

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL



**FACULTAD DE CIENCIAS NATURALES Y MATEMÁTICAS
DEPARTAMENTO DE MATEMÁTICAS**

PROYECTO DE GRADUACIÓN

PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE:

“MAGÍSTER EN SEGUROS Y RIESGO FINANCIERO “

TEMA

**“ANÁLISIS DE CORRELACIÓN ENTRE VARIABLES: COSTOS DE
MANTENIMIENTO Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE VS PRODUCCIÓN DE
ENERGÍA EN GWh – DE UNA UNIDAD DE NEGOCIO DEL SECTOR
ELÉCTRICO DEL ECUADOR”**

AUTOR

EC. NICOLÁS ALFREDO BAYONA BASURTO

Guayaquil - Ecuador

AÑO

2017

DEDICATORIA

Al Alfa y el Omega por ser la luz y la guía en el día a día, a mis amadas hijas Rafaela y Bianca por ser la razón de mi vida, a mi familia por estar siempre en los momentos justos y necesarios, a todos ellos se los dedico por ser la alegría de mi corazón.

Nicolás

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la bendición de levantarme con salud cada día,

A mis hijas por alegrarme con su sonrisa cada mañana,

A mi familia por su incondicional apoyo,

Al Instituto por las enseñanzas impartidas

Nicolás

DECLARACIÓN EXPRESA

La responsabilidad por los hechos y doctrinas expuestas en este Proyecto de Graduación, me corresponde exclusivamente; el patrimonio intelectual del mismo, corresponde exclusivamente a la **Facultad de Ciencias Naturales y Matemáticas, Departamento de Matemáticas** de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.



Ec. Nicolás Alfredo Bayona Basurto

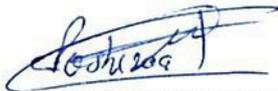
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN



Sandra García Bustos, P.hD.
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL



MBA. Pablo Antonio Soriano Idrovo
DIRECTOR DEL PROYECTO



María Nela Pastuizaca Fernández, P.hD
VOCAL DEL TRIBUNAL

AUTOR DEL PROYECTO

A handwritten signature in blue ink, consisting of stylized, overlapping loops and lines, positioned above a horizontal line.

Ec. Nicolás Alfredo Bayona Basurto

ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTO	ii
DECLARACIÓN EXPRESA.....	iii
TRIBUNAL DE GRADUACIÓN.....	iv
AUTOR DEL PROYECTO	v
ÍNDICE GENERAL.....	I
ÍNDICE DE TABLAS.....	II
ÍNDICE DE GRÁFICOS	III
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
ÍNDICE DE IMÁGENES	III
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	IV
RESUMEN	VII
ABSTRACT	VIII
OBJETIVO GENERAL	IX
OBJETIVOS ESPECÍFICOS	IX
INTRODUCCIÓN	X
CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA.....	1
1.2. ALCANCE.....	2
1.3. HIPÓTESIS	3
1.4. METODOLOGÍA.....	3
1.4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4.2. MARCO MUESTRAL.....	4
1.4.3. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	5
1.5. MARCO TEÓRICO	6
1.6. GENERACIÓN Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL ECUADOR	7
1.6.1. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA UNIDAD DE NEGOCIO.....	11
1.6.2. ENERGÍA BRUTA COMO VARIABLE DE ANÁLISIS.....	15
CAPÍTULO II COSTO DE MANTENIMIENTO Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LA UNIDAD DE NEGOCIO	18
2.1. ANTECEDENTES	18
2.2. FASES DE EVOLUCIÓN DEL SECTOR ELÉCTRICO EN EL ECUADOR.....	18
2.3. PRINCIPALES RESULTADOS POR INVERSIÓN EN SECTOR ELÉCTRICO.....	22
2.4. INVERSIÓN EN SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL	25
2.5. COMBUSTIBLE UTILIZADO EN GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A NIVEL PAÍS	28
2.6. COSTOS DE MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD DE NEGOCIO.....	31
2.7. CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LA UNIDAD DE NEGOCIO.....	33
CAPÍTULO III CÁLCULO ESTADÍSTICOS, VARIABLES DE ESTUDIO	36

3.1. INTRODUCCIÓN.....	36
3.2. REGRESIÓN LINEAL.....	37
3.2.1. REGRESIÓN LINEAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA BRUTA RESPECTO AL GASTO DE MANTENIMIENTO.....	37
3.2.2. REGRESIÓN LINEAL MEDIANTE HOJA DE CÁLCULO DE EXCEL	41
3.2.3. REGRESIÓN LINEAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA RESPECTO AL CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	48
3.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS REGRESIONES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y GASTOS DE MANTENIMIENTO	52
3.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS REGRESIONES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	53
CAPÍTULO IV REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE: CÁLCULO Y ANÁLISIS.....	55
4.1. INTRODUCCIÓN.....	55
4.2. REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE	55
4.3. REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE SIN CONSTANTE	59
4.4. RESUMEN DE REGRESIONES CALCULADAS	61
4.5. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN	64
4.6. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE VARIABLES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA BRUTA Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE.....	64
CONCLUSIONES	LXVI
RECOMENDACIONES	LXVIII
BIBLIOGRAFÍA.....	LXX
ANEXOS.....	LXXI

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1 - CONSUMO DE ELECTRICIDAD POR SECTORES EN GWH.....	7
TABLA 2 - CONSUMO DE ELECTRICIDAD POR SECTORES (ESTRUCTURA PORCENTUAL).....	8
TABLA 3 - CONSUMO DE ENERGÍA SECTOR PRODUCTIVO PIB REAL Y VARIACIONES	11
TABLA 4 - POTENCIA EFECTIVA, GENERACIÓN DE ENERGÍA VS DEMANDA DE ENERGÍA	14
TABLA 5 - ENERGÍA BRUTA VS POTENCIA EFECTIVA.....	15
TABLA 6 - PORCENTAJE DE GENERACIÓN POR TIPO	23
TABLA 7 - DATOS DE PROYECTO EMBLEMÁTICOS	24
TABLA 8 - INVERSIÓN EN EL SECTOR ELÉCTRICO EN MILLONES DE DOLARES	25
TABLA 9 - COMPARATIVO DE INVERSIÓN TOTAL Y PROMEDIO.....	26
TABLA 10 - SUBSECTORES AÑO 2015.....	26
TABLA 11 - COMPARATIVO POR PERIODOS	28
TABLA 12 - CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA (KBEP MILES DE BARRILES EQUIVALENTES A PETRÓLEO).....	28
TABLA 13 - PARTICIPACIÓN POR TIPO DE COMBUSTIBLE EN GENERAR ENERGÍA EN KBEP	29
TABLA 14 - COMPARATIVO DE CRECIMIENTOS PORCENTUALES EN PARTICIPACIÓN DE COMBUSTIBLES PARA GENERERAR ENERGÍA.....	30
TABLA 15 - GASTOS DE MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD DE NEGOCIO EN USD.....	32
TABLA 17 - GALONES CONSUMIDOS VS MWH GENERADOS	34
TABLA 18 - ENERGÍA BRUTA Y GASTOS MANTENIMIENTO.....	37
TABLA 19 - DATOS PARA CALCULAR COEFICIENTE β_0 Y β_1	40

