribuidora de energía eléctrica seleccionada para el presente estudio.

Mediante la experiencia del autor, se ha realizado una clasificación de las tres variables exógenas que de una u otra forma atañen el comportamiento previsto de la proyección de la demanda de energía eléctrica del sistema de distribución seleccionado.

Como es de esperarse, las tres variables anteriormente citadas, son de índole no pronosticable al cien por ciento de certeza, por tal motivo su incidencia es de índole aleatoria, con una distribución normal; la cual puede ser representada como ruido blanco que ingresa a perturbar el comportamiento normal del sistema. El sistema no pierde su estructura de linealidad independiente, puesto que estas variables están actuando bajo el efecto de superposición al sistema, por lo cual la metodología no varía.

3.2.1 Variable del nivel de lluvia

El nivel de lluvia, es una variable exógena que a priori se podría pensar que atañe sustancialmente a la demanda de energía eléctrica y por consiguiente debería ser un factor a tomar en consideración en el modelo que represente a la proyección de la demanda de energía eléctrica de la empresa distribuidora de energía eléctrica seleccionada.

La forma para evidenciar si existe un cambio en la demanda de energía eléctrica de la empresa distribuidora seleccionada, es mediante el análisis de las curvas de demanda del sector que se vería directamente afectado por esta variable, el cual es el sector residencial.

Para poder verificar esta situación, se ha tomado como referencia la energía total facturada en el último semestre del año pasado, evidenciando el aumento de la energía en el mes de diciembre; este comportamiento es más alineado con el aumento de la temperatura del medio ambiente pero no por la presencia de lluvia en el área de concesión.

En la figura, que se muestra a continuación, se observa el valor de la energía facturada en contraste con el consumo promedio por abonado que tuvo el sector residencial en el período detallado.

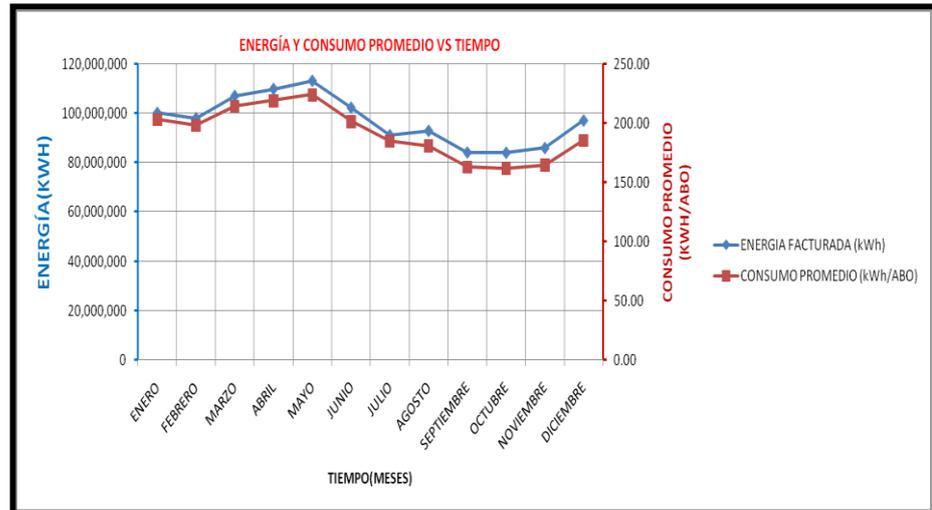


Fig. 3.6 Energía y Consumo Promedio respecto al Tiempo
EMPRESA ELÉCTRICA

En la figura, por otra parte, se puede evidenciar que en el transcurso del año, la mayor facturación de energía eléctrica es en el segundo trimestre del mismo. Este efecto se debe por el incremento de temperatura de estos meses con respecto a los otros restantes.

3.2.2 Variable del nivel de temperatura ambiental

Como ya se había citado, el nivel de suministro de la demanda de energía eléctrica se puede alterar mediante situaciones meteorológicas no previstas; entre las cuales la de mayor relevancia tiene la temperatura ambiental.

Cabe destacarse, que en la región o concesión de la empresa distribuidora seleccionada para el estudio, existe el fenómeno de la

estacionalidad en el transcurso del año para el cual se pretende pronosticar la demanda.

Lo único que no indica el factor estacionalidad es que en ciertas partes del año, debido al aumento o disminución de la temperatura en la empresa distribuidora seleccionada, paralelamente se presenta una relación directa con la demanda; es decir, si aumenta temperatura, entonces aumenta demanda y viceversa.

Como el estudio de la empresa distribuidora seleccionada se encuentra en el Ecuador, las variables de temperatura y estacionalidad son originarias de condiciones meteorológicas del área, la influencia de las corrientes fría de Humboldt y cálida de “El Niño” hacen que el clima sea tropical y templado en el año.

Paralelamente, como la empresa distribuidora seleccionada se encuentra en la región costa, el clima en la concesión se encuentra bien diferenciado en dos etapas de año, los cuales son: época de lluvia que empieza a fines de diciembre y culmina a inicios de mayo; y por consiguiente la otra época la cual empieza a inicios de mayo hasta fines de diciembre.

Las características fundamentales de estas dos épocas son las siguientes:

- Época de Lluvia
 - Abundantes precipitaciones
 - Elevada temperatura ambiental
 - Disminución en la velocidad del viento
- Época de no Lluvia
 - Escasez de precipitaciones
 - Disminución temperatura ambiental
 - Aumento en la velocidad del viento

En relación a estas características, se puede concluir que el pico en la temperatura se da en los meses de enero a abril, y por otro lado los meses de bajas temperaturas ambientales se da en los meses de junio hasta noviembre.

En la actualidad, el comportamiento de la demanda de energía ha sufrido un desplazamiento en relación a su curva característica, lo cual tiene una correlación con el tiempo de claridad en el día.

Acorde a estudios realizados en el área de concesión de la empresa distribuidora seleccionada, se ha llegado a una curva que verifica el comportamiento directo entre la curva de demanda anual con la curva de temperatura anual que atañen al área de concesión como se muestra en la siguiente figura:

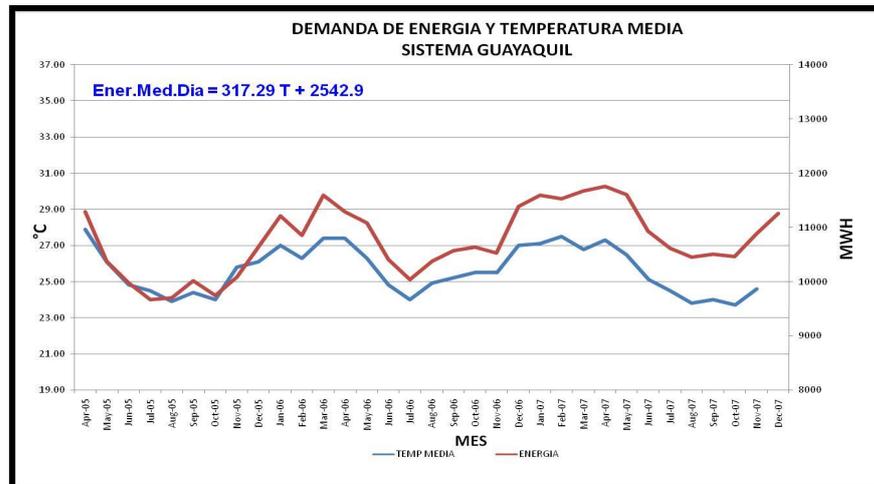


Fig. 3.7 Curvas de Energía y Temperatura CATEG 2007.

Si se analiza la curva de la Fig. 3.7, se puede llegar a la conclusión que la energía media depende de una u otra forma de la temperatura del medio ambiente, lo cual se lo ha descrito con la ecuación en el gráfico.

3.2.3 Variable del nivel de nubosidad

La última variable exógena, que podría tener incidencia sobre el comportamiento de la demanda de energía, es el nivel de nubosidad; es decir el comportamiento de las nubes lo cual permite el acceso o no de los rayos del sol.

Esta variable se encuentra conectada con las dos variables anteriormente citadas. El nivel de lluvia, se encuentra relacionado con el comportamiento de las nubes bajas.

Las nubes bajas son las que en un 98% de las ocasiones permiten la precipitación sobre el área que cubren. Estas nubes son por lo general muy oscuras; y en el estudio presente se las encontrará en el momento de los meses con precipitaciones continuas.

El nivel de temperatura ambiental, se encuentra relacionado con el comportamiento de las nubes de altura media, las cuales son uniformes y difusas.

En este tipo de nubes casi no se visualizan retazos individuales de las nubes. El cielo parece azul con pintas de gris, la luz del sol es difusa como si estuviera accionando a través de agua o vidrio.

Tomando en consideración el comportamiento de esta variable, se puede observar el desprendimiento de las otras dos variables exógenas detalladas en los numerales anteriores.

El impacto de cada una de ellas es independiente; es decir, en los meses de lluvia, aumenta temperatura, existen nubes bajas en el área de concesión. Por otra parte, en los meses de no lluvia, las nubes son de altura media y la temperatura baja permitiendo el flujo de viento.

3.3 TIPOS DE METODOLOGÍA PARA LA PROPUESTA NO TRADICIONAL

En este estudio, se pretende proponer una metodología la cual podrá ser utilizada anualmente por lo profesionales involucrados en el estudio de la proyección de la demanda a 10 años, requerido por las empresas distribuidoras del País y regulados por el ente correspondiente.

Dentro de los requerimientos por el ente regulador, se necesita obtener la energía y potencia a lo largo de los 10 años próximos al año en el que se está realizando el estudio en mención.

Posteriormente, se necesita realizar la respectiva disgregación mensual de la energía y de la potencia eléctrica para el año subsecuente al año en el que se realiza el estudio de proyección de la demanda.

En la presente sección, se establecerá los modelos a ser utilizados y la secuencia en la que se realizarán las diferentes proyecciones tanto de energía como demanda para luego proceder a evaluar en el siguiente capítulo, el comportamiento pronosticado con el valor real obtenido, mediante la inclusión de los modelos de identificación detallados con anterioridad.

3.3.1 Identificación del Sistema de Proyección Anual

Como se describió lo solicitado por el ente regulador, el dato de proyección anual para los próximos 10 años es requerido dentro del plan decenal.

Para realizar el ejercicio de identificación se toma en consideración tres variables altamente predominantes en el sistema de proyección anual.

Estas variables se las puede denominar, como se describe a continuación:

- Variable de entrada, es el período de análisis el cual cambiará de 1 hasta 10, por el orden de años en análisis.
- Variable de salida, que dependiendo del caso será el valor anual de energía o de potencia.
- Variable de perturbación, la cual tiene un comportamiento aleatorio dentro del periodo estacional en cuestión.

El modelo final del sistema podrá ser utilizado en cualquier época del año que se solicite el estudio de la proyección de la demanda. Como se pudo observar, la variable perturbadora al sistema es la presencia de las variables exógenas descritas anteriormente, mismas que más adelante se modelaran como ruido blanco.

3.3.1.1 Proyección no tradicional anual de energía

En esta sección, se pretende establecer la metodología a ser utilizada para encontrar la proyección anual de energía de una forma no tradicional.

Para realizar el pronóstico, se debe recolectar los datos de los últimos 10 años, para poder incluirlos en los diferentes modelos de identificación de sistema.

Mediante el programa MATLAB, a través de su herramienta IDENT, se procede a escoger las diferentes estrategias para modelar el sistema en estudio.

Se declara que se empieza escogiendo los análisis más sencillos, y luego mediante pruebas de comparación se procede a evaluar el rendimiento de la proyección con los valores reales históricos.

El sistema se lo diseñará a través de los cuatro modelos de identificación anteriormente descritos; en el cual la entrada es el período en análisis, la salida será el valor de energía en cada período correspondiente y adicionalmente, se incluirá la perturbación mediante una función de ruido blanco.

3.3.1.2 Proyección no tradicional anual de potencia

En esta sección, se pretende establecer la metodología a ser utilizada para encontrar la proyección anual de potencia de una forma no tradicional.

Para realizar el pronóstico, se debe recolectar los datos de los últimos 10 años, para poder incluirlos en los diferentes modelos de identificación de sistema.

Mediante el programa MATLAB, a través de su herramienta IDENT, se procede a escoger las diferentes estrategias para modelar el sistema en estudio.

Se declara que se empieza escogiendo los análisis más sencillos, y luego mediante pruebas de comparación se procede a evaluar el rendimiento de la proyección con los valores reales históricos.

El sistema se lo diseñará a través de los cuatro modelos de identificación anteriormente descritos; en el cual la entrada es el período en análisis, la salida será el valor de energía en cada período correspondiente y adicionalmente, se incluirá la perturbación mediante una función de ruido blanco.

3.3.2 Identificación del Sistema de Proyección mensual

A más de lo descrito que es lo solicitado por el ente regulador, el dato de proyección anual para los próximos 10 años es requerido dentro del plan decenal, se solicita la disgregación mensual de la energía y potencia para el siguiente año del año de estudio.

Para realizar el ejercicio de identificación se toma en consideración tres variables altamente predominantes en el sistema de proyección mensual.

Estas variables se las puede denominar, como se describe a continuación:

- Variable de entrada, es el período de análisis el cual cambiará de 1 hasta 5, por el orden de años en análisis.
- Variable de salida, que dependiendo del caso será el valor mensual de energía o de potencia.
- Variable de perturbación, la cual tiene un comportamiento aleatorio dentro del periodo estacional en cuestión.

Al final del estudio, se propondrán doce modelos individuales para cada mes del año. De esta forma, cada modelo será más cercano a la realidad, por tal motivo solo se toma en consideración los últimos 5 años.

3.3.2.1 Proyección no tradicional mensual de energía

En esta sección, se pretende establecer la metodología a ser utilizada para encontrar la proyección mensual de energía de una forma no tradicional.

Para realizar el pronóstico, se debe recolectar los datos de los últimos 5 años, para poder incluirlos en los diferentes modelos de identificación de sistema.

Mediante el programa MATLAB, a través de su herramienta IDENT, se procede a escoger las diferentes estrategias para modelar el sistema en estudio.

Se declara que se empieza escogiendo los análisis más sencillos, y luego mediante pruebas de comparación se procede a evaluar el rendimiento de la proyección con los valores reales históricos.

El sistema se lo diseñará a través de los cuatro modelos de identificación anteriormente descritos; en el cual la entrada es el período en análisis, la salida será el valor de energía en cada período correspondiente y adicionalmente, se incluirá la perturbación mediante una función de ruido blanco.

3.3.2.2 Proyección no tradicional mensual de potencia

En esta sección, se pretende establecer la metodología a ser utilizada para encontrar la proyección mensual de potencia de una forma no tradicional.

Para realizar el pronóstico, se debe recolectar los datos de los últimos 5 años, para poder incluirlos en los diferentes modelos de identificación de sistema.

Mediante el programa MATLAB, a través de su herramienta IDENT, se procede a escoger las diferentes estrategias para modelar el sistema en estudio.

Se declara que se empieza escogiendo los análisis más sencillos, y luego mediante pruebas de comparación se procede a evaluar el rendimiento de la proyección con los valores reales históricos.

El sistema se lo diseñará a través de los cuatro modelos de identificación anteriormente descritos; en el cual la entrada es el período en análisis, la salida será el valor de energía en cada período correspondiente y adicionalmente, se incluirá la perturbación mediante una función de ruido blanco.

3.3.3 Identificación del Sistema de Variables Externas en la Proyección mensual

Como ya se había mencionado anteriormente, las perturbaciones involucradas en este tipo de sistemas a modelar, pronóstico de la demanda de potencia y energía, las variables externas son:

- Nivel de lluvia
- Nivel de temperatura ambiental
- Nivel de nubosidad

Debido a que estas variables tienen un nivel de afección como fue detallado anteriormente, solamente se evaluará la incidencia de la temperatura ambiental en el comportamiento del sistema de pronóstico de la demanda.

Debido a que la proyección se realizará de forma mensualmente, se puede pre establecer los meses en los que cambiará la temperatura, pero no se conocerá en cuánto variará dicha variable.

La variable de temperatura ambiental será consecuencia de valores aleatorios no correlacionados con varianza y media constante. Cada mes, escogido en el análisis, tendrá valores distintos de temperatura con un comportamiento impredecible.

Analizar puntualmente cada valor del nivel de temperatura ambiental no es de mucho interés puesto que no tiene una representación específica.

Por otra parte, el conjunto de valores de la variable del nivel de temperatura si tiene una incidencia a nivel del sistema de pronóstico de la demanda.

Por todas las características detalladas anteriormente, el comportamiento de la variable del nivel de temperatura se la puede, fácilmente, representar como un ruido blanco.

CAPÍTULO 4

DISEÑO DE LA PROPUESTA PARA LA PROYECCIÓN DE LA DEMANDA

4.1 INTRODUCCIÓN

En la presente sección se presenta el desarrollo del diseño de la propuesta para la proyección de la demanda mediante las aplicaciones de las técnicas de identificación de sistemas a los datos de la empresa distribuidora seleccionada para el análisis.

En forma normalizada, las empresas dedicadas a la comercialización y distribución de energía eléctrica, como la seleccionada para el análisis presente, centran todos sus objetivos a disminuir el error en la predicción de la demanda para no incurrir en posibles pérdidas de índole económica o de imagen empresarial.

En concordancia a lo expuesto, se requiere un diseño de la propuesta para la proyección de la demanda tomando en consideración datos claves al interno de la empresa.

En este sentido, se puede fácilmente identificar el sistema de proyección, y mediante pruebas de ensayo encontrar la propuesta que contenga los doce modelos mensuales que al final proporcionarán la energía y potencia requeridos para el plan de expansión solicitado por el ente regulador.

4.2 DISEÑO DE MODELO TRADICIONAL ANUAL

En el desarrollo subsiguiente se describirá de forma detallada cada uno de los modelos que tradicionalmente han venido desarrollando las empresas distribuidoras de energía eléctrica hasta la actualidad.

Además se presentará el desglose de las proyecciones de la demanda en los formatos solicitados por el ente regulador, en las cuales se enmarcan en escenario menor, escenario mayor y escenario medio.

Para cualquiera de las tres metodologías de proyección se utilizará la proyección del factor de carga para los próximos 10 años, mediante una tendencia logarítmica, tal como se muestra a continuación.

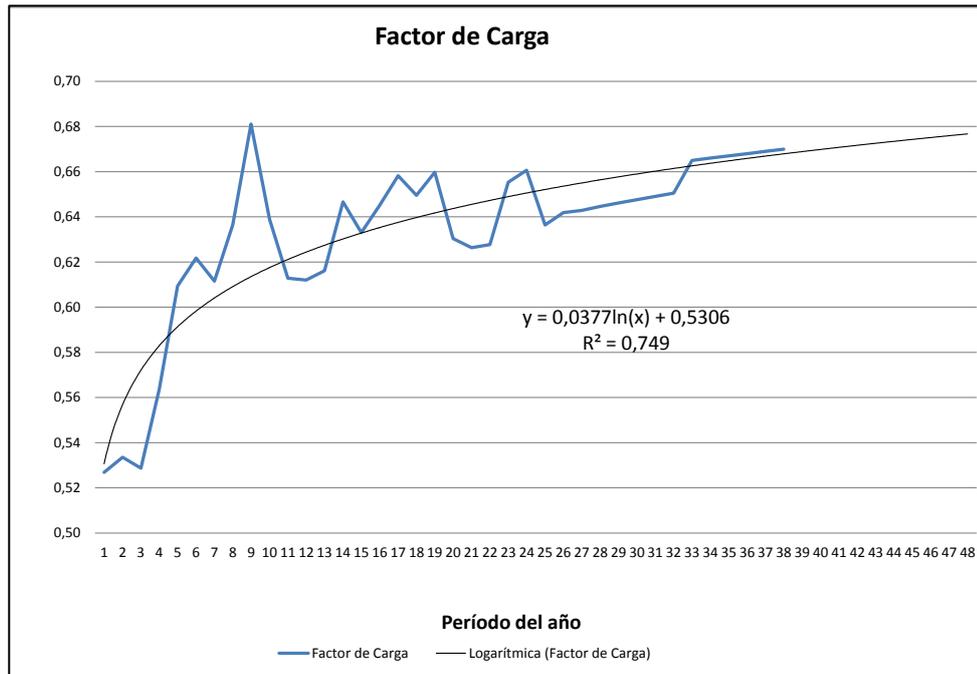


Fig. 4.1 Curva de Tendencia de Factor de Carga.