TABLA 20 - RESUMEN ESTADÍSTICO REGRESIÓN EB Y GM CON CONSTANTE	46
TABLA 21 - RESUMEN ESTADÍSTICO REGRESIÓN EB Y GM SIN CONSTANTE	47
TABLA 22 - ENERGÍA BRUTA EN MWh (EB) & CONSUMOS COMBUSTIBLE FUEL OIL (CC).....	48
TABLA 23 - RESUMEN ESTADÍSTICO REGRESIÓN EB Y CC CON CONSTANTE.....	50
TABLA 24 - RESUMEN ESTADÍSTICO REGRESIÓN EB Y CC SIN CONSTANTE.....	52
TABLA 25 - DATOS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE.....	56
TABLA 26 - RESUMEN ESTADÍSTICO REGRESIÓN ENERGÍA BRUTA Y GASTOS DE MANTENIMIENTO, CONSUMO DE COMBUSTIBLE CON CONSTANTE.....	58
TABLA 27 - RESUMEN ESTADÍSTICO REGRESIÓN ENERGÍA BRUTA Y GASTOS DE MANTENIMIENTO, CONSUMO DE COMBUSTIBLE SIN CONSTANTE.....	60
TABLA 28 - RESUMEN DE COEFICIENTE DE CORRELACIÓN Y DETERMINACIÓN	65

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL CONSUMO DE ELECTRICIDAD ECUADOR EN GWh	8
GRÁFICO 2 - PORCENTAJE DE CONSUMO PROMEDIO DE ECUADOR ENTRE 2000 - 2012.....	9
GRÁFICO 3 - DISTRIBUCIÓN HISTÓRICA DEL CONSUMO DE ELECTRICIDAD	10
GRÁFICO 4 - EVOLUCIÓN DE ENERGÍA SECTOR PRODUCTIVO PIB REAL	11
GRÁFICO 5 - GENERACIÓN VS DEMANDA DE ENERGÍA.....	14
GRÁFICO 6 - PARTICIPACIÓN UNIDAD DE NEGOCIO VS TOTAL PAÍS.....	15
GRÁFICO 7 - SERIE HISTÓRICA ENERGÍA BRUTA POTENCIA EFECTIVA.....	16
GRÁFICO 8 - EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA	23
GRÁFICO 9 - EVOLUCIÓN HISTÓRICA INVERSIÓN SECTOR ELÉCTRICO	26
GRÁFICO 10 - PARTICIPACIÓN DE SUBSECTORES	27
GRÁFICO 11 - CONSUMO DE MILES DE BARRILES EQUIVALENTES A PETRÓLEO KBEP POR TIPO DE COMBUSTIBLE.....	29
GRÁFICO 12 - PARTICIPACIÓN EN CONSUMO DE COMBUSTIBLE	31
GRÁFICO 13 - EVOLUCIÓN DE GASTOS DE MANTENIMIENTO	32
TABLA 16 - CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE UNIDAD DE NEGOCIO EN MILLONES DE GALONES	33
GRÁFICO 14 - EVOLUCIÓN HISTÓRICA CONSUMO DE COMBUSTIBLE	33
GRÁFICO 15 - SERIE HISTÓRICA GALONES CONSUMIDOS VS MWh GENERADOS.....	34
GRÁFICO 16 - DISPERSIÓN ENERGÍA BRUTA Y GASTO DE MANTENIMIENTO	38
GRÁFICO 17 - DISPERSIÓN EB vs CC.....	49

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<i>ILUSTRACIÓN 1 – FASES DEL DESARROLLO DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO.....</i>	<i>21</i>
---	-----------

ÍNDICE DE IMÁGENES

<i>IMAGEN 1 - RANKING SEGURIDAD ENERGÉTICA MUNDIAL 2015.....</i>	<i>22</i>
<i>IMAGEN 2 - PASOS PARA REALIZAR UNA REGRESIÓN EN EXCEL.....</i>	<i>41</i>
<i>IMAGEN 3 - PASO 1 REGRESIÓN EN EXCEL</i>	<i>42</i>
<i>IMAGEN 4 - PASO 2 REGRESIÓN EN EXCEL</i>	<i>43</i>
<i>IMAGEN 5 - PASO 3 REGRESIÓN EN EXCEL</i>	<i>44</i>
<i>IMAGEN 6 - PASO 4 REGRESIÓN EN EXCEL</i>	<i>45</i>
<i>IMAGEN 7 - SELECCIÓN DE DATOS DE LA REGRESIÓN MÚLTIPLE.....</i>	<i>57</i>

GLOSARIO DE TÉRMINOS

ARCONEL: Agencia de Regulación y Control de Electricidad, ente regulador de los aspectos técnico-económicos y operativos de las actividades relacionadas con el servicio público de energía eléctrica y el servicio de alumbrado público general.

CENACE: Centro Nacional de Control de Energía, ente regulador y operador técnico del Sistema Nacional Interconectado (SNI)

FUERA DE LÍNEA: Término que se utiliza cuando el CENACE planifica que las empresas generadoras no entren a despacho de energía, ya sea por mantenimientos programados o porque la generación hídrica abastece la demanda nacional a un menor costo de generación.

FULL CARGA: se utiliza cuando las máquinas están a su máxima capacidad de generación.

MÍNIMA CARGA: se utiliza cuando las máquinas están en su mínima capacidad de generación.

kBEP: es una medida de comparación, y se utiliza para medir otras unidades energéticas y convertirlas a barriles equivalentes de petróleo.

MANTENIMIENTOS PREDICTIVOS: son las series de medidas que se toman y las técnicas utilizadas a fin de detectar posibles defectos de maquinaria y fallos en las etapas incipientes y así evitar que estos se manifiesten en un problema más grande durante su operatividad, evitando así que se originen paros de emergencia y tiempos inoperativos, causando pérdidas financieras.

MANTENIMIENTOS PREVENTIVOS: es el que se destina la conservación de instalaciones o equipos a través de la realización de revisiones y reparaciones las mismas que garanticen su fiabilidad y buen funcionamiento. Este tipo de mantenimiento es realizado en equipos estando en condiciones de funcionamiento.

MANTENIMIENTOS CORRECTIVOS: aquel que corrige los defectos observados en los equipamientos o instalaciones, es la forma más básica de

mantenimiento y consiste en localizar averías o defectos y corregirlos o repararlos.

MANTENIMIENTO PROGRAMADO: es el mantenimiento de equipos o instalaciones reportados por los Agentes al CENACE, para que este coordine y elabore el programa de mantenimiento global.

MANTENIMIENTO MAYOR: es el mantenimiento global que se ejecuta sobre un equipo o instalación del sistema con el objeto de recuperar la vida útil del mismo.

NAVAJA DE OCKHAM: también conocida como principio de parsimonia, se la interpreta como un conjunto de posibles explicaciones igualmente buenas, donde la más sencilla es la mejor.

POTENCIA EFECTICA: potencia máxima que se puede obtener de una unidad generadora.

POTENCIA NOMINAL: o de placa es la potencia especificada por los fabricantes de los equipos.

SNI: Sistema Nacional Interconectado del Ecuador

T DE STUDENT: se utiliza cuando se desconoce la desviación estándar poblacional y el número de observaciones en la muestra no es mayor a 30, esta distribución es tomada como estadístico de prueba para rechazar o no la hipótesis planteada.

10⁶: expresión usada para identificar millones.

MW (megavatio): es la unidad de medida de la potencia que puede generar una máquina, esta se utiliza para medir la potencia nominal o efectiva de generación de las centrales eléctricas.

GWh (gigavatio hora): es una medida de energía eléctrica equivalente a la que desarrolla una potencia suministrada de un gigavatio durante una hora y se utiliza generalmente para conocer el índice de generación de conglomerados industriales; cada GWh equivale a 1000 MWh

MWh (megavatio hora): es una medida de energía eléctrica equivalente a la que desarrolla la energía generada en un periodo de una hora, esta se utiliza para cuantificar la energía generada de las centrales eléctricas, es un indicador de generación; cada MWh equivale a 1000 KWh

KWh (kilovatio hora): es una medida de energía eléctrica equivalente a 0.001 MWh y se utiliza generalmente para la facturación del consumo eléctrico por ser una medida más pequeña que el GWh y MWh.

UNIDAD DE NEGOCIO: nombre que se le asigna a la empresa pública que tiene a cargo la administración, operación y mantenimiento de una o varias centrales de generación ya sean térmicas, hídricas o eólicas.