4.2.1 Proyección anual global

Como se había descrito anteriormente, para realizar esta proyección se necesitaban los datos desde 1975, para obtener la curva que representa al sistema de proyección anual global, a continuación se muestra el gráfico obtenido.

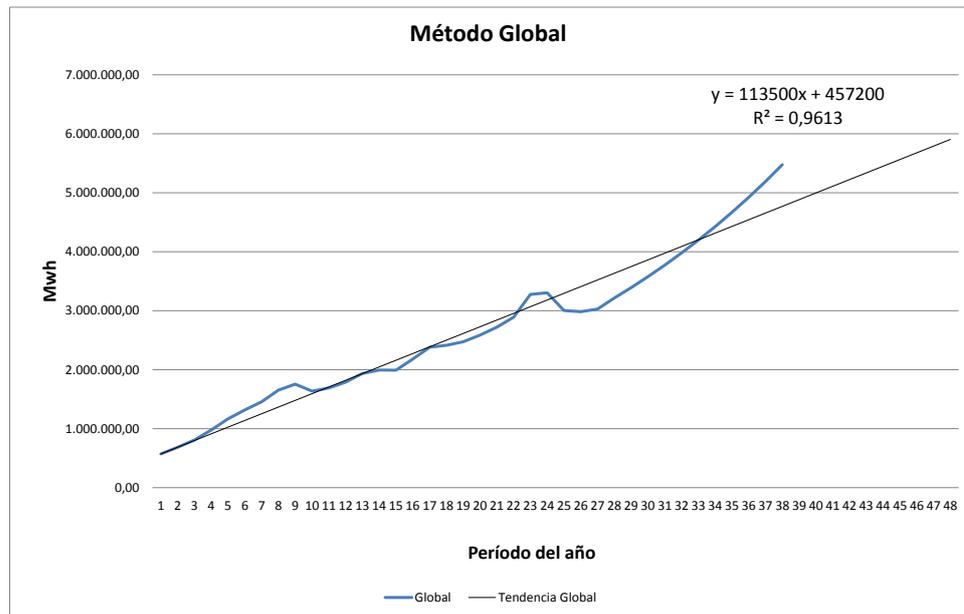


Fig. 4.2 Curva de Tendencia de Energía Proyección Global.

Como se puede observar en la Fig. 4.2 ya se obtuvo el modelo mediante tendencia lineal. Es aceptable esta tendencia puesto que el valor R^2 es mayor a 0,9; es decir cercano a 1.

Para obtener el valor de potencia se procederá a utilizar la ecuación de factor de carga. Cada punto de energía tendrá en el período respectivo un valor de potencia en concordancia con el valor del factor de carga respectivo.

4.2.2 Proyección anual sectorial

Como se había descrito anteriormente, para realizar esta proyección se necesitaban los datos desde 1975, para obtener la curva que representa al sistema de proyección anual sectorial. Cabe destacar que esta curva es la suma de las curvas de los diferentes sectores que componen el sistema de distribución eléctrica.

A continuación se detalla la curva del sector residencial, como datos históricos y como curva de proyección para los próximos 10 años.

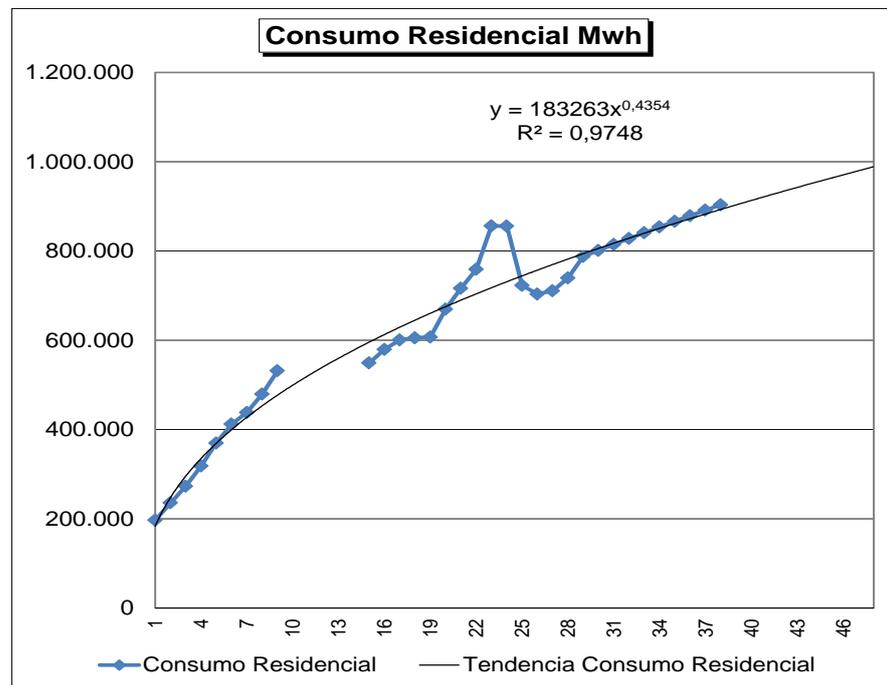


Fig. 4.3 Curva de Tendencia de Energía Sector Residencial

Como se puede observar en la Fig. 4.3 ya se obtuvo el modelo mediante tendencia potencial. Es aceptable esta tendencia puesto que el valor R^2 es mayor a 0,9; es decir cercano a 1.

El segundo sector a ser analizado para la curva de proyección es el comercial, como datos históricos y como curva de proyección para los próximos 10 años.

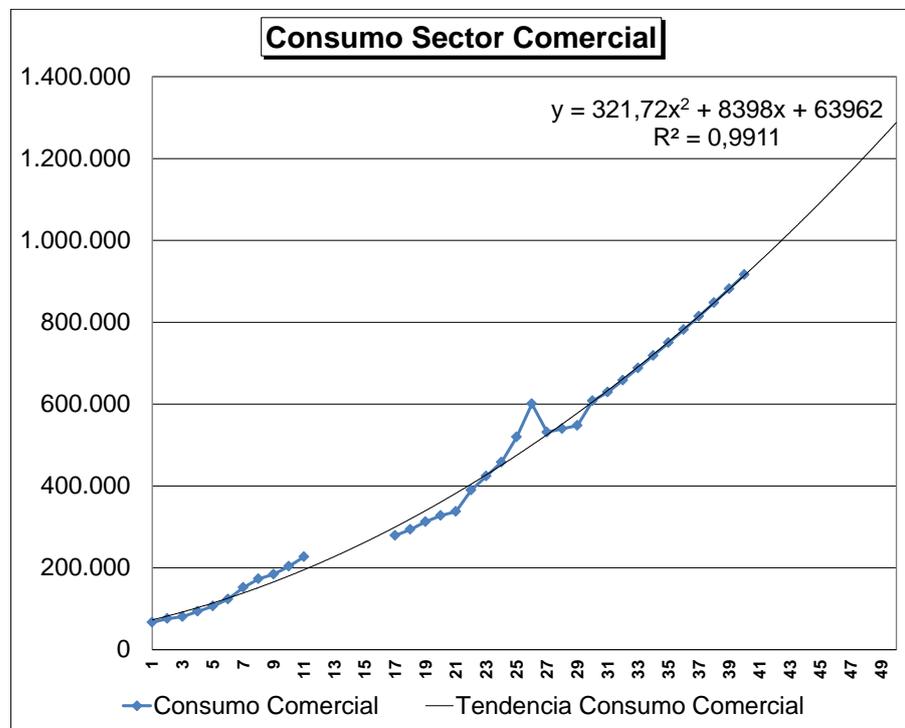


Fig. 4.4 Curva de Tendencia de Energía Sector Comercial

Como se puede observar en la Fig. 4.4 ya se obtuvo el modelo mediante tendencia polinómica. Es aceptable esta tendencia puesto que el valor R^2 es mayor a 0,9; es decir cercano a 1.

El tercer sector a ser analizado para la curva de proyección es el industrial, como datos históricos y como curva de proyección para los próximos 10 años.

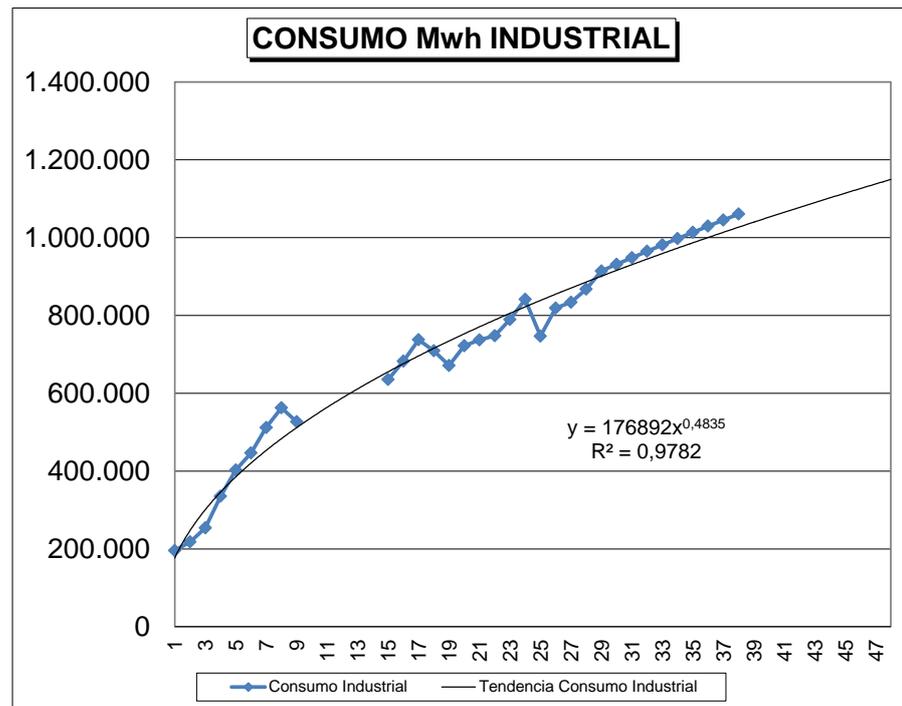


Fig. 4.5 Curva de Tendencia de Energía Sector Industrial

Como se puede observar en la Fig. 4.5 ya se obtuvo el modelo mediante tendencia potencial. Es aceptable esta tendencia puesto que el valor R^2 es mayor a 0,9; es decir cercano a 1.

El cuarto sector a ser analizado para la curva de proyección es el de alumbrado público, como datos históricos y como curva de proyección para los próximos 10 años.

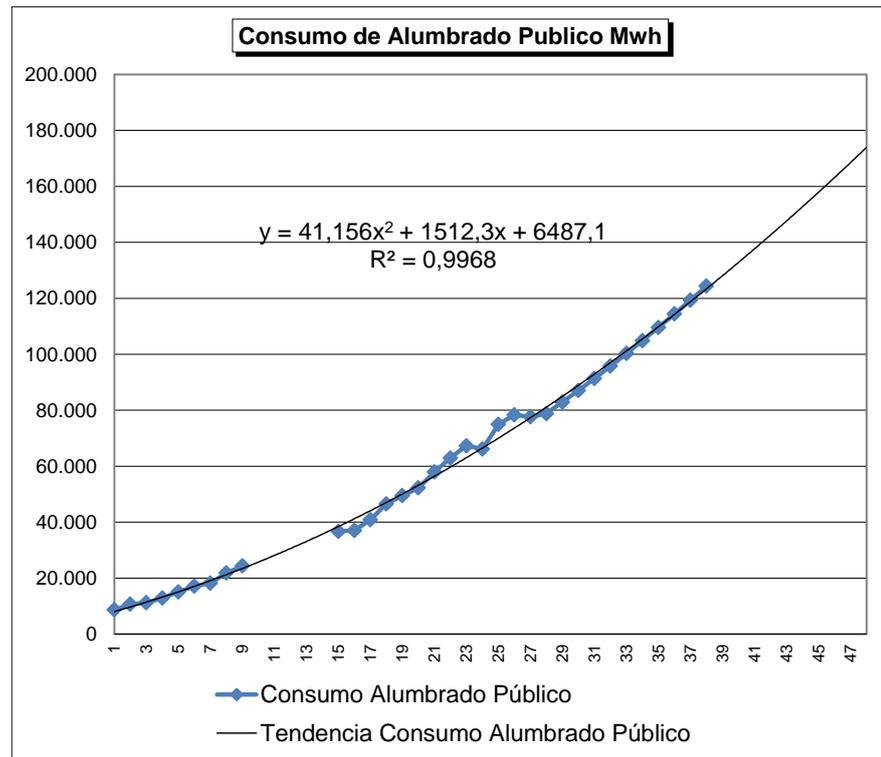


Fig. 4.6 Curva de Tendencia de Energía Sector Alumbrado Público

Como se puede observar en la Fig. 4.6 ya se obtuvo el modelo mediante tendencia polinómica. Es aceptable esta tendencia puesto que el valor R^2 es mayor a 0,9; es decir cercano a 1.

El último sector a ser analizado para la curva de proyección es el denominado otros, como datos históricos y como curva de proyección para los próximos 10 años.

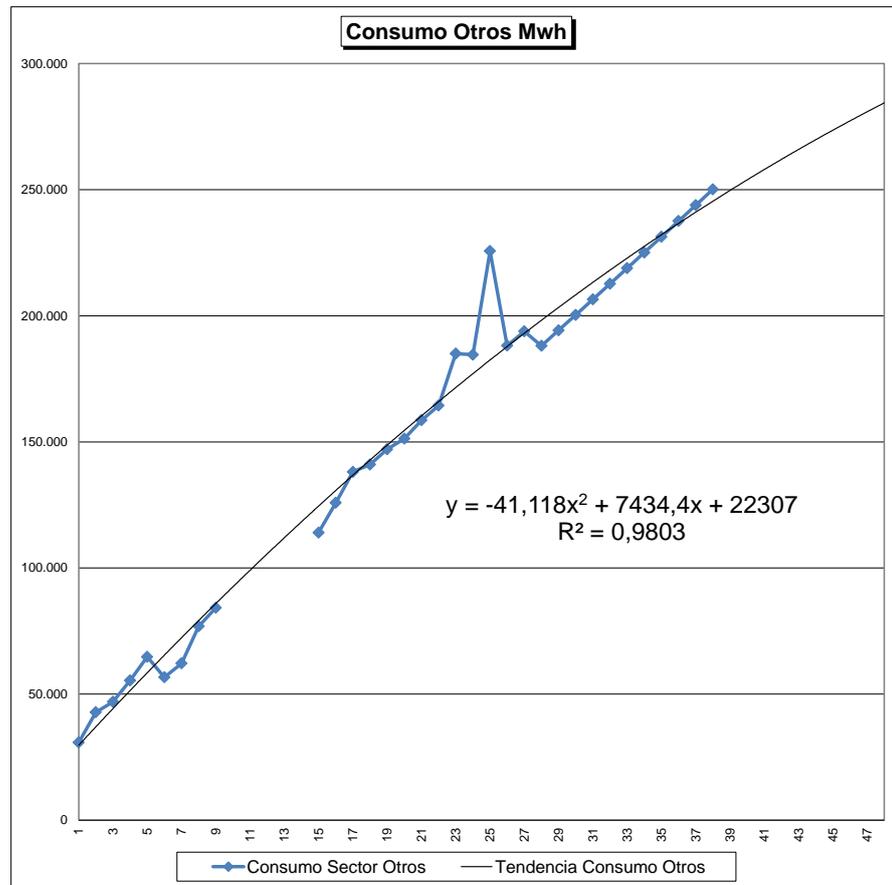


Fig. 4.7 Curva de Tendencia de Energía Sector Otros

Como se puede observar en la Fig. 4.7 ya se obtuvo el modelo mediante tendencia polinómica. Es aceptable esta tendencia puesto que el valor R^2 es mayor a 0,9; es decir cercano a 1.

A continuación se procede a realizar la suma de todas las proyecciones obtenidas por cada sector que conforma la distribuidora seleccionada, a continuación se detalla la suma obtenida y se muestra la curva de la proyección sectorial.

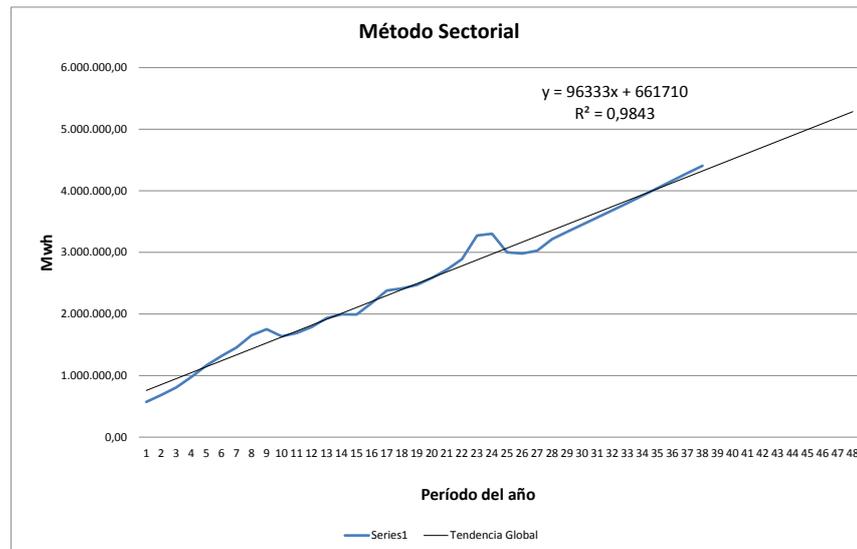


Fig. 4.8 Curva de Energía Método Sectorial

Para obtener el valor de potencia se procederá a utilizar la ecuación de factor de carga. Cada punto de energía tendrá en el período respectivo un valor de potencia en concordancia con el valor del factor de carga respectivo.

4.2.3 Proyección anual econométrica

Para la proyección econométrica, se ha tratado de encontrar una ecuación que relacione la energía demandada por la empresa distribuidora de energía eléctrica y el valor del PIB nacional a lo largo del tiempo.

En base a experiencias de los encargados de estudios de expansión de la empresa seleccionada, han encontrado y definido la siguiente ecuación:

$$E_t = -1691.47 * (t_a - 1900) - 0.3 * E_{t-1} + 26.47 * PIB_{t-2} - 176963 \quad (4.1)$$

En la que:

E_t ; representa la energía del período actual.

t_a ; representa el año actual.

E_{t-1} ; representa la energía del período anterior.

PIB_{t-2} ; representa el Producto Interno Bruto de hace dos periodos.

Una vez realizados los cálculos se procede a realizar el gráfico que muestra el comportamiento de la proyección econométrica.

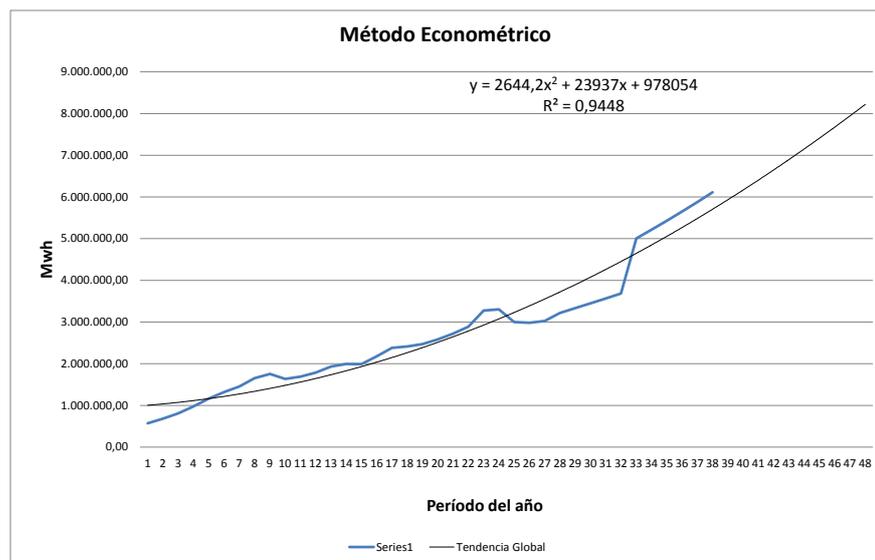


Fig. 4.9 Curva de Energía Método Econométrico

Para obtener el valor de potencia se procederá a utilizar la ecuación de factor de carga. Cada punto de energía tendrá en el período respectivo un valor de potencia en concordancia con el valor del factor de carga respectivo.