RESUMEN

El comportamiento de la producción termoeléctrica de las centrales de las unidades de generación está muy relacionada con los aportes hidrológicos de los embalses de las centrales Mazar, Paute y Coca Codo Sinclair. En la actualidad el sistema de generación eléctrico ecuatoriano es predominantemente hídrico, una disminución en los caudales incide en una mayor participación de las unidades térmicas y viceversa. Siendo este recurso tan importante para el sector productivo que depende en su totalidad de la generación de energía eléctrica, es necesario poder mantener la provisión de este recurso lo cual requiere de una planificación anual para garantizar su disponibilidad a más de aumentar la capacidad de generación de las unidades.

Bajo esta premisa se analizará únicamente el aporte de la energía termoeléctrica al SNI y la relación entre el costo de los mantenimientos, el consumo de combustible y la producción de energía de una Unidad de Negocio, la cual tiene capacidad instalada de 537 MW manteniendo una participación de alrededor del 30% respecto a la generación termoeléctrica y un 5% con respecto a la generación total de energía aportada al SNI.

Una vez concluido el análisis respectivo de todos los cálculos a realizarse, se podrá tomar decisiones gerenciales sobre la planificación de mantenimientos programados y no programados y el impacto que estos tienen, tanto en la generación de energía como en la vida útil de las plantas.

Por ser un sector estratégico se tiene especial cuidado con la disponibilidad de la planta por lo que los mantenimientos son cuidadosamente planificados y ejecutados, estos mantenimientos programados se los conoce también como mantenimientos mayores u overhaul.

Con la base de datos seleccionada se realizará la respectiva regresión lineal para constatar qué variable está estrechamente relacionada con la producción de energía, cómo afecta a la potencia efectiva y cuáles son los costos en los que se incurren. De esta manera también se determinará si es necesario continuar con el gasto en mantenimiento o en proyectos de inversión que aseguren la soberanía energética.

ABSTRACT

The performance of the thermoelectric production of the central of the Generation's Unit, is much related to the hydraulic contributors of the Mazar's and Paute's central reservoirs for the hydraulic production. Due to the fact, that Ecuador is mainly based on a hydroelectric energy, a decrease in the water level will cause a major increase in the work performed by the thermo (electrical) units and vice versa. Since this resource is so vital to the productive sector which totally depends on the electrical energy, the provision of this resource should be maintained and would require an annual planning to guarantee the availability of the electrical energy production and also the increase of the capacity of production.

In this section, we will only analyze the contribution of the thermoelectric energy of the *(SNI) National Interconnected System* and the relation between the cost of the maintenance, the consumption of fuel and the production of energy of the Business Unit. This Unit has a capacity to generate 537 MW to keep a participation of around 30% of the thermoelectric production, and a 5% of the total energy production of the SNI.

When the respective analysis of all estimates is done, then it will be possible to take management decisions over the planning of the programmed and non-programmed maintenance. Furthermore, it will show you their impact on the energy production as well as on the production life of the company.

Since, it is a strategic sector, we need to have a special care with the availability of the plant, so all the maintenances are carefully planned and executed. These planned maintenances are also known as major maintenances or overhaul.

With all the selected data, it will be possible to carry out the correspondent lineal regression to verify which variable is tightly related to the energy production, how it affects the effective power and what will be the costs. This information will help to decide which is the best option: either to continue with the expenses for the maintenances or to invest on projects of investments to assure the energy sovereignty.

OBJETIVO GENERAL

Determinar la dependencia de la producción de energía termoeléctrica con respecto a los costos de mantenimiento y el consumo de combustible, para tomar decisiones que permitan optimizar los recursos económicos.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Objetivo Especifico # 1.- Analizar la generación efectiva de energía termoeléctrica de la Unidad de Negocio.

Objetivo Especifico # 2.- Determinar los costos de mantenimiento y consumo de combustible de todas las centrales de la Unidad de Negocio.

Objetivo Especifico # 3.- Analizar la correlación a través de regresión lineal de las variables estudiadas.

INTRODUCCIÓN

Bajo esta premisa *“El Estado será responsable de la provisión de los servicios públicos, de agua potable y de riego, saneamiento y de energía eléctrica, telecomunicaciones, vialidad, infraestructuras portuarias y aeroportuarias y los demás que determine la ley.”* según el Art. 314 de la Constitución de la Republica (Asamblea Constituyente, 2008), por esta responsabilidad y de acuerdo al Art. 315 donde señala que *“El Estado constituirá empresas públicas para la gestión de sectores estratégicos, los excedentes podrán destinarse a la inversión y reinversión en las mismas empresas o su subsidiarias, relacionadas o asociadas, de carácter público, en niveles que garanticen su desarrollo. Los excedentes que no fueran invertidos o reinvertidos pasaran a formar parte al Presupuesto General del Estado”.* (Asamblea Constituyente, 2008).

El objetivo general es sostener el sistema económico del país alineándose con el cuarto objetivo del Plan Nacional del Buen Vivir específicamente con el numeral 4.3 *“Diversificar la matriz energética nacional, promoviendo la eficiencia y una mayor participación de energías renovables sostenibles”*; y 4.4 *“Incrementar la oferta de energía eléctrica para abastecer la demanda y ampliar la cobertura, mejorando la reserva y cambiando la estructura de la matriz energética”.* (Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo, 2013).

Con todos estos antecedentes mediante decreto 870, con- Registro Oficial 534 de 14 de septiembre de 2011, el Estado creó el Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos encargado de dirigir y direccionar tanto las políticas como las acciones de las instituciones que lo conforman:

- Ministerio del Ambiente
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER)
- Ministerio de Recursos Naturales No Renovables
- Ministerio de Telecomunicaciones y Sociedad de la Información
- Secretaria Nacional del Agua
- Ecuador Estratégico EP

Para efectos de este estudio se va a analizar al Ministerio de Electricidad y Energía Renovable (MEER) que es el organismo rector del sector eléctrico, este ministerio debe responder a los principios de obligatoriedad, generalidad, uniformidad, eficiencia, responsabilidad, universalidad, accesibilidad, regularidad, continuidad y calidad, estableciendo mecanismos de eficiencia energética, participación social y protección del ambiente, gestionado por sus recursos humanos especializados y de alto desempeño, para garantizar la provisión de energía eléctrica en el país. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2007).

A su vez está encargado de regular todas las entidades que están relacionados con el sistema energético del país, esta responsabilidad también se la traspasa a la Agencia de Regulación y Control de Electricidad (ARCONEL); al Centro Nacional de Control de Energía Eléctrica (CENACE); Instituto Nacional de Eficiencia Energética y Energías Renovables(INER).

CAPÍTULO I DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Este trabajo de titulación tiene como objetivo determinar cuán dependiente es la producción de energía termoeléctrica con respecto a los costos de mantenimiento y el consumo de combustible. La determinación de la variable con mayor correlación permitirá tomar decisiones que optimizaran los recursos.

Para esto se estudiará la Unidad de Negocio que tiene la capacidad instalada 537 MW siendo así la empresa termoeléctrica más grande el país (Corporación Eléctrica del Ecuador, 2015). Esta Unidad de Negocio está regulada por el Centro Nacional de Control de Energía (Corporación Centro Nacional de Control de Energía, 2012) que se encarga de determinar los rangos que se debe cumplir en disponibilidad, fiabilidad y potencia. Posee centrales de generación térmica que han estado en funcionamiento por más de 35 años, por lo cual es necesario invertir en mantener estas centrales en funcionamiento las veinte y cuatro horas del día para cumplir con la demanda de energía. Por este motivo se considera importante evaluar el aspecto económico de los mantenimientos de las unidades de generación versus los megavatios producidos, con esto se busca garantizar que se cumpla con los siguientes parámetros (Lucía, 1990).

- ✓ Optimización de la disponibilidad del equipo productivo de las centrales de generación
- ✓ Disminución de los costos de mantenimientos
- ✓ Optimización de los recursos humanos
- ✓ Maximización de la vida útil de las maquinas

El comportamiento de la generación de las centrales de la Unidad de Negocio en análisis, está relacionado con los aportes hidrológicos de los embalses de las centrales Mazar y Paute. Siendo el sistema predominantemente hídrico, dado que una disminución en los caudales de los ríos, conocido como estiaje, incide en una mayor participación de las unidades térmicas.

La disminución o aumento en la producción termoeléctrica de un año a otro se debe principalmente a las condiciones hidrológicas favorables presentadas en los embalses de las centrales antes mencionadas, en momentos de estiajes que habitualmente se dan los últimos meses del año donde consecuentemente hay una mayor demanda de energía debido a un incremento en la demanda de bienes y servicios cuya relación es directa con la producción y por lo tanto una mayor participación de la generación termoeléctrica por lo que se necesita su máxima disponibilidad, fiabilidad y potencia, para esto se requiere constantes mantenimientos predictivos, preventivos, y correctivos. (Lucía, 1990)

Es importante resaltar que la demanda de energía se ha incrementado a lo largo de los años en un promedio de 5% anual (Agencia de Regulación y Control de Electricidad, 2012), por lo que es importante precautelar la generación de energía eléctrica y poder satisfacer las necesidades de este recurso, para cubrir esta demanda de energía se necesita de la generación hídrica, térmica y no convencional.

1.2. ALCANCE

En este trabajo se busca establecer la correlación que existe entre los gastos de mantenimiento, el consumo de combustible y la generación de energía de la Unidad de Negocio objeto de estudio.

La generación de energía se convertirá de GWh a MWh, esto con el fin de analizar una medida no tan pequeña.

Los datos corresponden a valores devengados desde el 01 de enero 2004 al 31 de diciembre del 2015, para lo cual se tomarán la suma total de cada año.

Cabe recalcar que para poder llegar a este paso de cálculo de correlación, se realizara pruebas estadísticas previas tales como regresiones lineales y múltiples con los cuales obtendremos coeficientes β , estos coeficientes también serán sometidos a pruebas estadísticas de significancia.

Se utilizara la prueba *t de student*, para poder establecer si son aceptados o rechazados los coeficientes calculados con esta prueba estadística, lo que indicara si estas variables tienen relaciones directas y no solas espurias.

Una vez realizado esto se procederá a calcular el coeficiente de correlación, sabiendo que estas variables si están relacionas, para así determinar el grado o nivel de correlación de las variables, tema de nuestro estudio.

1.3. HIPÓTESIS

La empresa posee unos índices medios de disponibilidad en la producción de energía, por lo que el análisis de estas variables conllevará a obtener el coeficiente de correlación de los costos de mantenimiento y consumo de combustible con respecto a la generación de energía, para así poder medir el impacto de estos rubros y poder mejorar el desempeño de la Unidad de Negocio.

$$H_0: \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = 0$$

$$H_1: \beta_0 \neq \beta_1 \neq \beta_2 \neq 0$$

Variables Independientes: Costos de mantenimiento incurridos en la Unidad de Negocio y consumo de combustible.

Variable Dependiente: Generación de energía eléctrica la misma que será medida mediante la energía bruta en MWh.

1.4. METODOLOGÍA

La metodología a aplicarse en el presente trabajo de titulación se realizará mediante un enfoque de tipo cuantitativo y cualitativo. Para el enfoque cuantitativo se necesitará realizar una recopilación de datos de la información existente en la base de datos de la Unidad de Negocio a ser analizada de los costos de mantenimiento y consumos de combustible. Mientras que el enfoque cualitativo permitirá determinar los aspectos socioeconómicos que se consideran para el mejoramiento de las condiciones de vida de la ciudadanía

que utiliza energía eléctrica y del beneficio en el sector productivo por el servicio que presta la Unidad de Negocio.

Con la información recopilada se realizará las pruebas estadísticas para determinar el grado de correlación de las variables de consumo de combustible y costos de mantenimiento con respecto a la generación bruta de energía para determinar cuál es más significativa y representativa.

1.4.1. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El desarrollo del siguiente trabajo de titulación está relacionado con la recopilación de información de la base de datos de la Unidad de Negocio, ya que es necesario analizar las variables para establecer la hipótesis de la investigación, sabiendo estos datos podemos realizar una regresión lineal múltiple y así determinar cuáles son los coeficientes según la ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

Y así establecer estos coeficientes β_0 , β_1 y β_2 . Con este formula identificaremos la propensión marginal de los gastos de mantenimiento y consumo de combustible con respecto a la generación de energía. Es decir, nos daría que por cada unidad adicional de consumo de combustible o gasto de mantenimiento se generará una unidad adicional de β_1 y/o β_2 de energía eléctrica según sea el coeficiente.

Para después poder calcular el coeficiente de correlación de las variables analizadas y así poder determinar qué tan relacionadas están estas variables, para lo cual se utilizará la prueba de significancia que permitirá aceptar o rechazar la hipótesis planteada.

1.4.2. MARCO MUESTRAL

Para poder calcular estos indicadores utilizaremos la muestra recopilada de la Unidad de Negocio objeto de nuestro estudio la misma; que son las siguientes:

- Energía bruta MWh. *(se transformara los GWh a MWh multiplicando por 1000 cada GWh para obtener un resultado que se pueda analizar y explicar de manera más didáctica)*
- Gastos de mantenimiento en dólares corrientes de los Estados Unidos de América
- Consumo de Combustible en galones

Todos estos datos son obtenidos de la Unidad de Negocio y comprende el periodo desde enero de 2004 hasta diciembre de 2015.

Al contar con la información de la serie de datos completa determinada en el periodo de tiempo analizado, podemos decir que no se incluye en las métodos probabilísticos o no probabilísticos, debido a que este tipo de muestra la podemos catalogar como estadística inferencial, que una de las características es la toma de la muestra que permitirá obtener conclusiones estadísticamente significativas o válidas y que este tipo de análisis será realizado posteriormente al someter a pruebas de significancia todas las regresiones . (Brenes, 2012).

1.4.3. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

Según la estadística la correlación se puede definir como la dirección o la fuerza de una relación lineal y su proporcionalidad entre las variables analizadas, se comparan únicamente dos variables, y se considera que están correlacionadas cuando sistemáticamente los valores de una de ellas varían de manera homónima con los valores de la otra.

En cuanto a coeficiente se refiere, existen diversas fórmulas que se adaptan según la naturaleza de los datos, siendo el mayormente utilizado el Coeficiente de Correlación de Pearson que es el resultado de la covarianza de las dos variables divididas por la multiplicación de sus desviaciones estándares, este es el que utilizaremos en nuestro estudio y su fórmula es:

$$\rho(X, Y) = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

Dónde:

- σ_{xy} es la covarianza de (X, Y)
- σ_x es la desviación típica de la variable X
- σ_y es la desviación típica de la variable Y

1.5. MARCO TEÓRICO

La energía eléctrica sea cual fuere su fuente, se encuentra directamente relacionada con el desarrollo económico y productivo de los pueblos, debido a que no existe industria en el mundo que funcione sin este recurso, y hasta la fecha no se ha creado un medio alternativo al uso de energía eléctrica, bajo esta premisa el Ecuador posee diversas fuentes de esta energía:

- Energía Termoeléctrica
- Energía Hidroeléctrica
- Energía Eólica
- Energía Fotovoltaica (la utilizan las familias mediante paneles solares)
- Se encuentra en estudio la Biomasa Geotérmica

La importancia de este recurso en la industria ecuatoriana, así como el bienestar de la familia y la sociedad, es inconmensurable por ende es un recurso del cual el Estado se reserva el derecho de administración, al encontrarse dentro de los sectores estratégicos según lo establecido por el artículo 313 de la Constitución Política del Ecuador, además de ser el responsable de la provisión de los servicios públicos entre los cuales se encuentra la energía eléctrica tal como indica el artículo 314 de la misma Constitución (Asamblea Constituyente, 2008)

Analizando el porcentaje de consumo del sector productivo y de las familias en el Ecuador se puede determinar cuál es la importancia de este recurso en la generación productiva del país; para lo cual también incluiremos el PIB en el análisis como una variable solo de observación y no análisis propio del presente trabajo, siendo esta variable la que permitirá identificar el aporte y relevancia de la variable dependiente, generación de energía, para que así podamos determinar la correlación de nuestras variables independientes,

consumo de combustible y gasto de mantenimiento, influyendo indirectamente en el PIB a través de la variable que afecta directamente.