4.3 DISEÑO DE MODELO NO TRADICIONAL MENSUAL

Para proceder a realizar el modelo no tradicional mensual, se procederá a encontrar doce modelos por cada tipo de estructura de identificación, anteriormente detallada, mediante la cual se obtenga una mejor respuesta ante una variación transitoria en la entrada al inicio del modelo.

Para elaborar el diseño del modelo no tradicional de los doce meses del año bajo las estructuras anteriormente descritas, se recogerá los datos reales de los últimos 10 años para proceder a ingresarlos en la herramienta “ident” del programa MATLAB.

	Energía en Mwh					
MES	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun
2002	270.235	241.621	273.754	266.819	275.597	259.662
2003	282.785	252.842	286.467	279.211	288.395	271.721
2004	295.760	264.442	299.610	292.021	301.627	284.188
2005	309.164	276.427	313.189	305.256	315.298	297.068
2006	323.003	288.801	327.208	318.920	329.411	310.365
2007	337.281	301.566	341.672	333.017	343.972	324.084
2008	352.001	314.728	356.583	347.551	358.984	338.228
2009	367.166	328.287	371.946	362.525	374.450	352.801
2010	382.780	342.247	387.763	377.941	390.373	367.803
2011	398.843	356.610	404.035	393.801	406.755	383.238

Tabla 4.1 Datos Reales Demanda de Energía Enero – Junio (2002-2011)

Energía en Mwh						
MES	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
2002	256.981	258.109	256.060	263.713	261.203	285.127
2003	268.915	270.096	267.951	275.960	273.334	298.368
2004	281.253	282.488	280.245	288.621	285.874	312.058
2005	294.000	295.291	292.946	301.702	298.831	326.201
2006	307.160	308.508	306.059	315.207	312.207	340.802
2007	320.738	322.145	319.588	329.140	326.007	355.866
2008	334.736	336.205	333.536	343.504	340.235	371.397
2009	349.157	350.690	347.906	358.304	354.894	387.399
2010	364.005	365.603	362.700	373.540	369.986	403.873
2011	379.280	380.945	377.921	389.216	385.512	420.821

Tabla 4.2 Datos Reales Demanda de Energía Julio – Diciembre (2002-2011)

4.3.1 Proyección mensual ARX

Para elaborar el diseño del modelo no tradicional de los doce meses del año bajo la estructura ARX, se procederá a probar cada modelo en la sección de pruebas y ensayos para seleccionar el más adecuado por mes.

El proceso inicia en el módulo mostrado a continuación, en el cual se incluye los respectivos de cada uno de los meses para luego obtener el modelo deseado, el cual estará presentado en el dominio del tiempo.

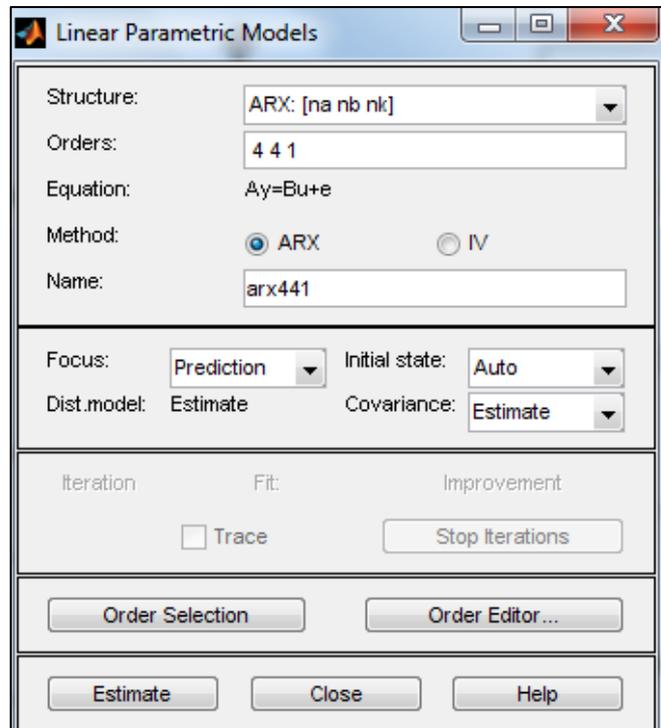


Fig. 4.10 Herramienta de Identificación del Sistema ARX

4.3.2 Proyección mensual OE

Para elaborar el diseño del modelo no tradicional de los doce meses del año bajo la estructura OE, se procederá a probar cada modelo en la sección de pruebas y ensayos para seleccionar el más adecuado por mes.

El proceso inicia en el módulo mostrado a continuación, en el cual se incluye los respectivos de cada uno de los meses para luego

obtener el modelo deseado, el cual estará presentado en el dominio del tiempo.

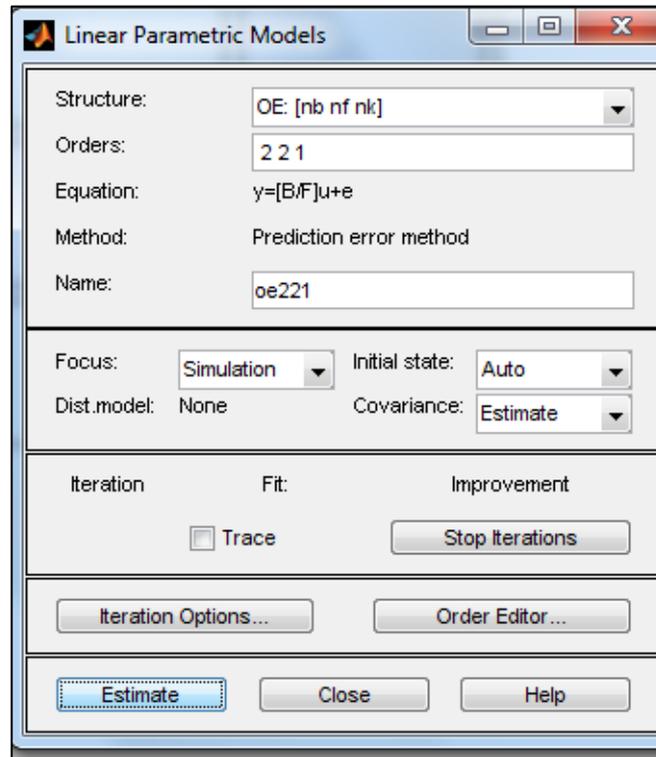


Fig. 4.11 Herramienta de Identificación del Sistema OE

4.3.3 Proyección mensual ARMAX

Para elaborar el diseño del modelo no tradicional de los doce meses del año bajo la estructura ARMAX, se procederá a probar cada modelo en la sección de pruebas y ensayos para seleccionar el más adecuado por mes.

El proceso inicia en el módulo mostrado a continuación, en el cual se incluye los respectivos de cada uno de los meses para luego obtener el modelo deseado, el cual estará presentado en el dominio del tiempo.

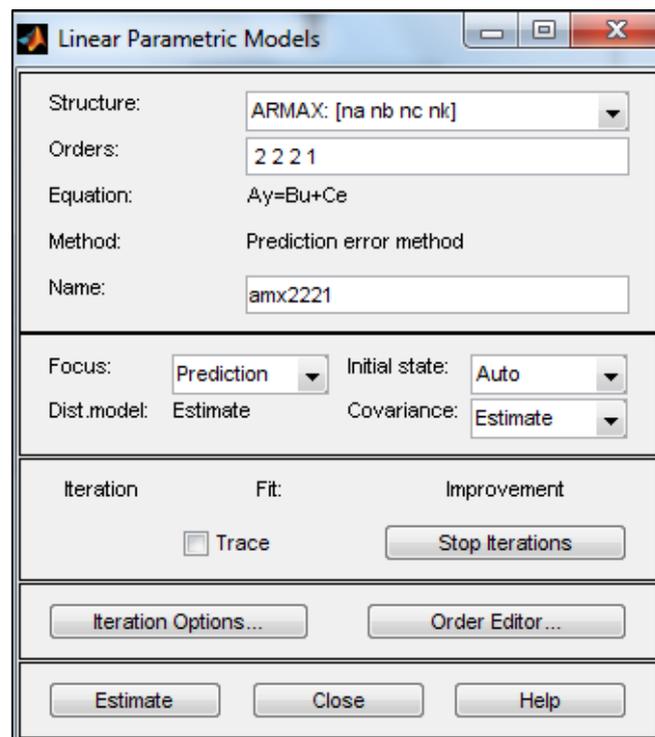


Fig. 4.12 Herramienta de Identificación del Sistema ARMAX

4.3.4 Proyección mensual BJ

Para elaborar el diseño del modelo no tradicional de los doce meses del año bajo la estructura BJ, se procederá a probar cada modelo en la sección de pruebas y ensayos para seleccionar el más adecuado por mes.

El proceso inicia en el módulo mostrado a continuación, en el cual se incluye los respectivos de cada uno de los meses para luego obtener el modelo deseado, el cual estará presentado en el dominio del tiempo.

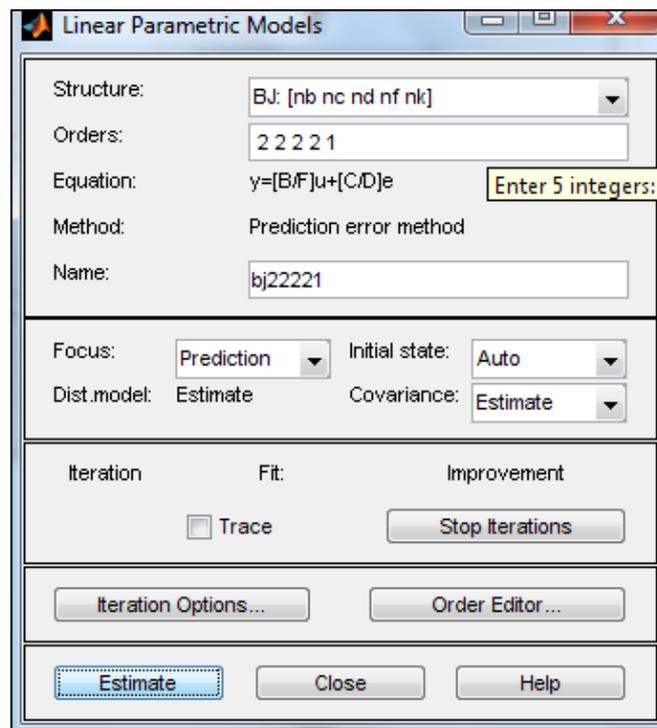


Fig. 4.13 Herramienta de Identificación del Sistema BJ

4.4 PROTOCOLO DE PRUEBAS Y ENSAYOS

Luego de realizar cada identificación se procede a escoger el modelo que mejor represente al mes ante una variación transitoria a la entrada del sistema.

Para lograr esta selección, se realizan diferentes pruebas y ensayos para cada modelo del mes en análisis. Estas pruebas y ensayos se las detalla a continuación mediante gráficas por cada mes y por cada estructura seleccionada.

En primer lugar se tiene al mes de enero, en el cual se presentan las siguientes figuras:

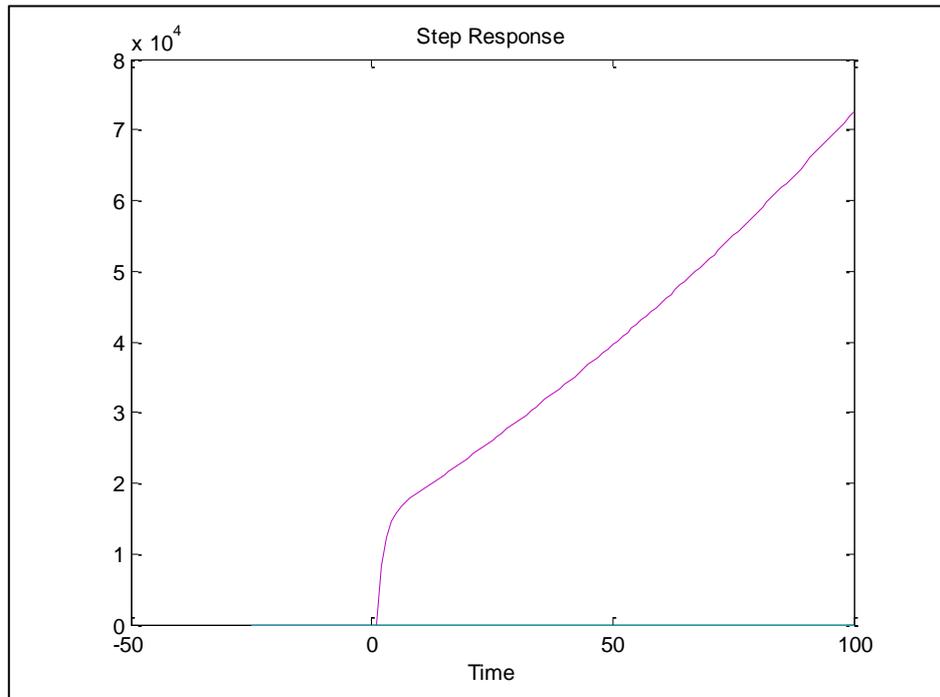


Fig. 4.14 Respuesta Paso Enero Modelo ARX222

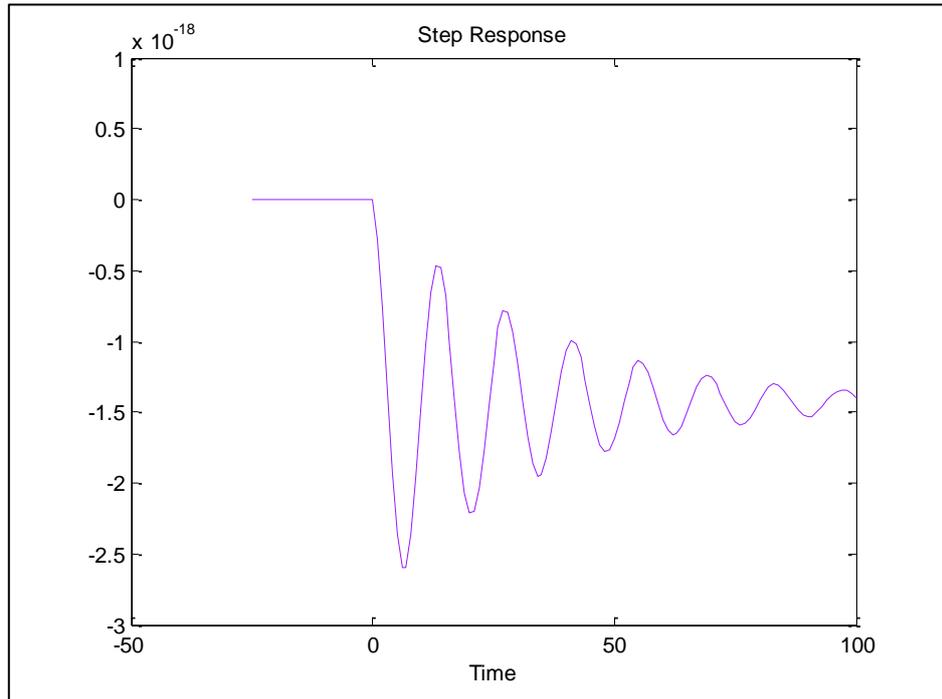


Fig. 4.15 Respuesta Paso Enero Modelo ARX211

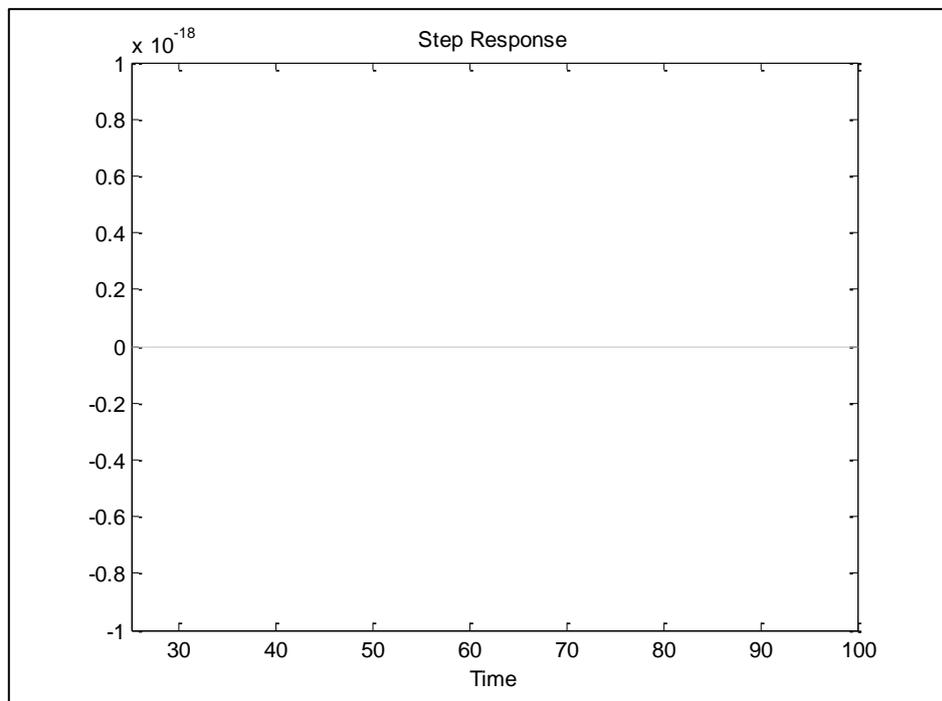


Fig. 4.16 Respuesta Paso Enero Modelo ARX121

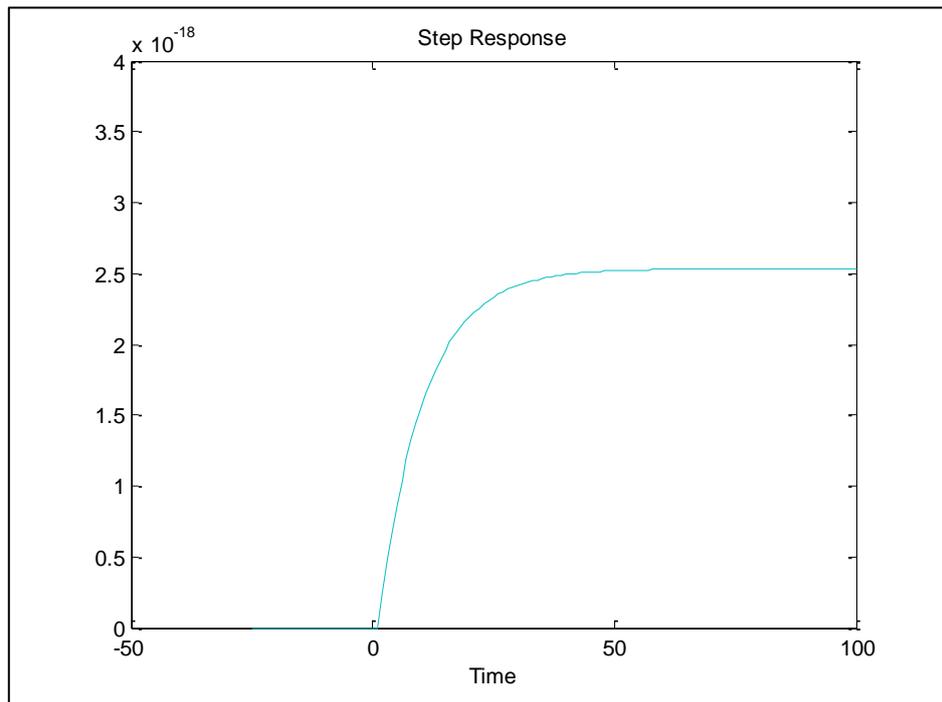


Fig. 4.17 Respuesta Paso Enero Modelo ARX112

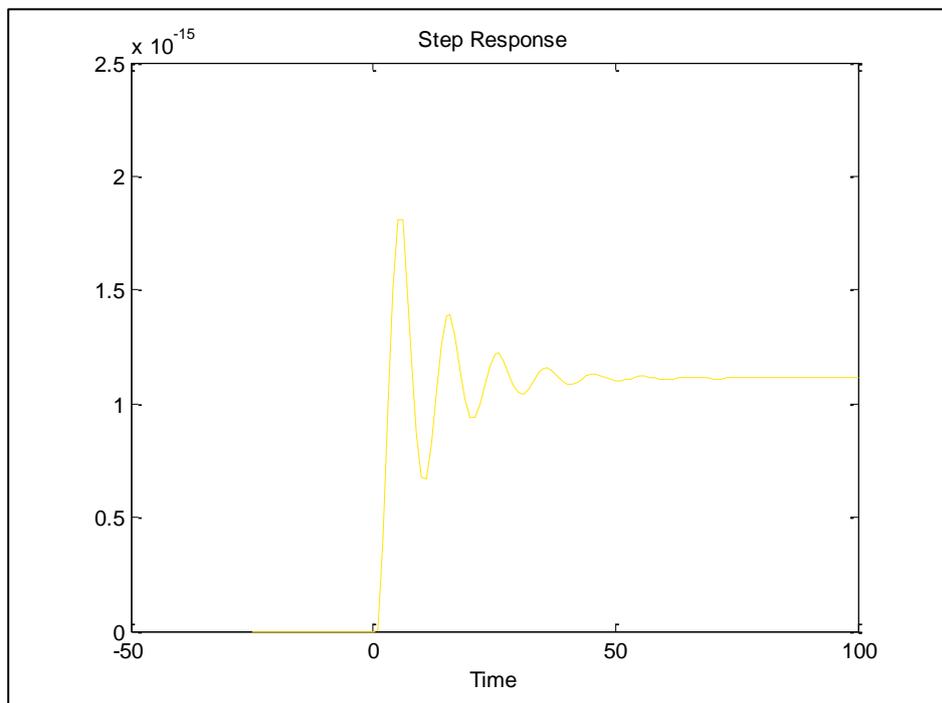


Fig. 4.18 Respuesta Paso Enero Modelo OE221

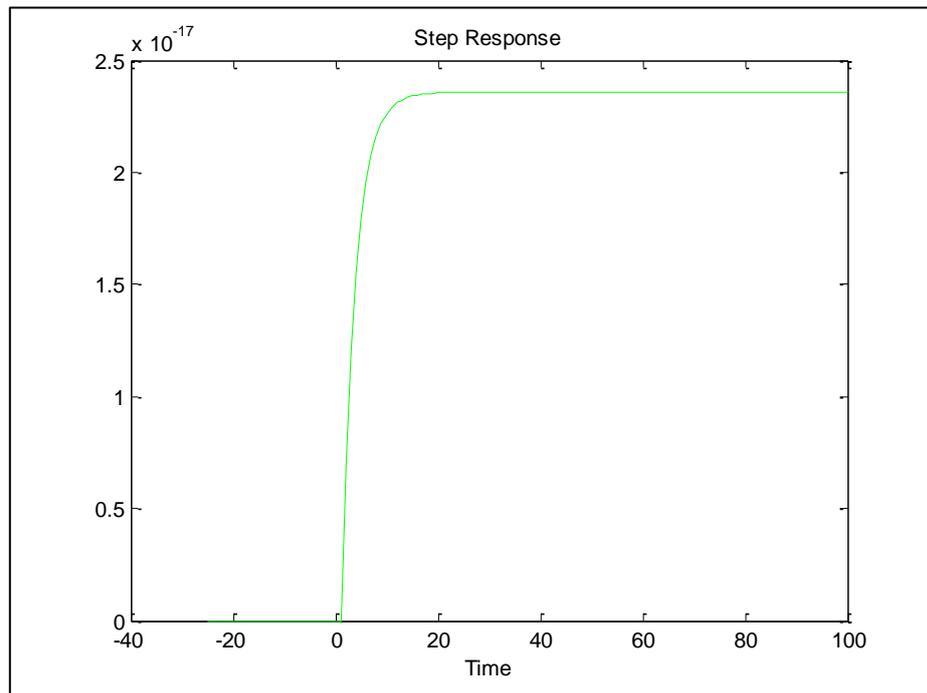


Fig. 4.19 Respuesta Paso Enero Modelo OE112

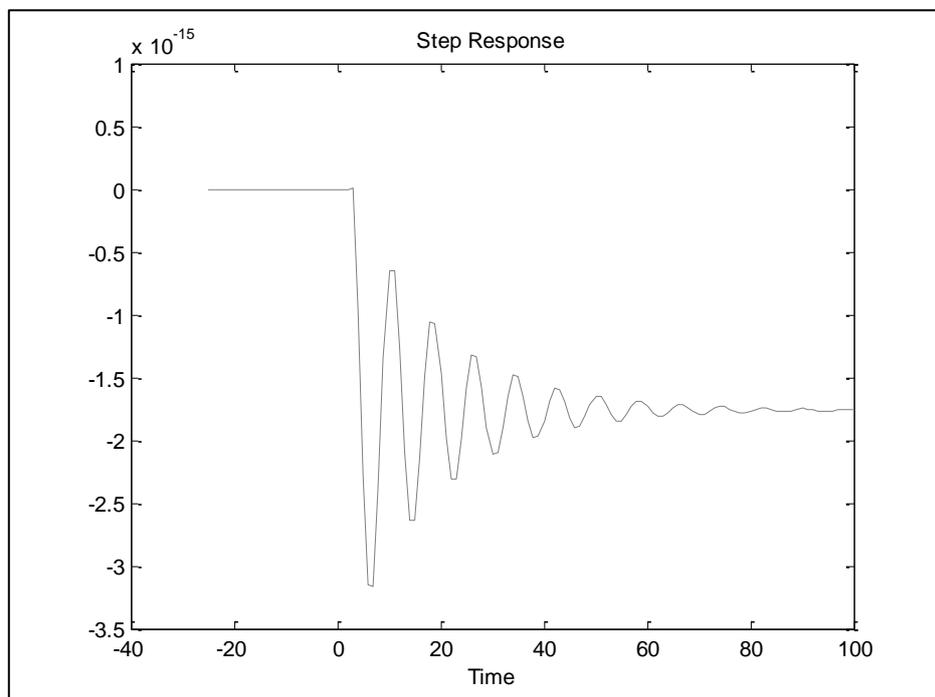


Fig. 4.20 Respuesta Paso Enero Modelo OE322

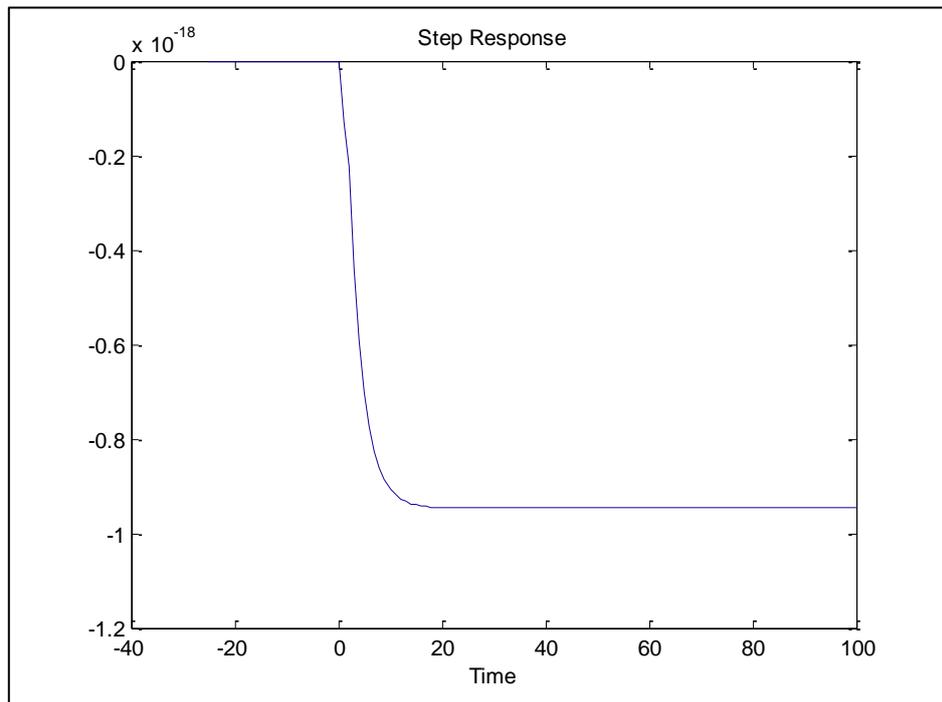


Fig. 4.21 Respuesta Paso Enero Modelo OE311

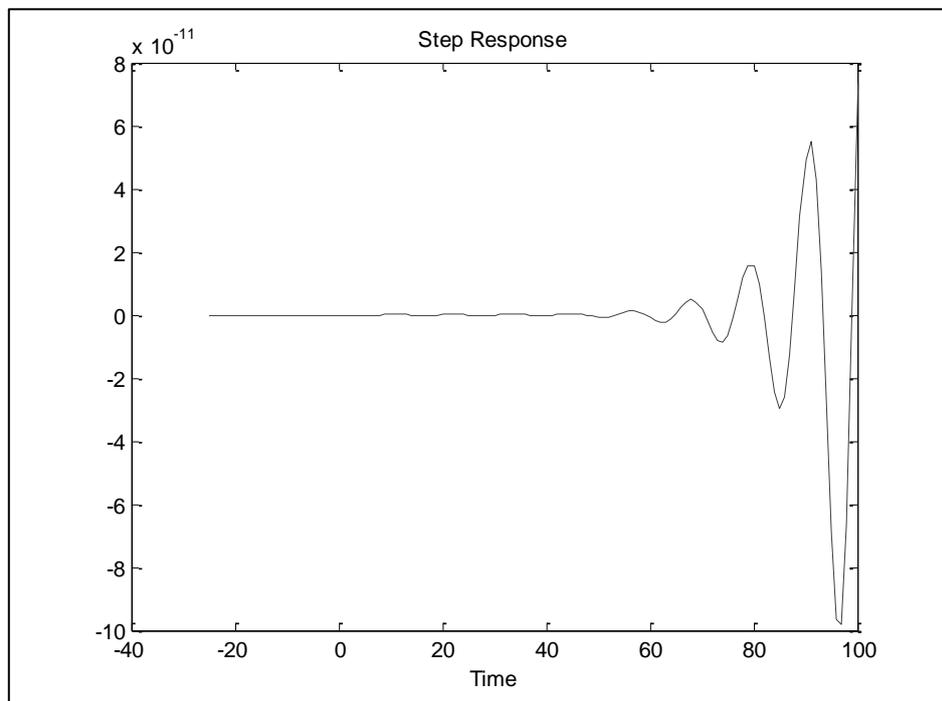


Fig. 4.22 Respuesta Paso Enero Modelo ARMAX2221

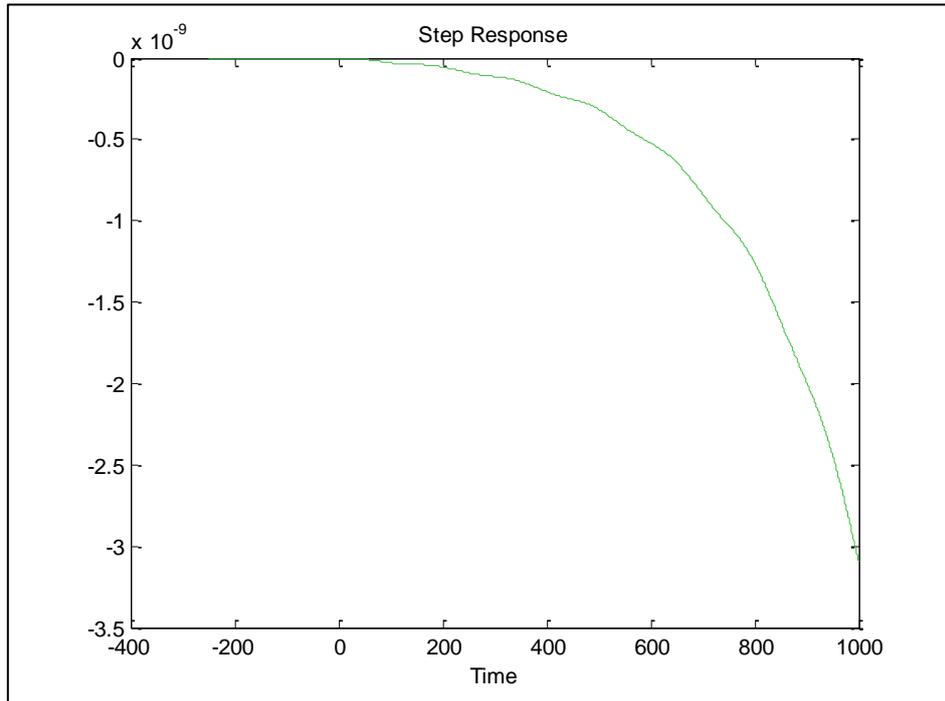


Fig. 4.23 Respuesta Paso Enero Modelo ARMAX3211

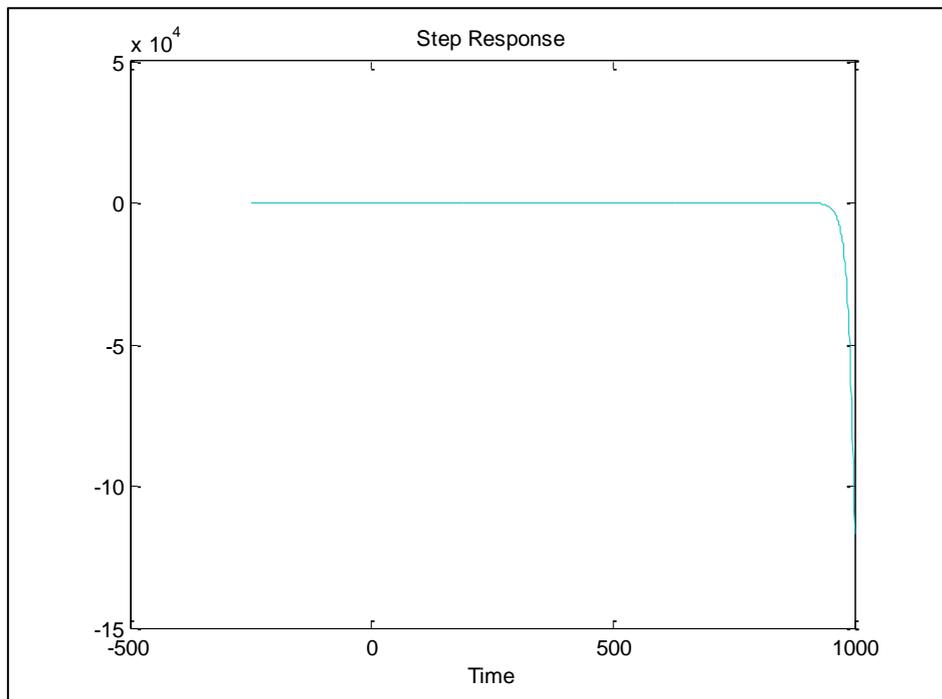


Fig. 4.24 Respuesta Paso Enero Modelo BJ11112

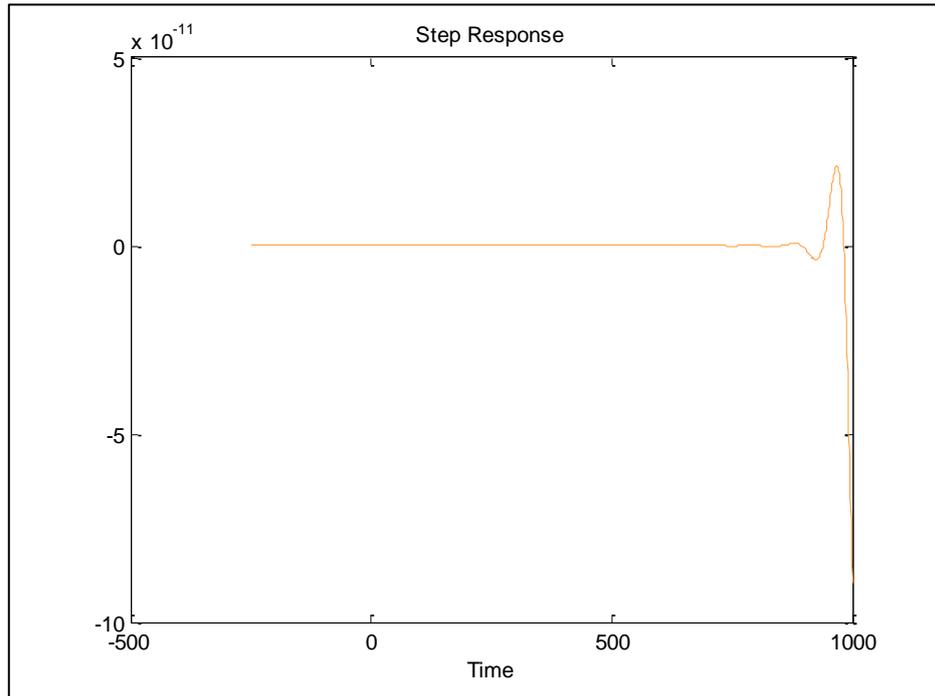


Fig. 4.25 Respuesta Paso Enero Modelo BJ11212

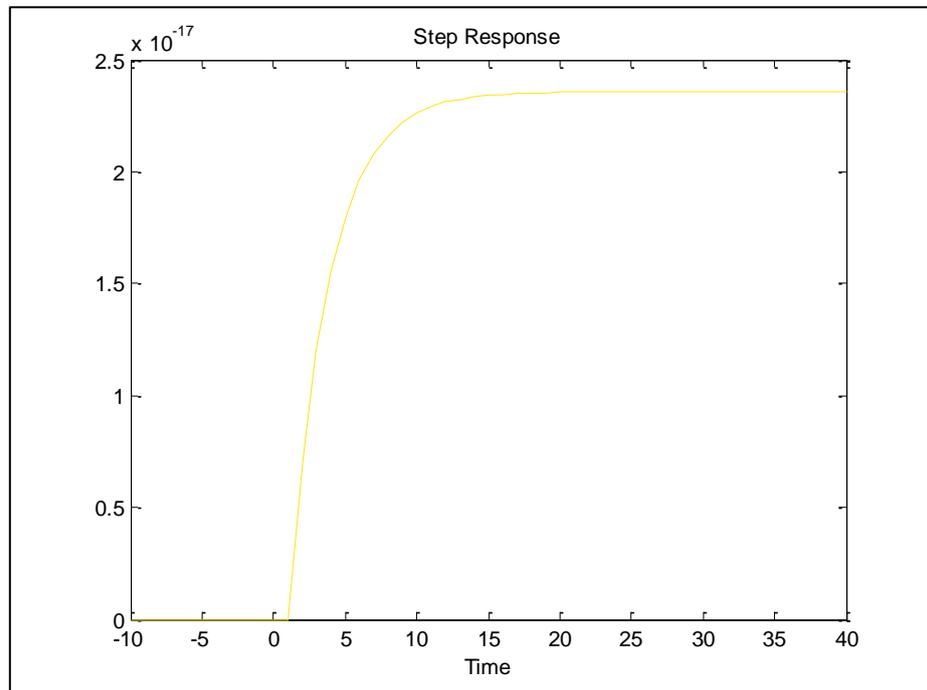


Fig. 4.26 Respuesta Paso Enero Modelo BJ10012

Una vez que se ha realizado el procedimiento para encontrar los modelos del mes de enero, se procede a realizar los siguientes meses pero solamente comprobando en los modelos que enero presentó una estabilidad luego del cambio transitorio, como se muestra a continuación:

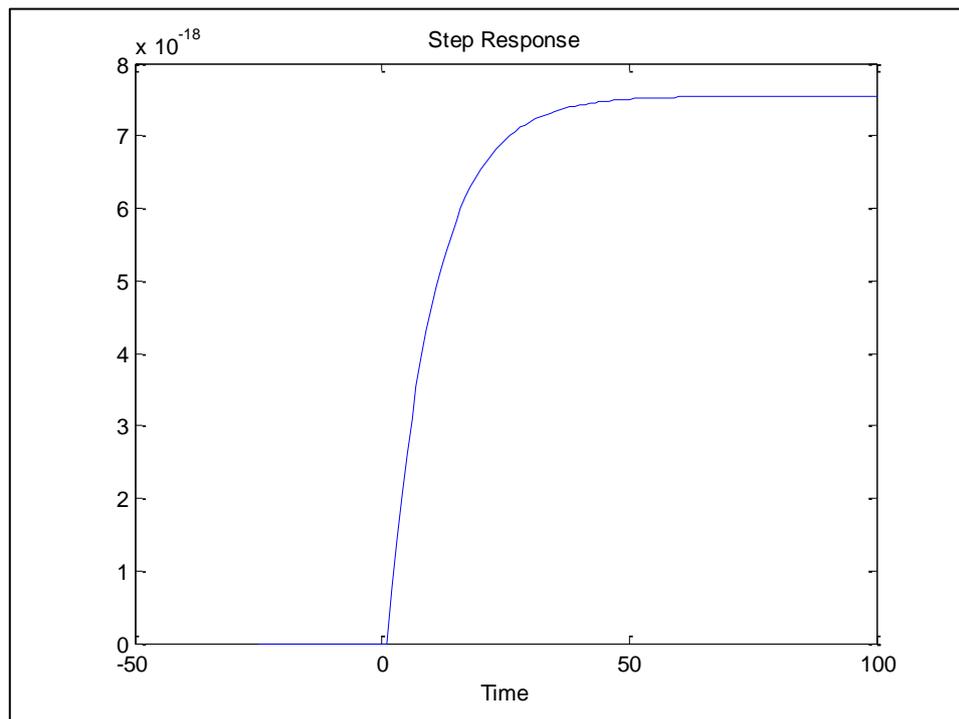


Fig. 4.27 Respuesta Paso Febrero Modelo ARX112

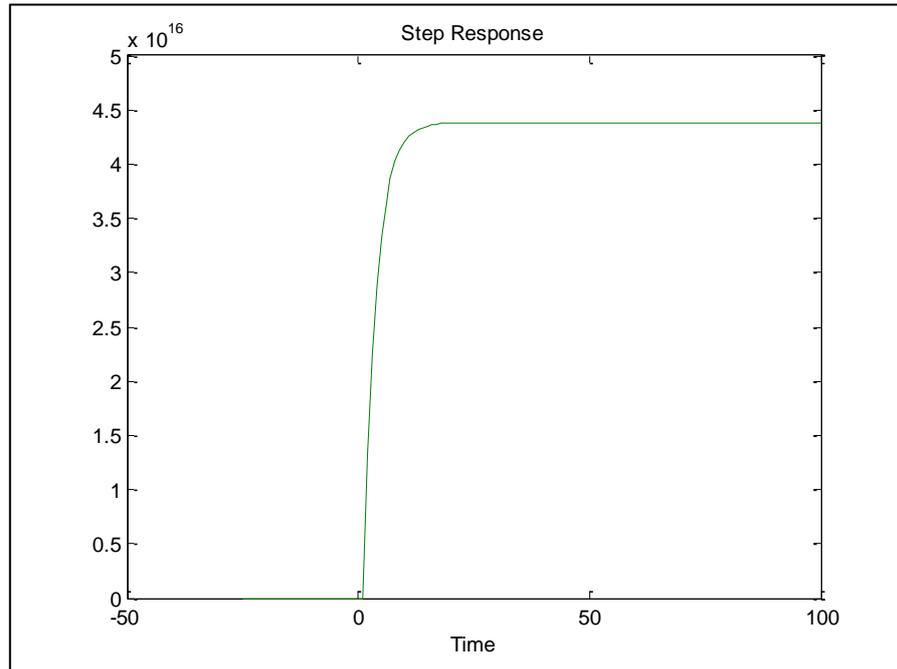


Fig. 4.28 Respuesta Paso Febrero Modelo OE112

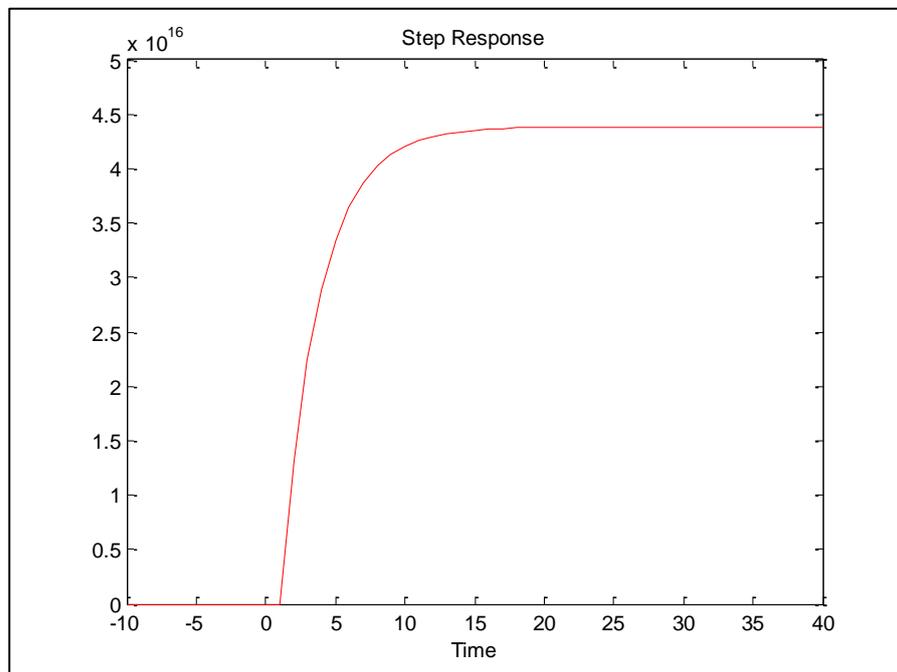


Fig. 4.29 Respuesta Paso Febrero Modelo BJ10012

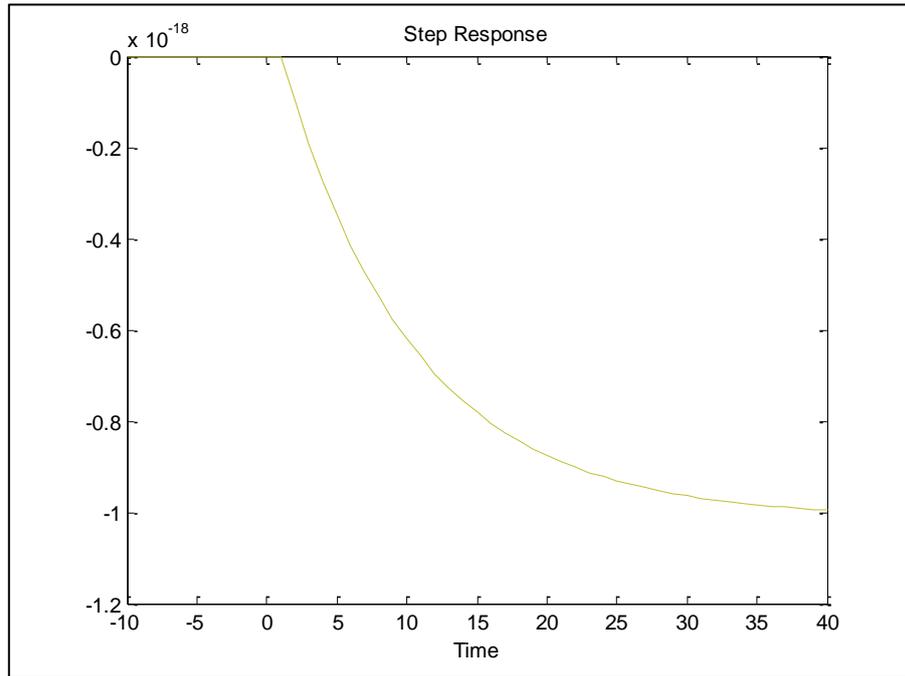


Fig. 4.30 Respuesta Paso Marzo Modelo ARX112

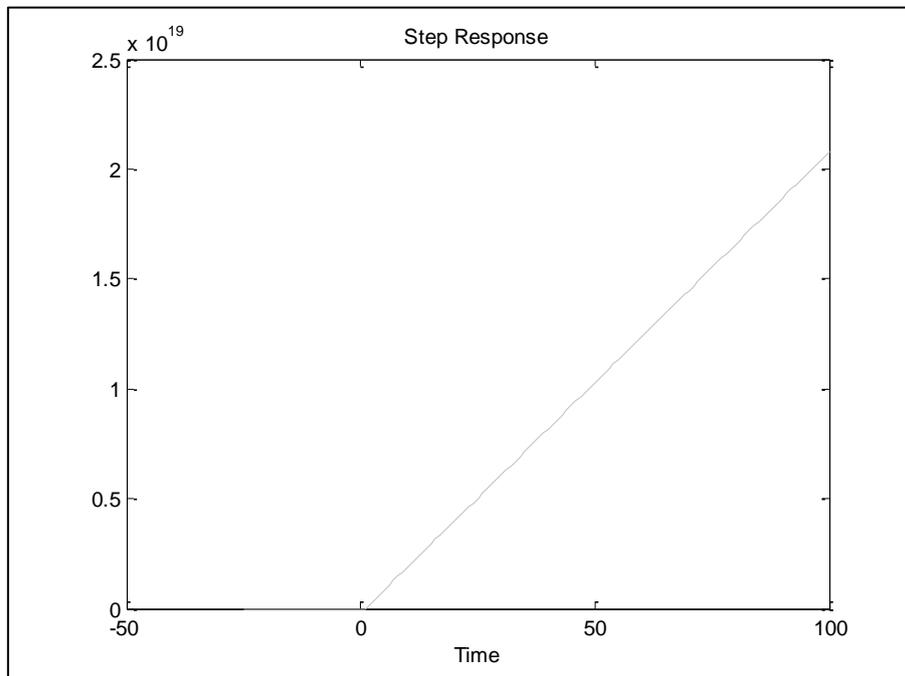


Fig. 4.31 Respuesta Paso Marzo Modelo OE112

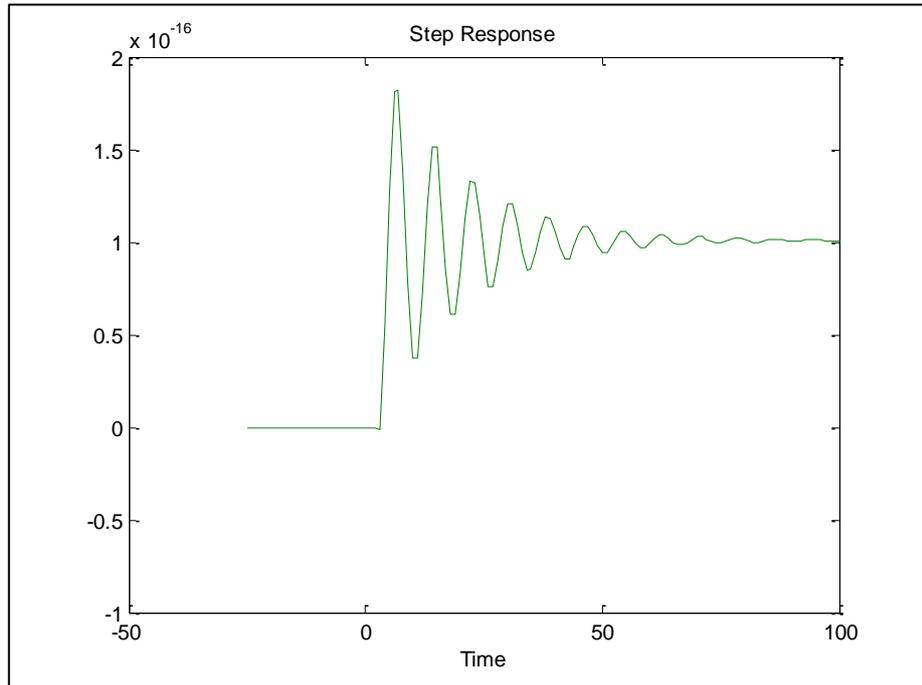


Fig. 4.32 Respuesta Paso Marzo Modelo OE223

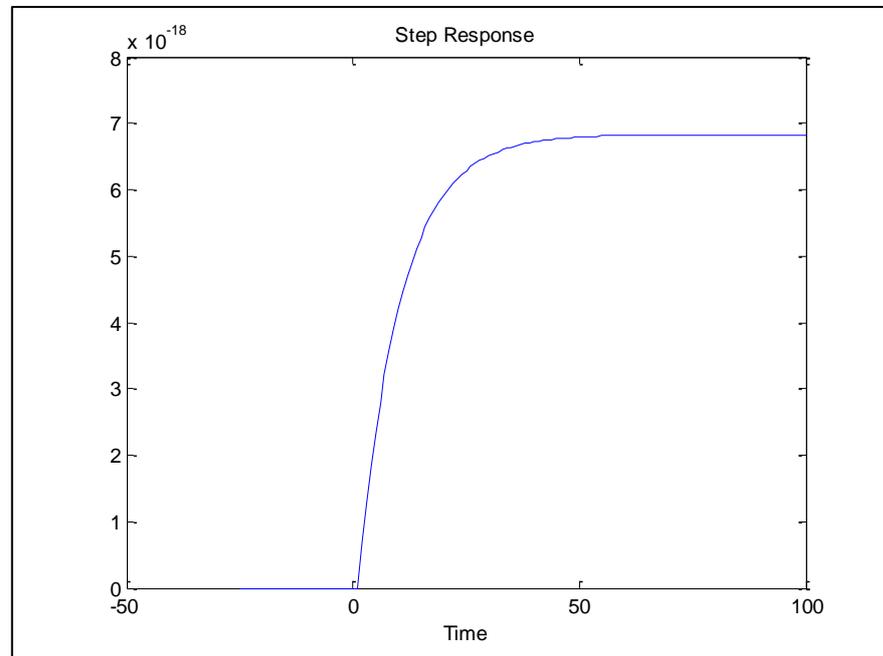


Fig. 4.33 Respuesta Paso Abril Modelo ARX112

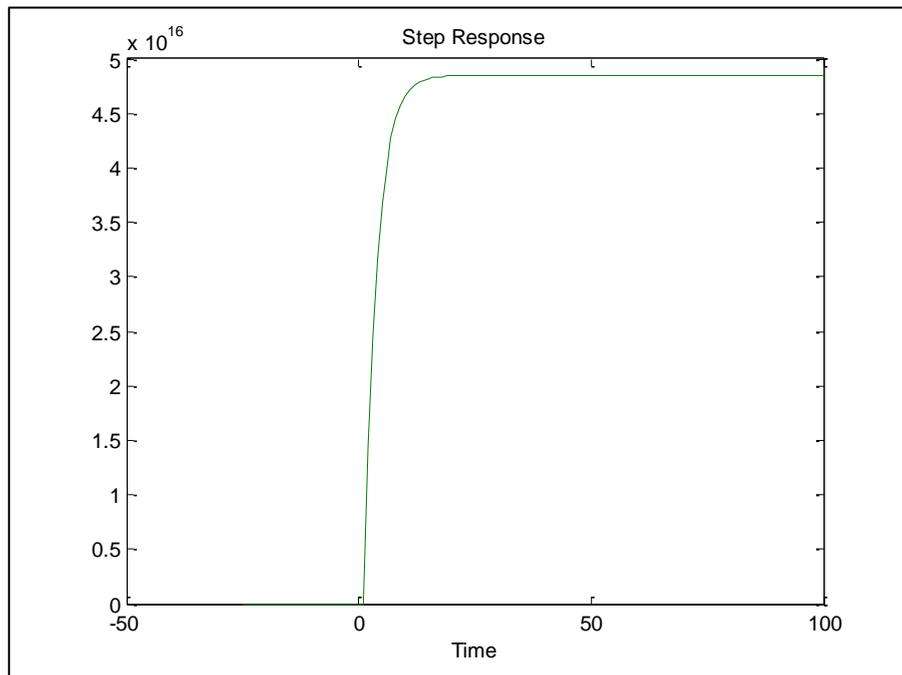


Fig. 4.34 Respuesta Paso Abril Modelo OE112

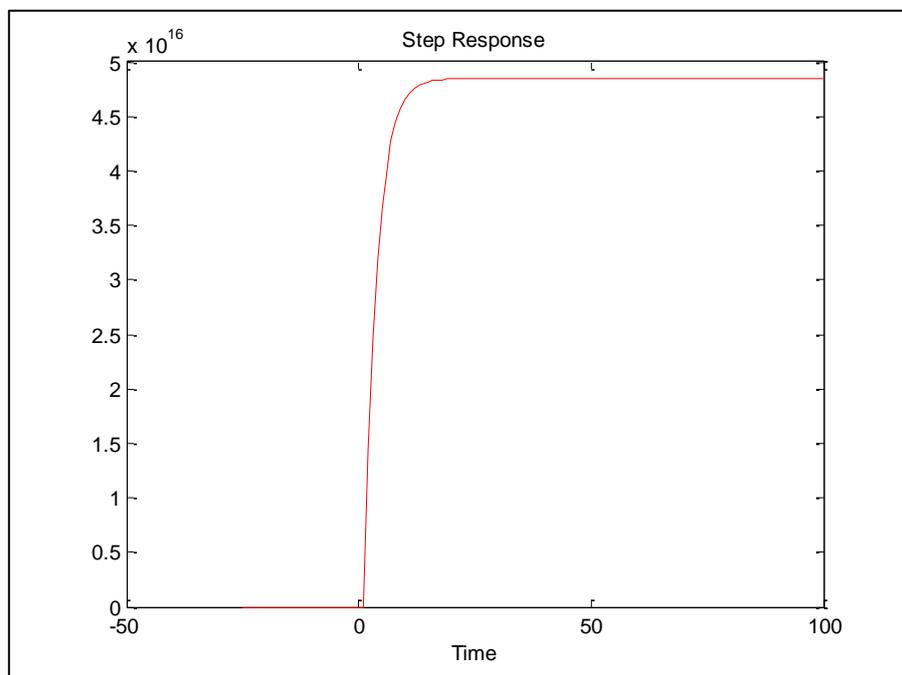


Fig. 4.35 Respuesta Paso Abril Modelo BJ10012

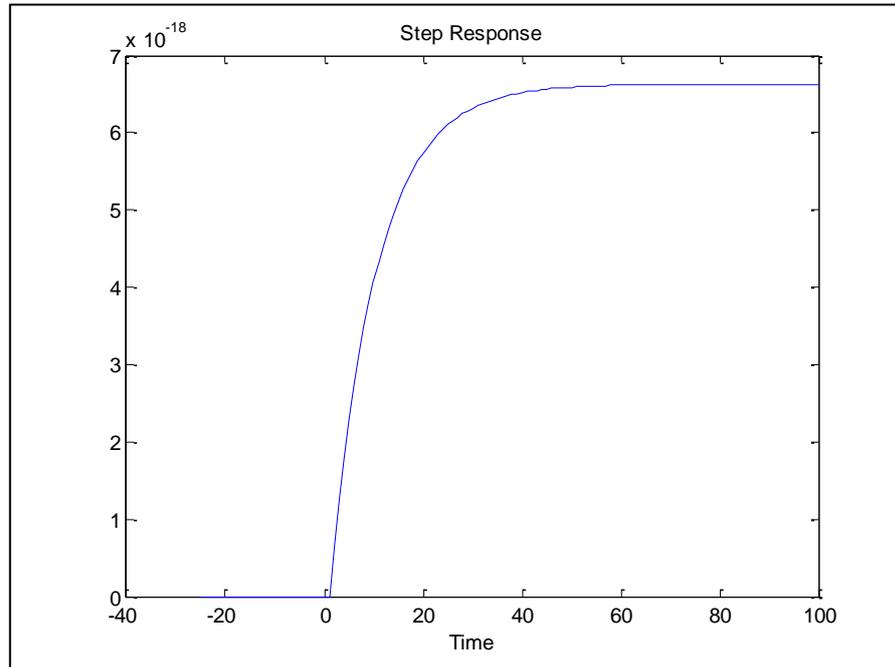


Fig. 4.36 Respuesta Paso Mayo Modelo ARX112

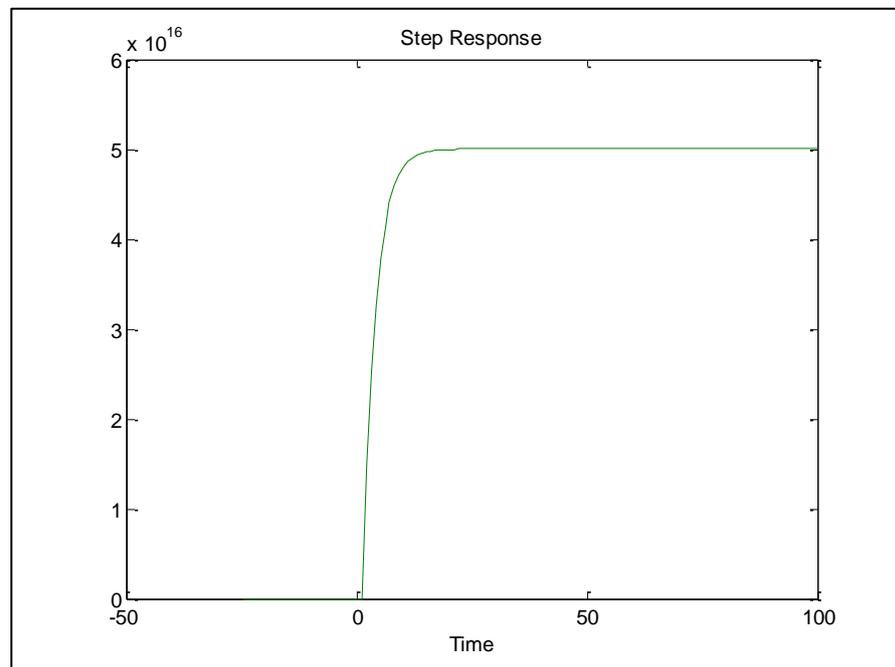


Fig. 4.37 Respuesta Paso Mayo Modelo OE112

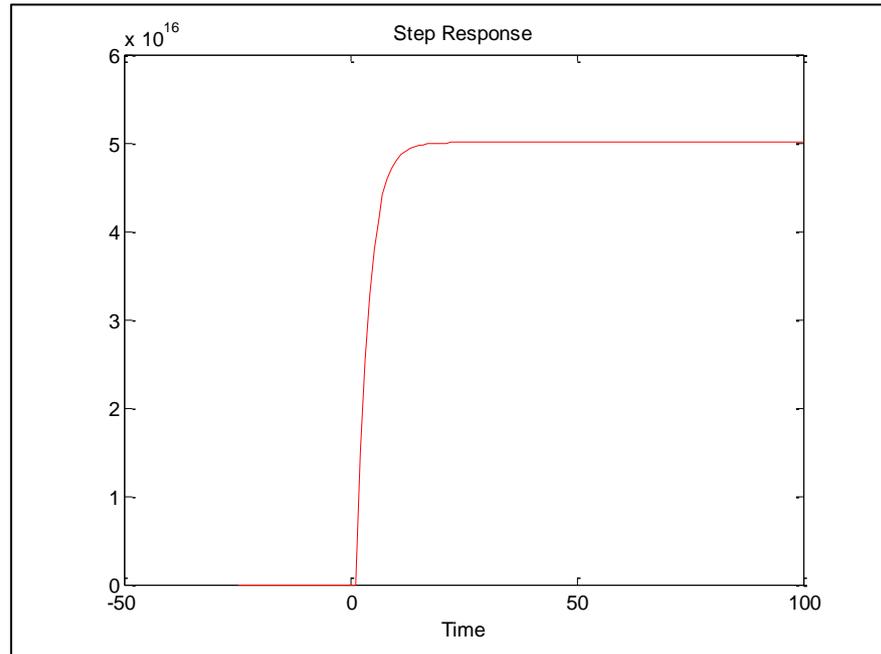


Fig. 4.38 Respuesta Paso Mayo Modelo BJ10012

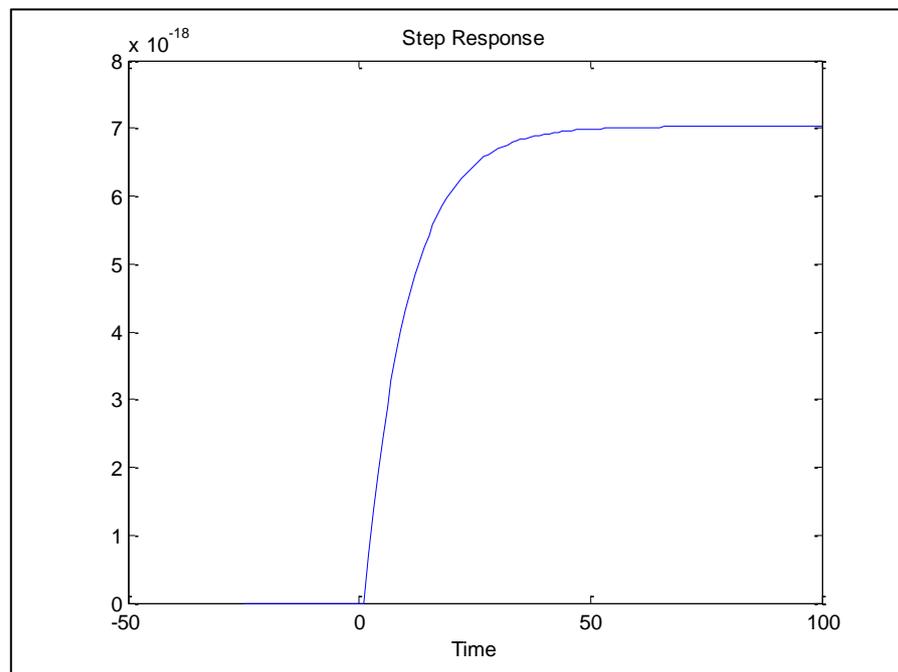


Fig. 4.39 Respuesta Paso Junio Modelo ARX112

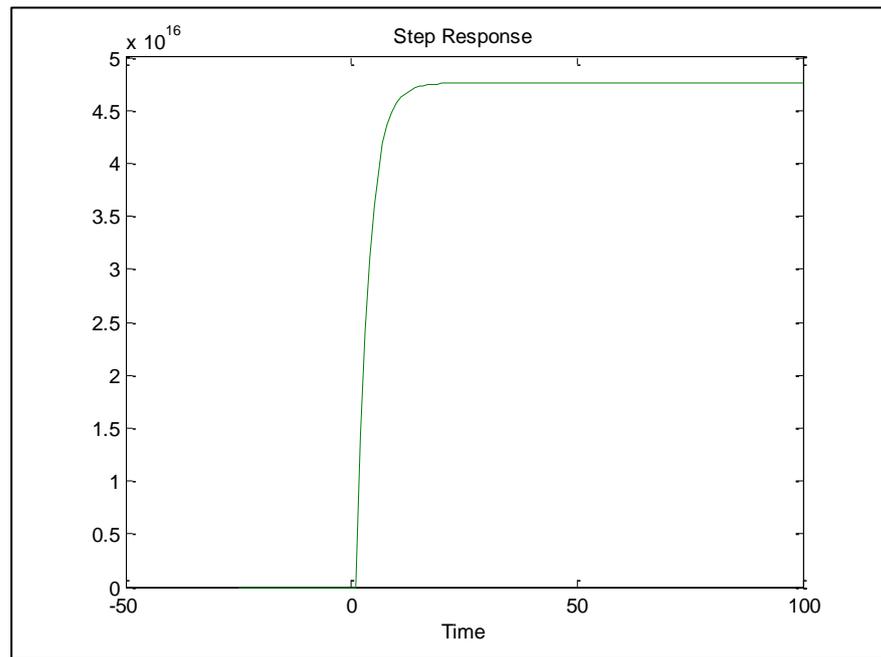


Fig. 4.40 Respuesta Paso Junio Modelo OE112

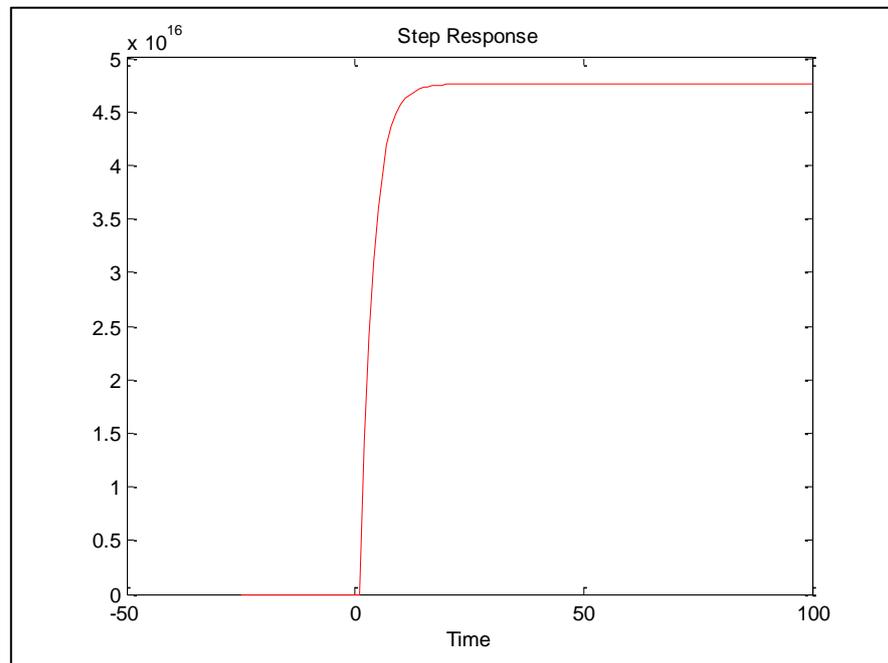


Fig. 4.41 Respuesta Paso Junio Modelo BJ10012

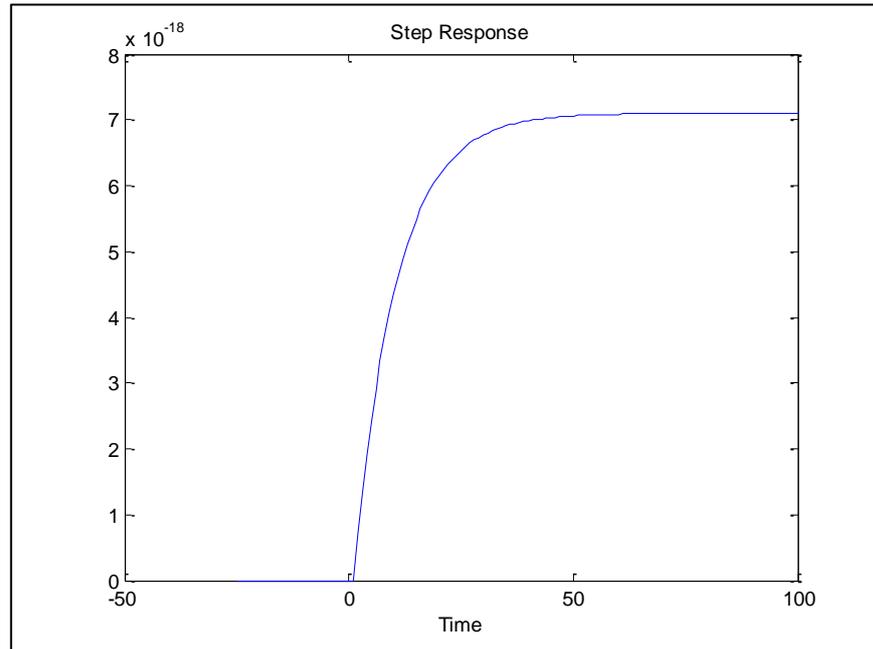


Fig. 4.42 Respuesta Paso Julio Modelo ARX112

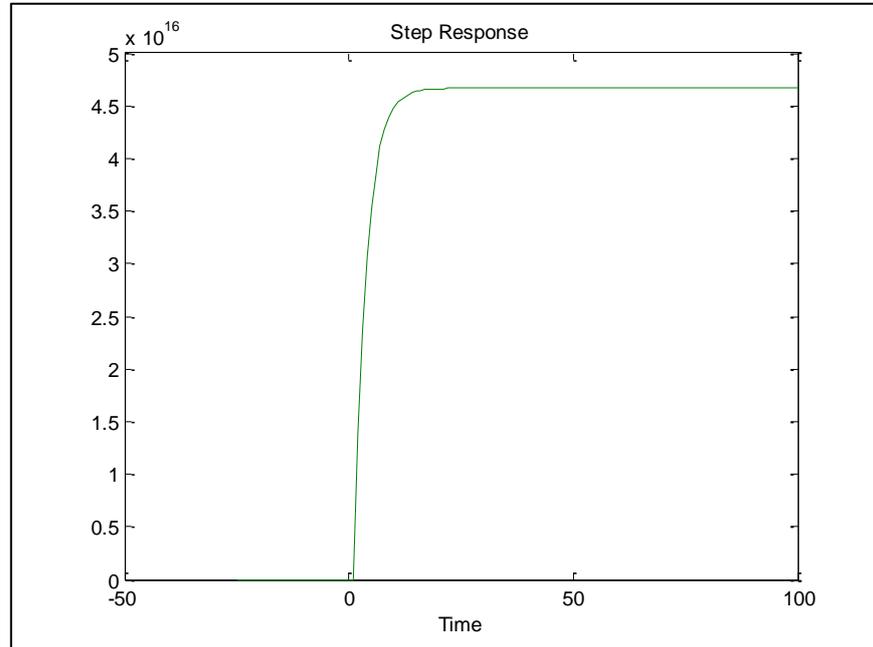


Fig. 4.43 Respuesta Paso Julio Modelo OE112

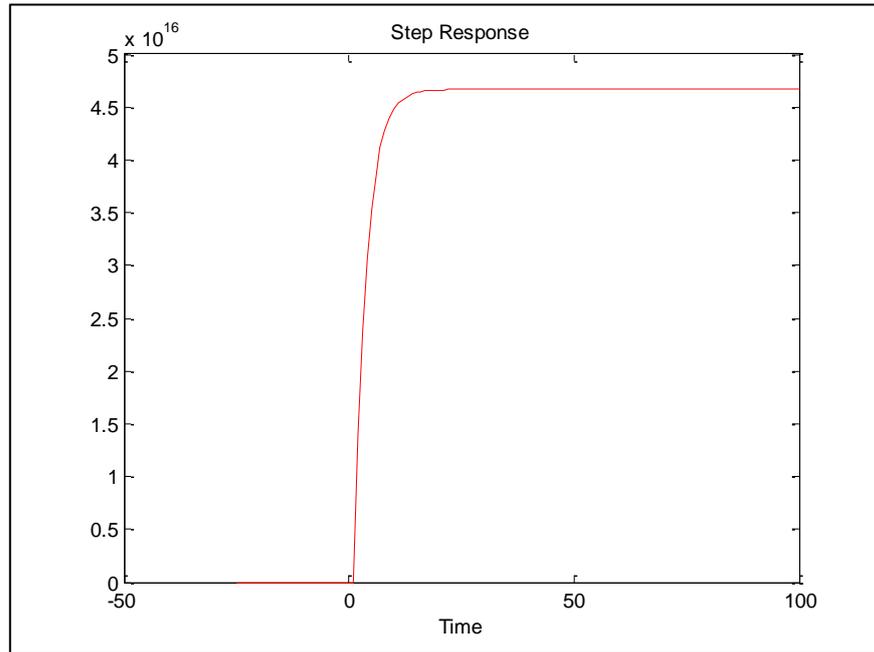


Fig. 4.44 Respuesta Paso Julio Modelo BJ10012

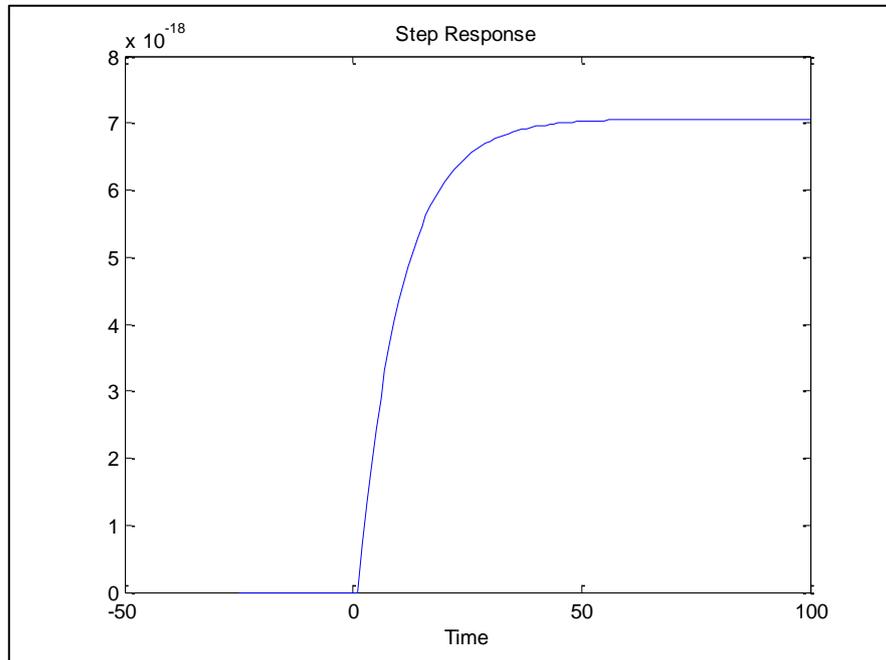


Fig. 4.45 Respuesta Paso Agosto Modelo ARX112

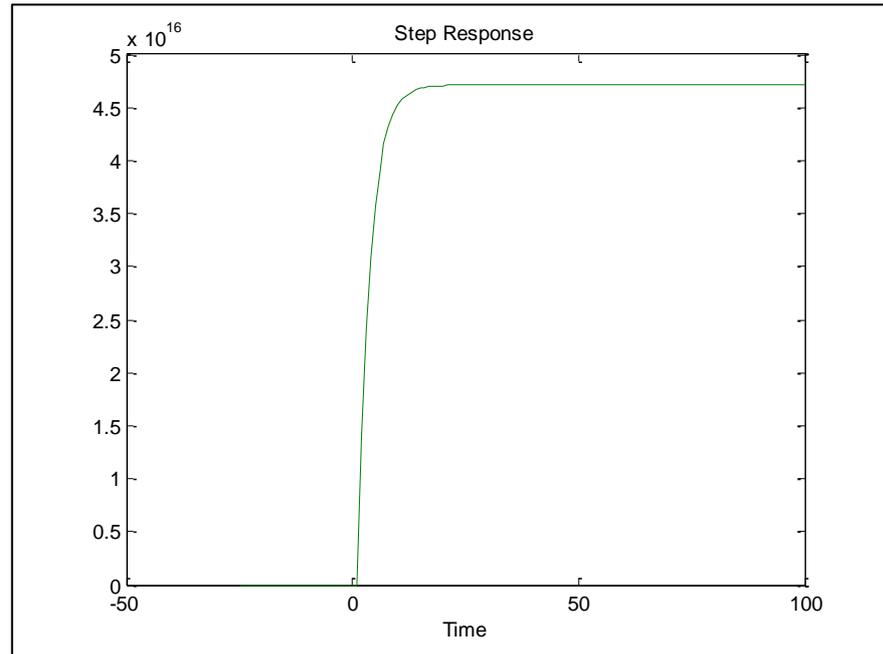


Fig. 4.46 Respuesta Paso Agosto Modelo OE112

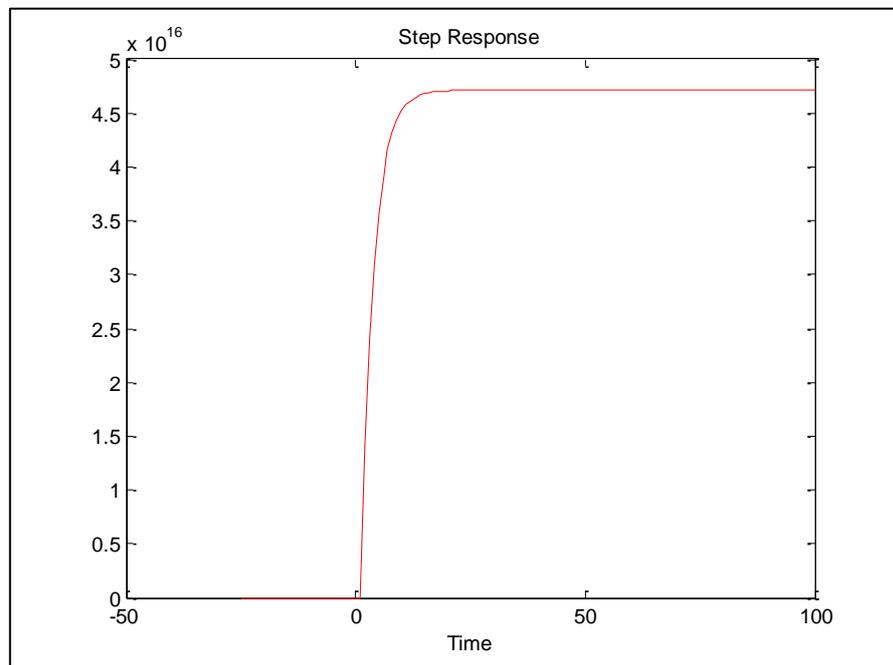


Fig. 4.47 Respuesta Paso Agosto Modelo BJ10012

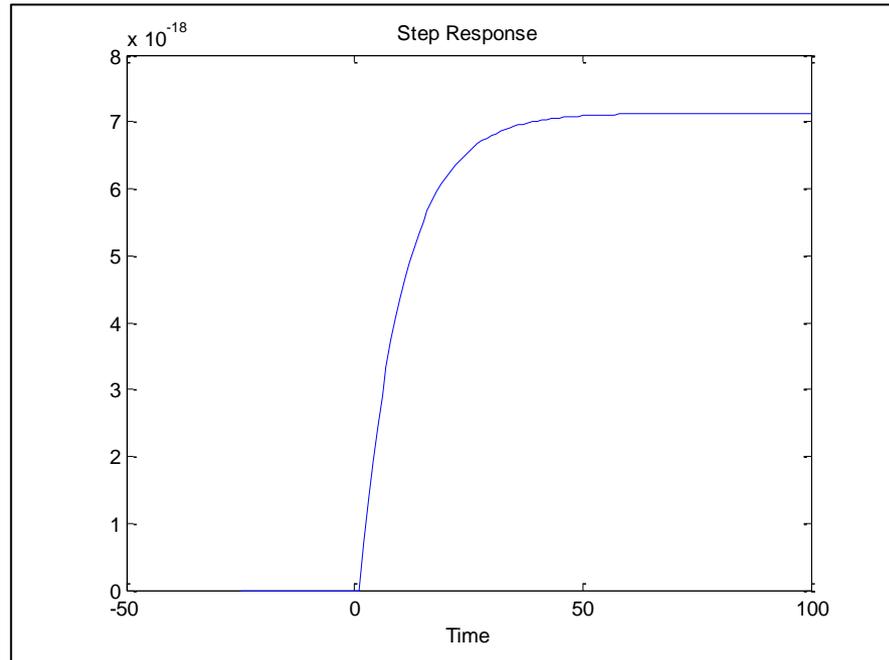


Fig. 4.48 Respuesta Paso Septiembre Modelo ARX112

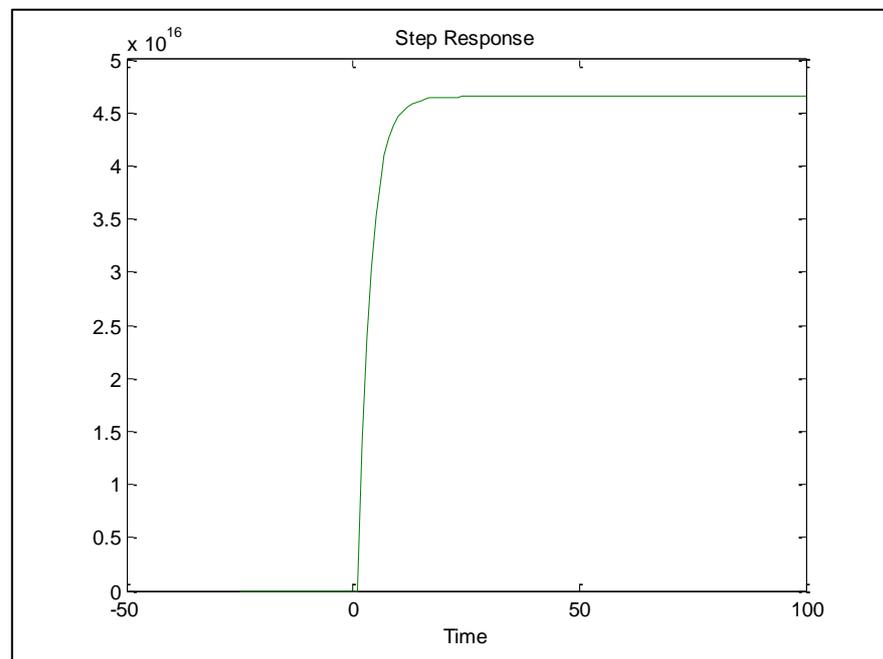


Fig. 4.49 Respuesta Paso Septiembre Modelo OE112

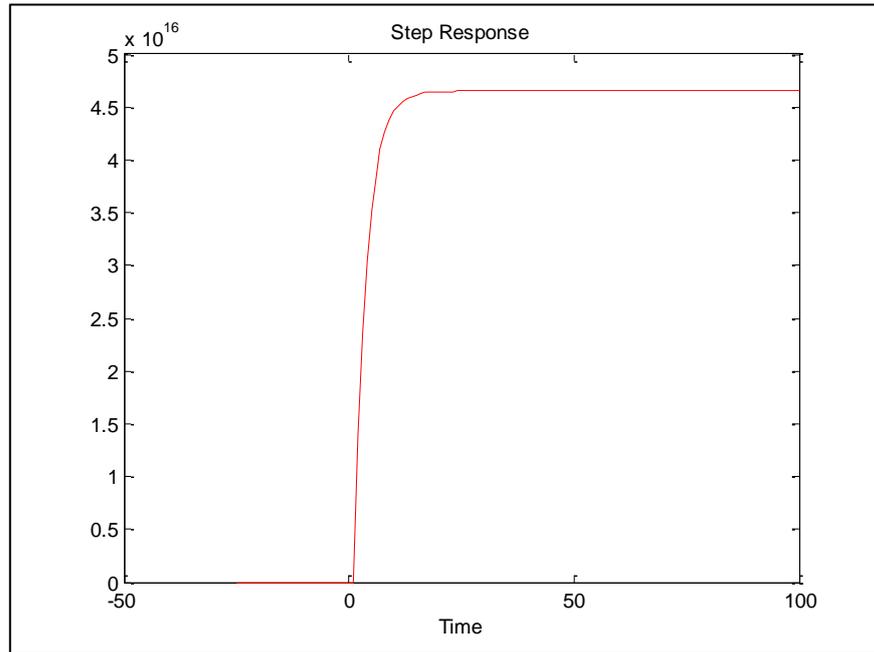


Fig. 4.50 Respuesta Paso Septiembre Modelo BJ10012

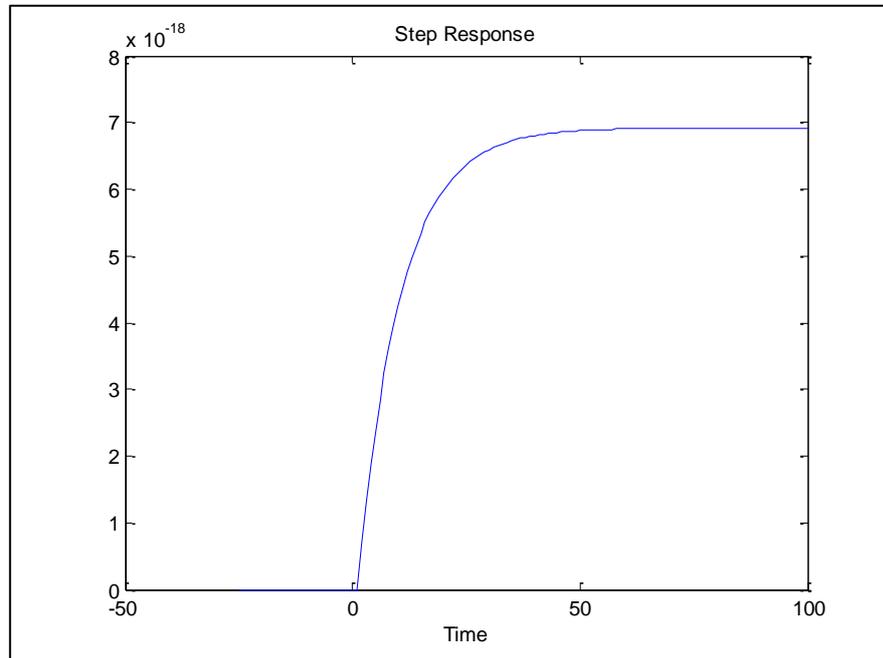


Fig. 4.51 Respuesta Paso Octubre Modelo ARX112

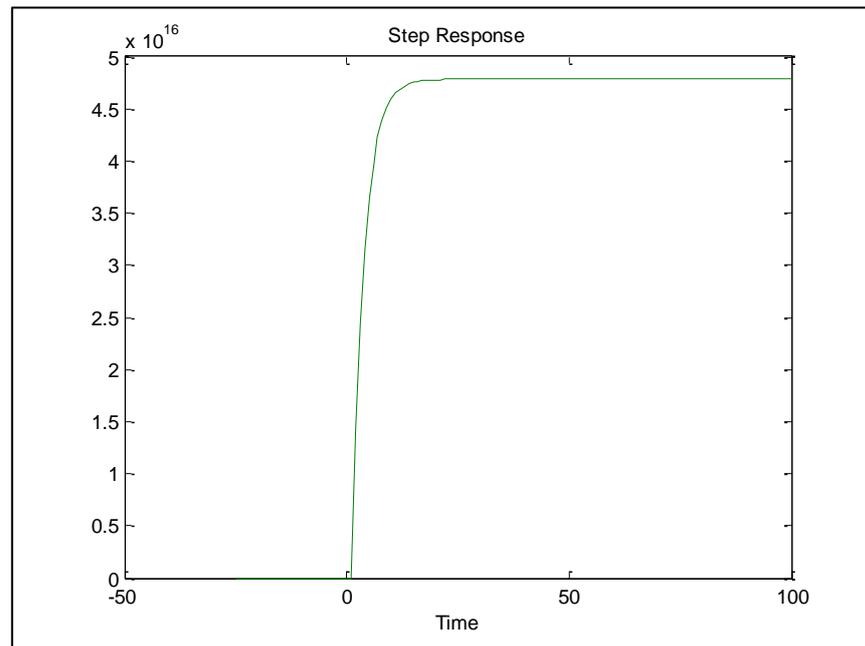


Fig. 4.52 Respuesta Paso Octubre Modelo OE112

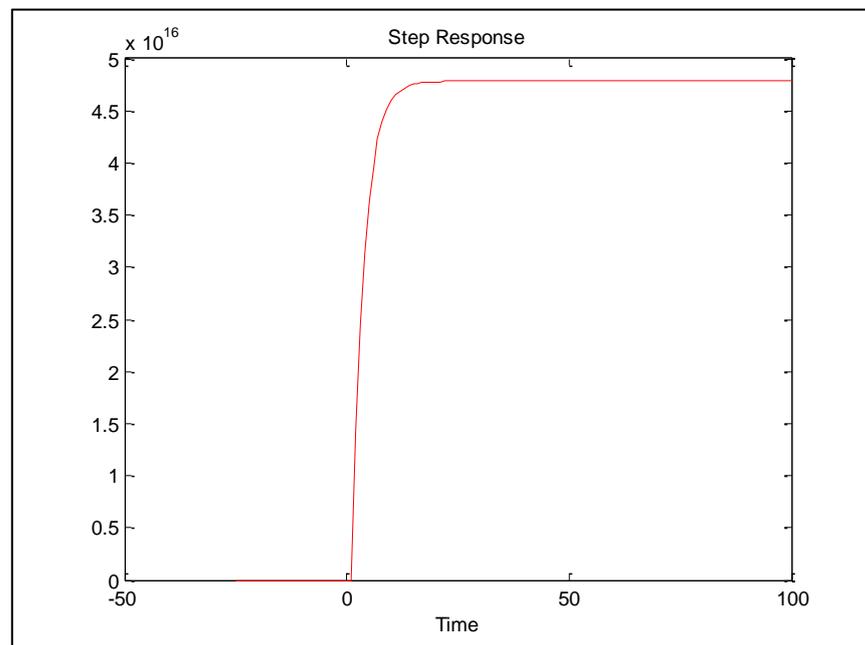


Fig. 4.53 Respuesta Paso Octubre Modelo BJ10012

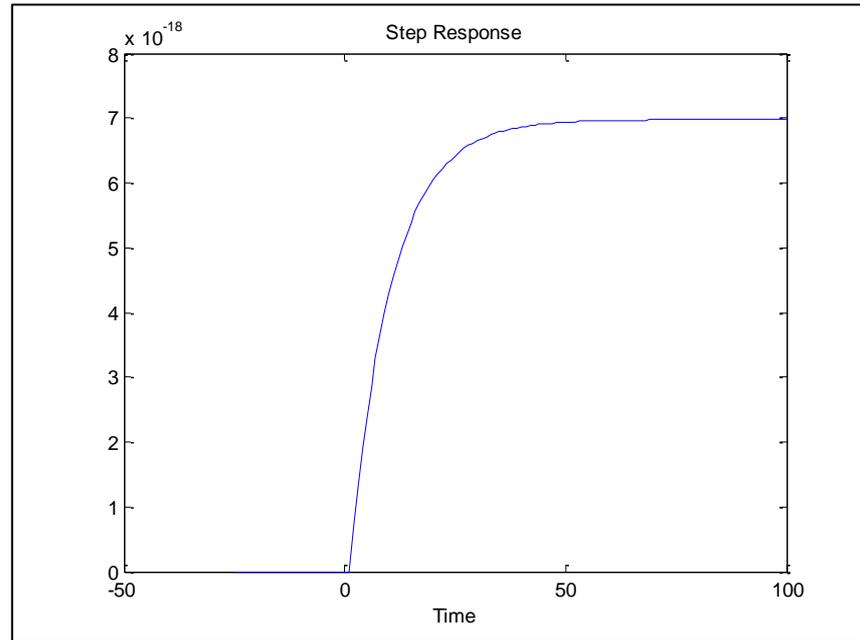


Fig. 4.54 Respuesta Paso Noviembre Modelo ARX112

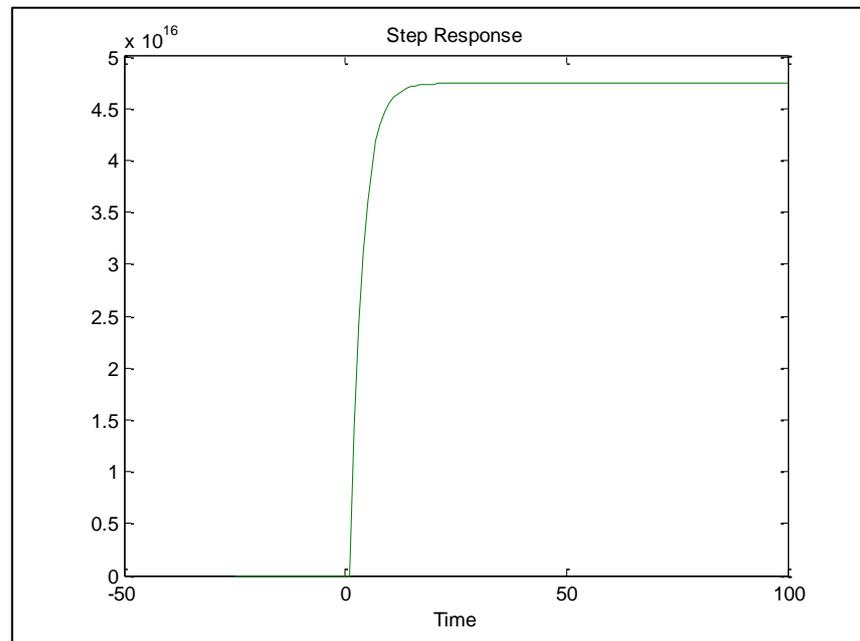


Fig. 4.55 Respuesta Paso Noviembre Modelo OE112

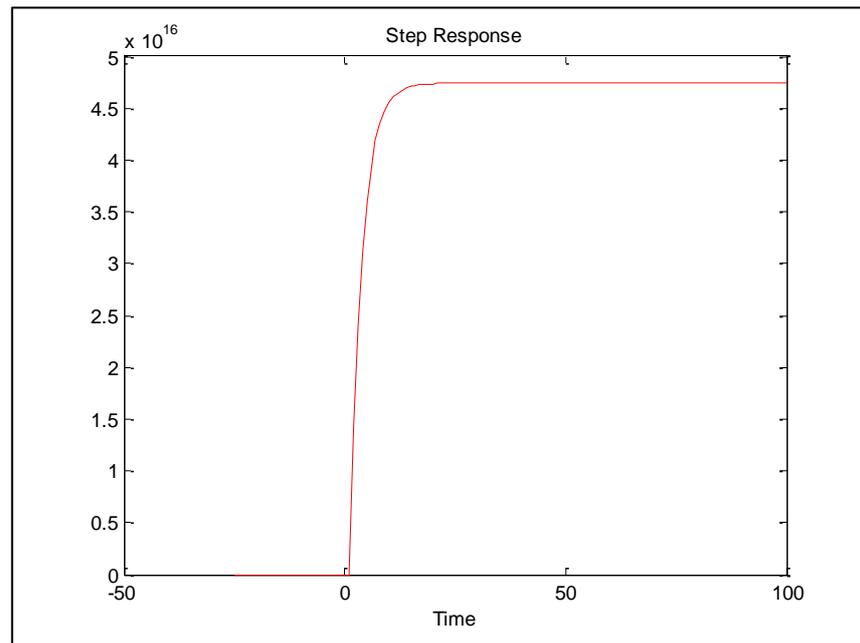


Fig. 4.56 Respuesta Paso Noviembre Modelo BJ10012

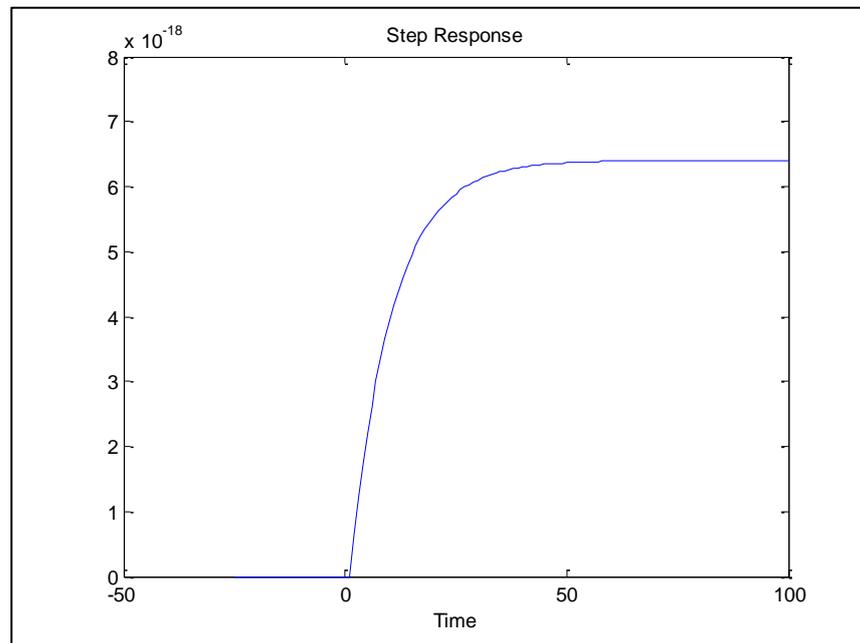


Fig. 4.57 Respuesta Paso Diciembre Modelo ARX112

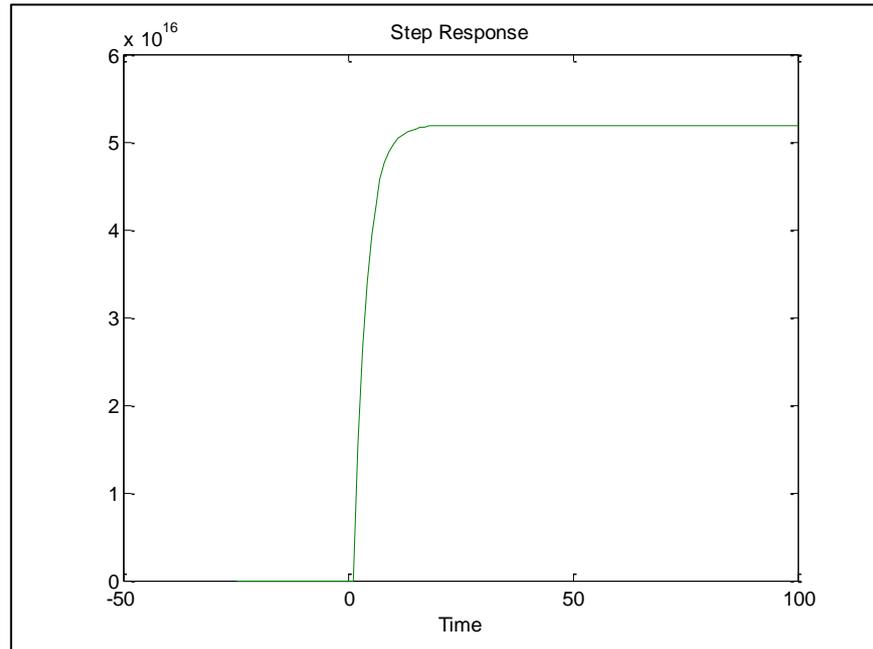


Fig. 4.58 Respuesta Paso Diciembre Modelo OE112

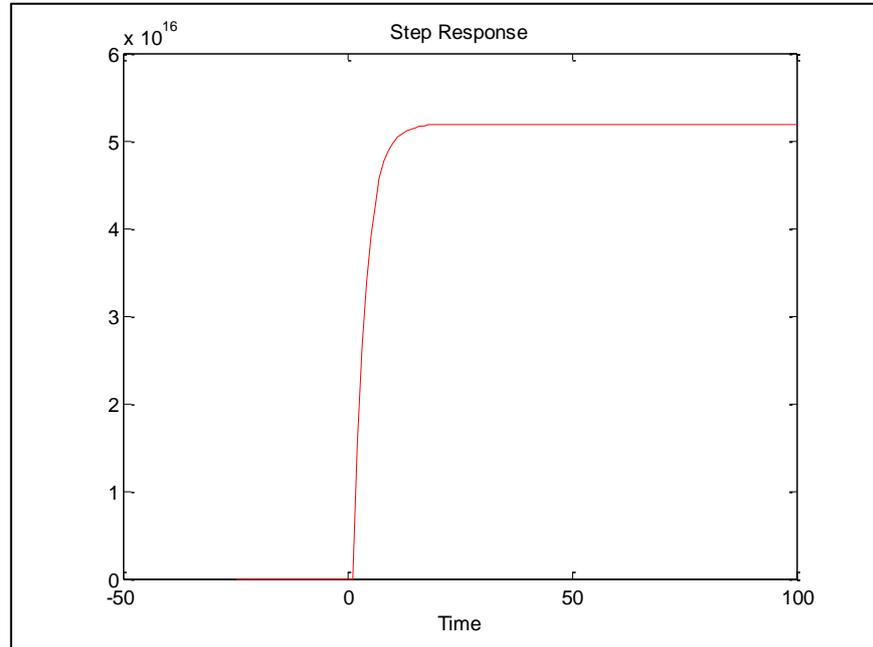


Fig. 4.59 Respuesta Paso Diciembre Modelo BJ10012

Luego de estas pruebas y ensayos, se procede a seleccionar los mejores modelos en base a las estructuras de identificación utilizadas para cada mes del año en lo que corresponde a energía.

Quedando resumida de la siguiente forma:

Enero:	Estructura OE112
Febrero:	Estructura ARX112
Marzo:	Estructura OE223
Abril:	Estructura ARX112
Mayo:	Estructura ARX112
Junio:	Estructura ARX112
Julio:	Estructura ARX112
Agosto:	Estructura ARX112
Septiembre:	Estructura ARX112
Octubre:	Estructura ARX112
Noviembre:	Estructura ARX112
Diciembre:	Estructura ARX112

Estos modelos deben ser validados con valores reales.

4.5 EVALUACIÓN DEL MODELO SELECCIONADO MEDIANTE CONTRASTE CON VALOR REAL

Una vez escogido los modelos con sus respectivas estructuras, se procede a evaluar cada modelo asumiendo que el pronóstico para el siguiente período será un escalón unitario.

Las tablas que se muestran a continuación, permite observar el pronóstico para los siguientes años en el periodo de estudio de plan de expansión de la empresa distribuidora seleccionada.

<i>Proyección De Energía 2011 - 2021 con Disgregación Mensual - TENDENCIA MEDIA</i>						
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
2009	353.678,03	323.813,04	375.383,23	368.051,25	370.575,57	347.296,15
2010	365.691,00	345.569,16	407.854,39	397.341,59	392.649,13	358.517,29
2011	385.059,05	363.490,58	428.566,42	417.495,32	412.493,01	375.969,22
2012	403.305,65	396.011,97	449.019,66	437.387,05	432.131,02	393.754,79
2013	424.998,30	401.222,18	473.087,09	460.867,82	455.351,39	415.082,16
2014	446.289,07	421.378,62	496.919,81	484.088,18	478.304,52	436.096,27
2015	468.464,01	442.397,14	521.799,83	508.331,29	502.273,31	458.082,20
2016	490.189,07	481.300,85	546.175,92	532.037,93	525.678,84	479.291,23
2017	515.447,73	487.011,41	574.701,85	559.885,70	553.259,49	504.997,83
2018	540.260,83	510.609,24	602.724,75	587.197,02	580.276,53	529.915,90
2019	565.955,36	535.067,80	631.795,87	615.531,07	608.309,49	555.792,99
2020	591.069,53	580.846,63	660.050,30	643.009,75	635.443,74	580.422,47
2021	619.988,36	586.567,08	693.079,73	675.267,40	667.422,97	610.449,20

Tabla 4.3 Valores Pronosticados mediante Identificación de 2011 hasta 2021 Enero – Junio en Mwh

Proyección De Energía 2011 - 2021 con Disgregación Mensual - TENDENCIA MEDIA						
Año	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2009	350.783,06	346.377,71	340.820,68	352.188,14	304.692,73	354.720,74
2010	357.199,44	349.769,65	347.938,47	360.444,82	337.584,11	373.082,59
2011	375.640,93	367.611,59	365.566,73	379.623,35	352.470,18	392.486,97
2012	393.409,85	384.973,27	382.824,70	397.623,40	369.063,90	411.110,31
2013	414.640,23	405.793,98	403.546,04	419.134,66	389.117,09	433.227,35
2014	435.483,17	426.224,44	423.881,25	440.402,69	408.779,56	454.983,95
2015	457.222,98	447.548,17	445.113,41	462.672,97	429.333,14	477.666,84
2016	478.389,31	468.233,62	465.677,83	484.352,44	449.113,21	499.849,31
2017	503.385,89	492.873,12	490.269,00	510.227,80	473.122,20	525.802,32
2018	527.810,31	516.874,86	514.192,34	535.514,94	496.355,74	551.257,22
2019	553.130,63	541.769,53	539.012,70	561.820,90	520.481,64	577.637,49
2020	577.633,13	565.730,16	562.841,85	587.148,48	543.426,94	603.308,84
2021	606.458,82	594.237,60	591.344,48	617.468,78	571.410,65	633.173,62

Tabla 4.4 Valores Pronosticados mediante Identificación de 2011 hasta 2021 Julio – Diciembre en Mwh

Para poder realizar el contraste con los valores reales tomados, se ha realizado un cuadro comparativo en porcentaje respecto al valor real de la energía en los tres años pronosticados.

Porcentaje de Variación Pronóstico en relación al Valor Real 2011 - 2013						
Año	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio
2011	-1,249%	-2,051%	0,438%	-0,457%	1,708%	-1,040%
2012	1,066%	0,247%	-0,489%	0,053%	-0,719%	0,990%
2013	-0,998%	0,441%	-0,238%	-0,922%	1,112%	-0,797%

Tabla 4.5 Contraste con valores reales Enero – Junio 2011 hasta 2013

Como se puede observar en la tabla anterior, se puede destacar que los modelos seleccionados se encuentran ajustados a los valores reales en un porcentaje menor al 2% de incremento o de decremento para el primer semestre de los años en comparación.

Porcentaje de Variación Pronóstico en relación al Valor Real 2011 - 2013						
Año	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
2011	-0,941%	-0,564%	-0,595%	-0,976%	2,038%	-0,129%
2012	0,972%	-1,000%	1,461%	1,916%	-0,384%	0,937%
2013	-0,996%	0,296%	-0,377%	7,614%	-0,124%	-3,851%

Tabla 4.6 Contraste con valores reales Julio – Diciembre 2011 hasta
2013

Como se puede observar en la tabla anterior, se puede destacar que los modelos seleccionados se encuentran ajustados a los valores reales en un porcentaje menor al 4% de incremento o de decremento para el segundo semestre de los años en comparación, con la excepción del mes de octubre 2013 en el cual hubo una variación del 7,614%.

CAPÍTULO 5

SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS CON LA METODOLOGÍA TRADICIONAL Y CON LA METODOLOGÍA PROPUESTA

5.1 INTRODUCCIÓN

En la presente sección se presenta el análisis de los resultados obtenidos en el capítulo anterior. En este sentido se pretende demostrar la mejor precisión de la metodología no tradicional frente a la

metodología tradicional utilizada por la mayoría de las empresas distribuidoras del País.

5.2 METODOLOGÍA TRADICIONAL

En capítulos anteriores se había descrito que estas metodologías se basaban en datos estadísticos y líneas de tendencia mediante las cuales se realizan predicciones o pronósticos de la energía eléctrica cuando se requieren realizar estudios de planes de expansión del sector eléctrico de cualquier empresa distribuidora.

Las tres metodologías conocidas como tradicionales; se las enmarcaban como la proyección menor, media y mayor, mismas que presentaban rangos de separación entre ellas del 5% entre la tendencia menor y mayor.

5.2.1 Proyección Global