1.6. GENERACIÓN Y CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL ECUADOR

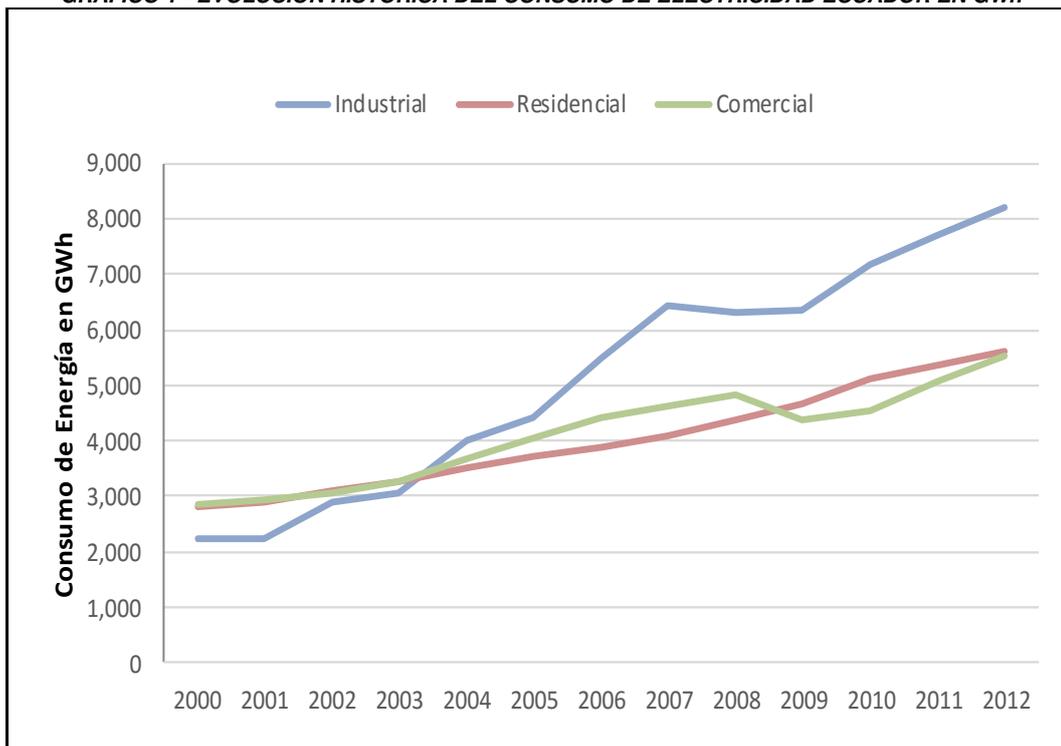
La generación de energía en el Ecuador se da en su mayor parte por la generación hidráulica siendo esta en un 53%, seguida por la generación térmica en un 45% al año 2012 y además de importar un 1% a Colombia de lo que se generó y lo cual corresponde 23 MWh (Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos, 2013).

TABLA 1 - CONSUMO DE ELECTRICIDAD POR SECTORES EN GWh				
Año	Industrial	Residencial	Comercial	Consumo Total
2000	2.228	2.803	2.873	7.904
2001	2.230	2.916	2.945	8.091
2002	2.887	3.098	3.044	9.029
2003	3.065	3.270	3.282	9.617
2004	4.015	3.516	3.676	11.207
2005	4.415	3.702	4.046	12.163
2006	5.509	3.896	4.398	13.803
2007	6.427	4.095	4.606	15.128
2008	6.303	4.385	4.840	15.528
2009	6.378	4.672	4.388	15.438
2010	7.173	5.114	4.536	16.823
2011	7.734	5.351	5.090	18.175
2012	8.230	5.624	5.523	19.377

Fuente: ARCONEL Balance de Energía Eléctrica 2013

Elaboración: Propia

GRÁFICO 1 - EVOLUCIÓN HISTÓRICA DEL CONSUMO DE ELECTRICIDAD ECUADOR EN GWh



Fuente: ARCONEL Balance de Energía Eléctrica 2013

Elaboración: Propia

En el gráfico 1 se observa una tendencia creciente en todos los sectores, siendo más representativo el sector industrial, lo que da a notar la importancia de este recurso para el desarrollo de la producción.

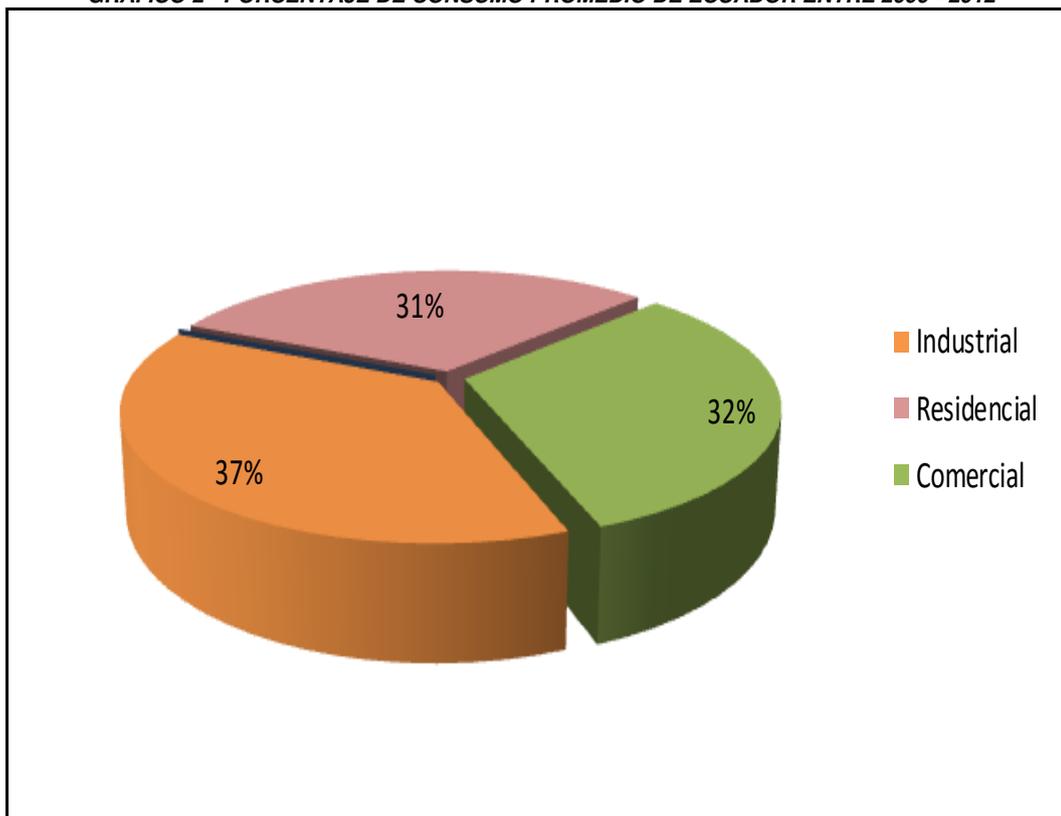
TABLA 2 - CONSUMO DE ELECTRICIDAD POR SECTORES (ESTRUCTURA PORCENTUAL)