Para analizar los resultados de la proyección global, se contrasta el resultado anual final de la proyección en mención con los valores reales de energía que ha tomado el sector de la empresa distribuidora seleccionada. La Tabla 5.1 muestra el porcentaje de desviación del valor pronosticado con respecto al valor real obtenido en los periodos en análisis del presente método.

Proyección Global Frente Real		
2011	2012	2013
6,30%	7,46%	7,47%

Tabla 5.1 Contraste con valores reales Proyección Global

Como se puede observar el comportamiento de la predicción global alrededor de los valores reales, tiene una variación de alrededor del 6,3% al 7,47%; que se encuentra dentro de un rango aceptable pero tiene menor confiabilidad al momento de realizar planes de expansión, los cuales están involucrados con el factor de inversión financiera para crecer el sistema eléctrico de distribución.

5.2.2 Proyección Sectorial

Para analizar los resultados de la proyección sectorial, se contrasta el resultado anual final de la proyección en mención con los valores reales de energía que ha tomado el sector de la empresa distribuidora seleccionada. La Tabla 5.2 muestra el porcentaje de desviación del valor pronosticado con respecto al valor real obtenido en los periodos en análisis del presente método.

Proyección Sectorial Frente Real		
2011	2012	2013
-2,72%	-4,72%	-7,73%

Tabla 5.2 Contraste con valores reales Proyección Sectorial

Como se puede observar el comportamiento de la predicción sectorial alrededor de los valores reales, tiene una variación de alrededor del -2,79% al -7,73%; que se encuentra dentro de un rango aceptable pero tiene menor confiabilidad al momento de realizar planes de expansión, los cuales están involucrados con el factor de inversión financiera para crecer el sistema eléctrico de distribución.

5.2.3 Proyección Econométrica

Para analizar los resultados de la proyección econométrica, se contrasta el resultado anual final de la proyección en mención con los valores reales de energía que ha tomado el sector de la empresa distribuidora seleccionada. La Tabla 5.3 muestra el porcentaje de desviación del valor pronosticado con respecto al valor real obtenido en los periodos en análisis del presente método.

Proyección Econométrica Frente Real		
2011	2012	2013
8,07%	7,33%	6,55%

Tabla 5.3 Contraste con valores reales Proyección Econométrica

Como se puede observar el comportamiento de la predicción sectorial alrededor de los valores reales, tiene una variación de alrededor del 6,55% al 8,07%; que se encuentra dentro de un rango

aceptable pero tiene menor confiabilidad al momento de realizar planes de expansión, los cuales están involucrados con el factor de inversión financiera para crecer el sistema eléctrico de distribución.

5.3 METODOLOGÍA NO TRADICIONAL

En capítulos anteriores se había descrito que estas metodologías se basaban en estructuras de modelos de identificación, los cuales han sido diseñados a través del programa MATLAB, para luego proceder a simularlos a través de una respuesta transitoria a una entrada tipo escalón unitario.

En general, en la sección del capítulo 4, se realizó el contraste con los valores reales de energía para los períodos indicados, dando un margen máximo de error superior al 2%, pero en su mayoría menor al 1%.

Por tal motivo, el análisis presente se basará en la relación de cada modelo o estructura de identificación con el mes al que se encuentra ligado luego de haber realizado el presente estudio.

5.3.1 Proyección ARX

Como se ha demostrado en el capítulo anterior, el modelo que mayoritariamente ha representado a los diferentes meses del año ha sido la estructura ARX.

Dejando como excepción los meses de enero y marzo, el resto de los meses tienen la presente estructura, teniendo una estabilidad, lo más rápidamente posible, así como nada de oscilaciones para llegar a su nuevo valor estacionario.

5.3.2 Proyección OE

Como se ha demostrado en el capítulo anterior, el modelo que también se encuentra presente en dos meses del año ha sido la estructura OE.

Como se evidenció, en los meses de enero y marzo, la estructura OE fue la que mejor representó la proyección de energía para luego proceder a pronosticar el resto de años.

Estos dos meses son significantes en el análisis, puesto que enero es el primer mes del año, lo que conlleva un cambio en el tipo de consumo. Por otra parte, el mes de marzo mezcla tanto el nivel de lluvia y temperatura así como el incremento debido a la presencia de personas en las residencias de la distribuidora seleccionada.

5.3.3 Proyección ARMAX

Como se ha demostrado en el capítulo anterior, el modelo que a pesar de tener mayor grados de libertad para encontrar un modelo que represente a la proyección, no se pudo estabilizar en un valor o

de pronto su valor de estabilización era sumamente grande, situación que en la vida real no sucede jamás.

En base a estas primicias, la estructura ARMAX queda descartada en los estudios de proyección de la energía eléctrica de empresas distribuidoras.

5.3.4 Proyección BJ

Como se ha demostrado en el capítulo anterior, el modelo que a pesar de tener mayor grados de libertad para encontrar un modelo que represente a la proyección, no se pudo estabilizar en un valor o de pronto su valor de estabilización era sumamente grande, situación que en la vida real no sucede jamás.

En base a estas primicias, la estructura BJ queda descartada en los estudios de proyección de la energía eléctrica de empresas distribuidoras.

CONCLUSIONES

1. La metodología propuesta, mediante estructuras no tradicionales, presenta una mejor precisión en la proyección de la energía eléctrica de la empresa distribuidora seleccionada. Esta precisión bordea el 2% de error respecto al valor real esperado.
2. Existe una relación en los modelos mensuales de la proyección de energía eléctrica de la empresa distribuidora, exceptuando los meses de enero y marzo, siendo la estructura ARX112 quien mejor representa el comportamiento de estos meses.

3. El mes de enero, es representado a través de la estructura OE112. Este mes en base al estudio, presenta un comportamiento contrario al resto de los meses puesto que el comportamiento de los consumidores varía luego de las festividades de navidad y fin de año.
4. El mes de marzo, es representado a través de la estructura OE223. Este mes en base al estudio, presenta un cambio en el comportamiento de los consumidores, puesto que empiezan a mezclarse temas como nivel de lluvia y nivel de temperatura.
5. El estudio mantiene su robustez en la precisión en al menos 3 años posterior a las pruebas realizadas; es decir a corto plazo su inherencia queda confirmada.
6. En los sistemas de distribución de energía eléctrica a nivel costa, en base al estudio presente, se evidencia una predominancia de afectación al comportamiento de los meses debido a cambios económicos y niveles de temperatura y lluvia.

RECOMENDACIONES

1. Cada empresa distribuidora debe fomentar la capacitación de sus profesionales en metodologías no tradicionales que pueden complementar estudios tradicionales para disminuir errores en las proyecciones.
2. Mantener una excelente base de datos para poder realizar los estudios no tradicionales en pos de mejorar procesos de planes de inversión y expansión de sistemas de distribución de energía eléctrica.

3. Ampliar este estudio a nivel de Sistemas de Generación hidráulica y térmicas, en forma tal que todo el sistema eléctrico de un País pueda optimizar recursos financieros mediante la mejora de la precisión de la proyección total.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cirstea, M. , Neural and Fuzzy Logic Control of Drives and Power Systems, Newnes, 2002

- [2] Mera, C; Galarza, L., Ahorro y Eficiencia de energía en el sector residencial de Guayaquil, Espol, 2012

- [3] Somoza, J., Modelos para la estimación y proyección de la demanda de electricidad en el sector residencial cubano, Instituto Nacional de Investigaciones Económicas (INIE), 2006

- [4] Vallejo, E., Identificación Paramétrica de Sistemas Dinámicos, Ingeniería & Desarrollo Universidad del Norte, 1997

- [5] Cheikhrouhou, N., A collaborative demand forecasting process with event-based fuzzy judgements, Computers & Industrial Engineering, 2011

- [6] Chambers, J., How to choose the right forecasting technique, Harvard Business Review, 1971

- [7] Kabak, O., A demand forecasting methodology for fuzzy environments, Journal of Universal Computer Science, 2010

[8] Sayed, H., A Hybrid Statistical Genetic-based Demand Forecasting Expert System, Expert Systems with Applications, 2009

[9] Iranmanesh, H, Mid-Term Energy Demand Forecasting by Hybrid Neuro-Fuzzy Models, Energies, 2012

[10] Yokoyama, R., Prediction of energy demands using neural network with model identification by global optimization, Energy Convers, 2009