Año	Industrial	Residencial	Comercial	Consumo Total
2000	28%	35%	36%	100%
2001	28%	36%	36%	100%
2002	32%	34%	34%	100%
2003	32%	34%	34%	100%
2004	36%	31%	33%	100%
2005	36%	30%	33%	100%
2006	40%	28%	32%	100%
2007	42%	27%	30%	100%
2008	41%	28%	31%	100%
2009	41%	30%	28%	100%
2010	43%	30%	27%	100%
2011	43%	29%	28%	100%
2012	42%	29%	29%	100%

Fuente: ARCONEL Balance de Energía Eléctrica 2013

Elaboración: Propia

GRÁFICO 2 - PORCENTAJE DE CONSUMO PROMEDIO DE ECUADOR ENTRE 2000 - 2012



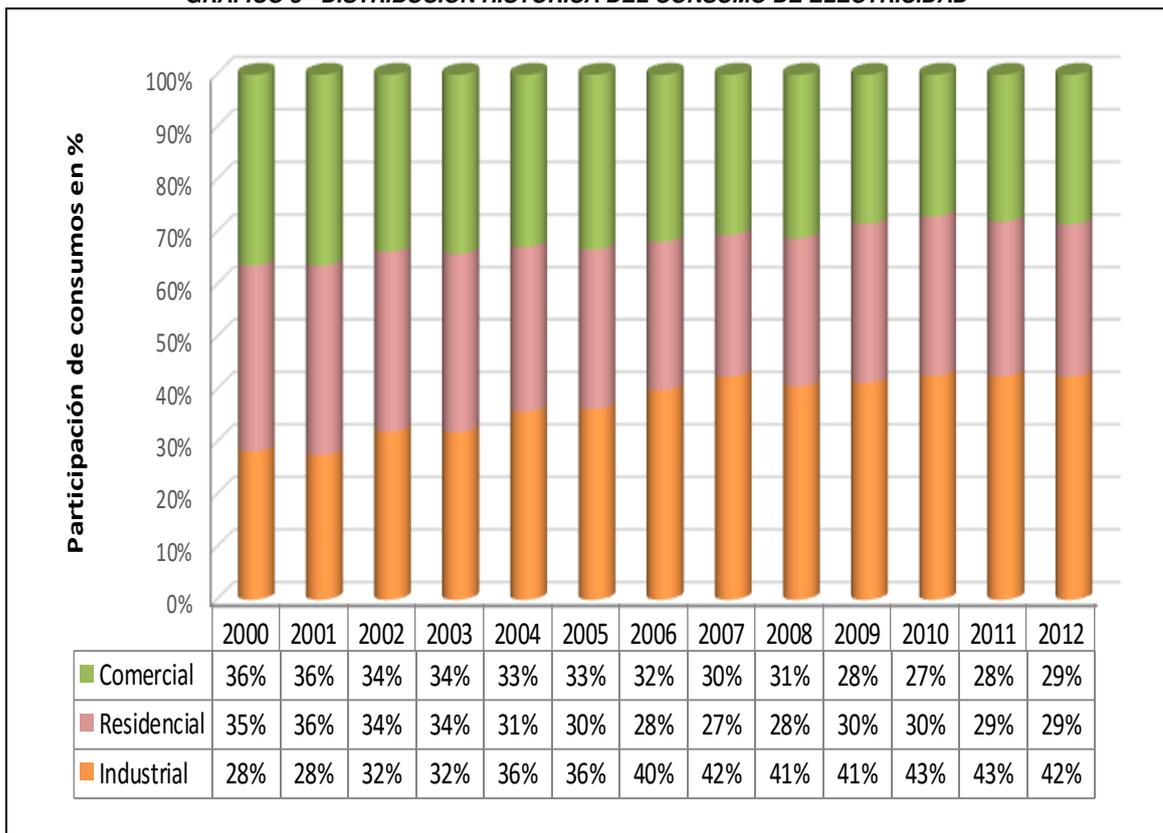
Fuente: ARCONEL Balance de Energía Eléctrica 2013

Elaboración: Propia

Entre el año 2000-2012 de la totalidad de energía producida, cerca del 31% fue consumida en el sector residencial, quedando así un total del 69% en el sector productivo, que corresponde a la suma del sector industrial con un 37% y el sector comercial con 32% de esta manera se demuestra la importancia de la generación de energía en el desarrollo económico del país.

Como se puede apreciar en las tablas 1 y 2 que el sector residencial tiene un consumo bajo o no tan significativo en comparación con el sector productivo. Incluso se nota una disminución con respecto al año 2000, lo que significa que el sector industrial es el mayor consumidor de este recurso. Sin embargo, no quiere decir que los hogares hayan sustituido este recurso ya que pocos son los que tienen accesos a la energía fotovoltaica por los altos costos que conllevan adquirir estos paneles solares donde en promedio una familia de cinco personas consumen alrededor de 200 kWh, esta disminución se debe a que existe una mayor oferta y demanda de energía en comparación con los años anteriores.

GRÁFICO 3 - DISTRIBUCIÓN HISTÓRICA DEL CONSUMO DE ELECTRICIDAD



Fuente: ARCONEL Balance de Energía Eléctrica 2013

Elaboración: Propia

A continuación se en la tabla 3, excluyendo el año 2009 se puede observar que ha existido un mayor consumo de energía lo que a su vez se traslada a un incremento en el PIB, por lo que se puede deducir una relación directamente proporcional, esto debido a un incremento en la producción y se lo analiza de manera rápida en los componentes del producto interno bruto:

$$\text{PIB} = Y + C + \text{GG} + X - M$$

Dónde:

Y= Ingreso

C= Consumo de los hogares

GG= Gasto del Gobierno

X= Exportaciones

M= Importaciones

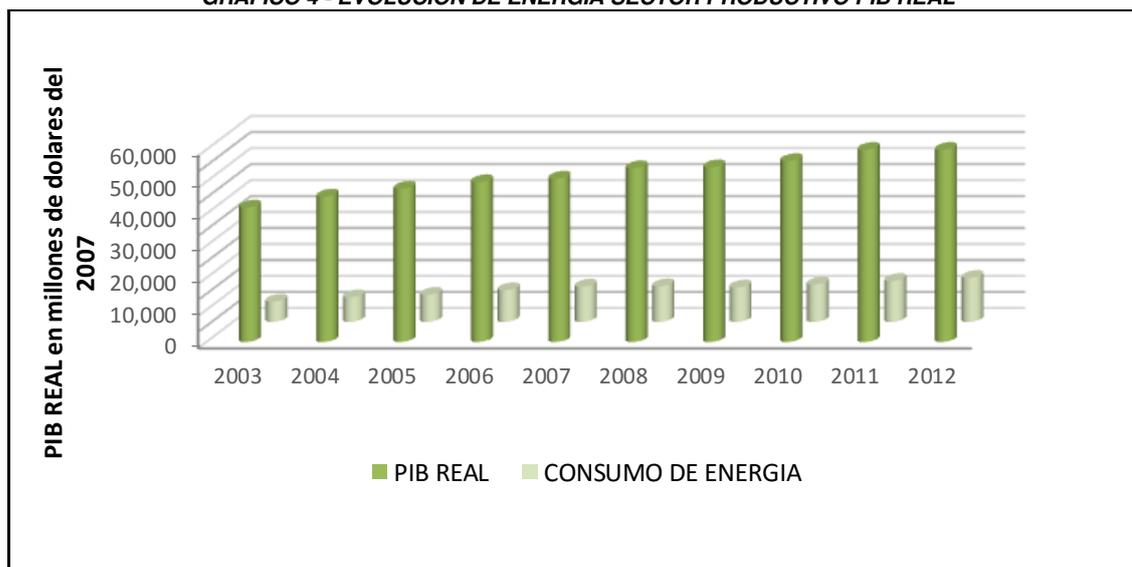
TABLA 3 - CONSUMO DE ENERGÍA SECTOR PRODUCTIVO PIB REAL Y VARIACIONES

AÑO	PIB REAL EN MILLONES DOLARES VALORS CONSTANTES DEL 2007	VARIACIÓN PIB	CONSUMO ENERGÍA DEL SECTOR PRODUCTIVO EN GWh	VARIACIÓN EN CONSUMO DE ENERGÍA
2003	41,961	-	6,347	-
2004	45,407	8%	7,691	21%
2005	47,809	5%	8,461	10%
2006	49,915	4%	9,907	17%
2007	51,008	2%	11,033	11%
2008	54,250	6%	11,143	1%
2009	54,558	1%	10,766	-3%
2010	56,481	4%	11,709	9%
2011	60,925	8%	12,824	10%
2012	64,362	6%	13,753	7%

Fuente: ARCONEL Balance de Energía Eléctrica 2013

Elaboración: Propia

GRÁFICO 4 - EVOLUCIÓN DE ENERGÍA SECTOR PRODUCTIVO PIB REAL



Fuente: Banco Central del Ecuador & ARCONEL Balance de Energía Eléctrica 2013

Elaboración: Propia

1.6.1. GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA DE LA UNIDAD DE NEGOCIO

En el Ecuador la generación de energía eléctrica es responsabilidad del estado ecuatoriano estipulado en la Constitución Montecristi el año 2008 (Asamblea Constituyente, 2008), esto como ya se ha explicado es primordial para la economía del país, razón por la cual se ha puesto en marcha algunos

proyectos para mantener la sostenibilidad del país y disminuir la dependencia de la importación de energía como se ha venido dando desde el año 2001.

Por principios de confidencialidad la Unidad de Negocio se le dará el nombre de Termogeneradora la misma que está inscrita en el Registro Mercantil de Guayaquil con fecha de 29 de enero de 1999, ante el Ab, Héctor Alcívar, se constituye la compañía de Termogeneradora S.A. (Corporación Eléctrica del Ecuador, 2015).

En el año 2009, en cumplimiento con el mandato constituyente número 15 se da cumplimiento a la transitoria tercera que se encuentra publicado en el Registro Oficial suplemento 393 del 31 de julio de 2008, mediante la escritura que fue otorgada en la Notaria 17 de Quito se fusiona la Compañía Generadora Termoeléctrica Guayas Termogeneradora con las compañías eléctricas propiedad del Fondo de Solidaridad (Corporación Eléctrica del Ecuador, 2015)

Una vez constituida la empresa puede funcionar como una entidad sana y describir su plan de acción en función con los lineamiento de los objetivos del plan del buen vivir para lo cual Termogeneradora tiene como visión hasta el año 2018, *“Garantizar la soberanía eléctrica siendo la empresa pública líder y así impulsar el desarrollo del Ecuador y como su principal misión asegurar la provisión de energía eléctrica a todo el país cumpliendo estándares de eficiencia y calidad para lo cual cuenta con el aporte de un talento humano competente y comprometido que actúa con responsabilidad en el medio ambiente y la comunidad y así generar bienestar y desarrollo nacional ”.*

Siendo sus principales valores:

- Integridad
- Compromiso
- Innovación
- Trabajo en Equipo
- Disciplina
- Responsabilidad Social
- Lealtad

Con respecto a la operatividad la Unidad de Negocio cuenta con el Plan Operativo Anual (Corporación Eléctrica del Ecuador, 2015) en el que se alinea con cuatro objetivos corporativos de la Unidad de Negocio:

- Maximizar la disponibilidad y confiabilidad del sistema eléctrico nacional bajo estándares de calidad y eficiencia
- Desarrollar el talento humano.
- Consolidar la gestión organizacional, y
- Modernizar la plataforma tecnológica.

La compañía de generación Termogeneradora está compuesta por cinco principales centrales que son:

1. **Central Tres Bocas.** - Se encuentra ubicada en la ciudad de Guayaquil en la parroquia Tarqui, esta central abarca un área aproximada de 2 hectáreas, cuenta con tres unidades de generación térmicas, dos de las cuales son a vapor con capacidad de 73 MW cada una y con una turbina de gas de 26 MW por tanto esta central cuenta con una capacidad para generación eléctrica total de 172 MW.
2. **Central Estero las Ranas.**- 133 MW
3. **Central Reclusorio Mayor.**- 102 MW
4. **Central Lamar I.**- 90.1 MW
5. **Central Lamar II.**- 40 MW

Con estas centrales la potencia nominal totaliza 537 MW es una de las empresas más importante en la generación de energía eléctrica y la más grande de las térmicas.

Tal es así que entre el año 2000-2006 la generación de energía por parte de la Unidad de Negocio cubría alrededor del 16% de la demanda nacional, desde el año 2007 en adelante la cantidad es igualmente significativa, pero dando un mayor énfasis a la generación hídrica, la cual cubre más del 60% de la demanda nacional.

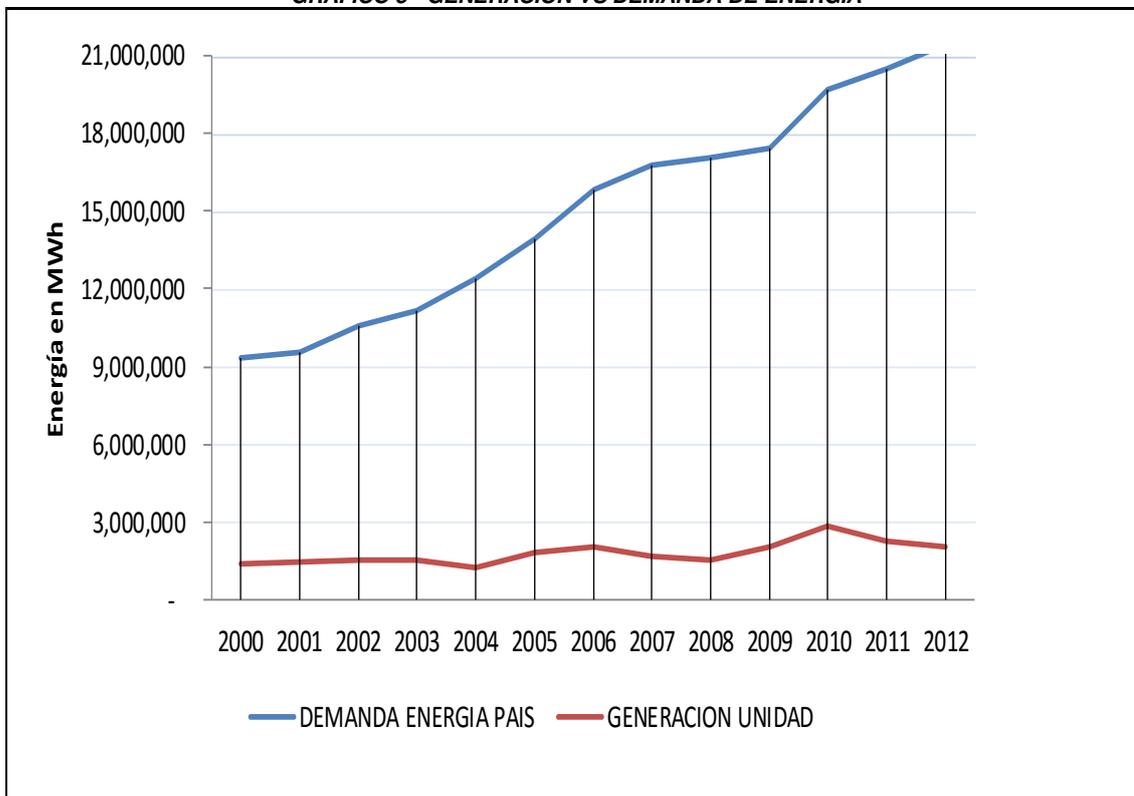
TABLA 4 - POTENCIA EFECTIVA, GENERACIÓN DE ENERGÍA VS DEMANDA DE ENERGÍA

AÑO	POTENCIA EFECTIVA MW	GENERACIÓN ENERGÍA DE LA UNIDAD NEGOCIO EN MWh	DEMANDA DE ENERGÍA DEL PAÍS EN MWh	GENERACIÓN VS DEMANDA
2000	393	1,404,520	7,904,000	18%
2001	393	1,482,549	8,091,000	18%
2002	393	1,560,578	9,029,000	17%
2003	393	1,519,448	9,617,000	16%
2004	393	1,212,908	11,207,000	11%
2005	393	1,801,401	12,163,000	15%
2006	393	2,016,475	13,803,000	15%
2007	393	1,659,225	15,128,000	11%
2008	393	1,544,183	15,528,000	10%
2009	393	2,014,886	15,438,000	13%
2010	393	2,884,650	16,823,000	17%
2011	469	2,288,592	18,175,000	13%
2012	469	2,072,578	19,377,000	11%

Fuente: Unidad de Negocio ARCONEL Balance de Energía Eléctrica 2013

Elaboración: Propia

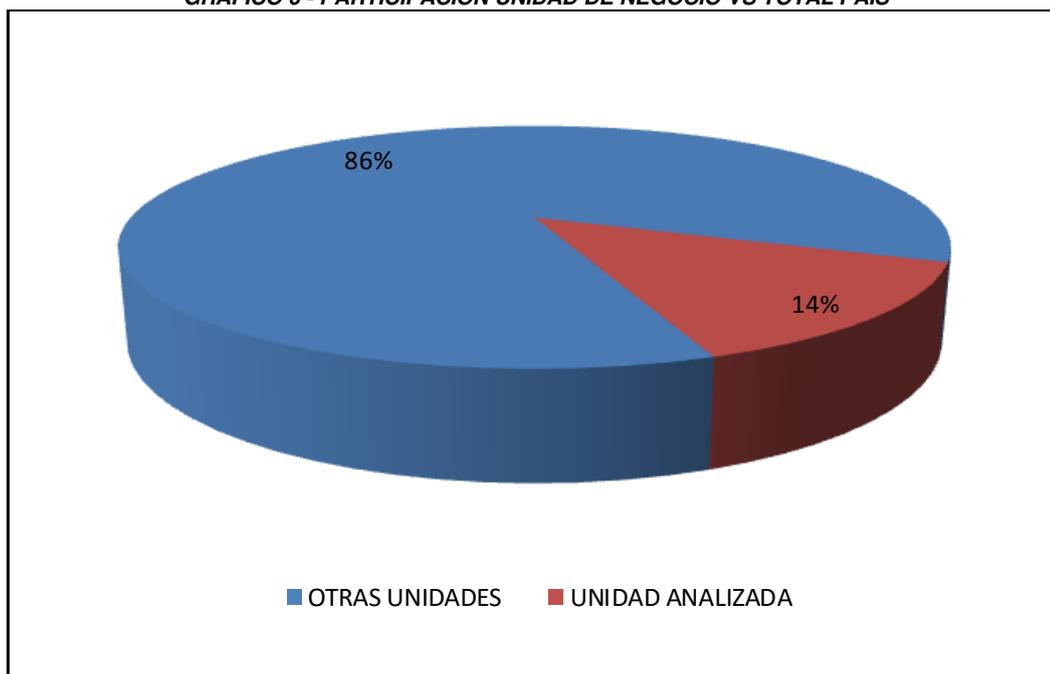
GRÁFICO 5 - GENERACIÓN VS DEMANDA DE ENERGÍA



Fuente: Unidad de Negocio ARCONEL Balance de Energía Eléctrica 2013

Elaboración: Propia

GRÁFICO 6 - PARTICIPACIÓN UNIDAD DE NEGOCIO VS TOTAL PAÍS



Fuente: ARCONEL Balance de Energía Eléctrica 2013

Elaboración: Propia

1.6.2. ENERGÍA BRUTA COMO VARIABLE DE ANÁLISIS

Al ser la potencia efectiva una variable estática que no varía sino en función de maquinarias adicionales ha sido necesario recurrir a la variable de energía bruta la misma que nos ayudará a determinar nuestra regresión ya que suponemos que es una variable que responde a las variables independientes a ser analizadas en este trabajo.

TABLA 5 - ENERGÍA BRUTA VS POTENCIA EFECTIVA

AÑO	ENERGÍA BRUTA MWh	POTENCIA EFECTIVA MW
2004	1,212,908	393
2005	1,801,401	393
2006	2,016,475	393
2007	1,659,225	393
2008	1,544,183	393
2009	2,014,886	393
2010	2,884,650	393
2011	2,288,592	456
2012	2,072,578	489
2013	2,606,028	511
2014	2,847,474	517
2015	2,518,550	517

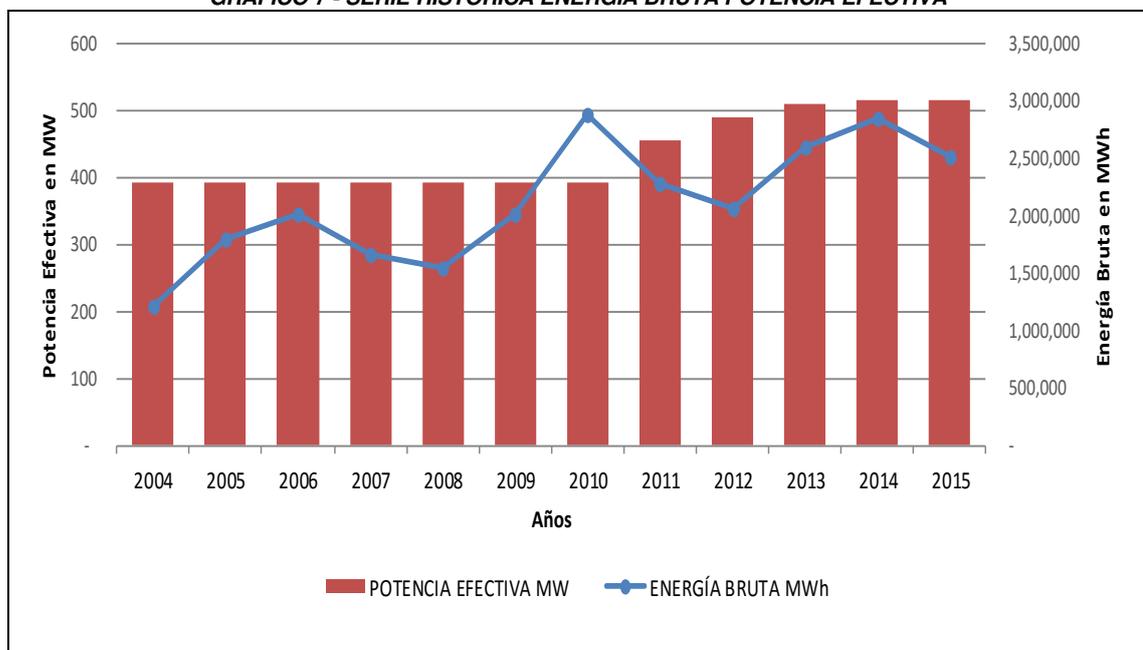
Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración: Propia

Se conoce como energía bruta la energía requerida para satisfacer la demanda de un determinado sistema eléctrico, así como la utilizada en las operaciones de la central; energía neta es la energía bruta descontando la energía utilizada en la operatividad de la central.

Potencia nominal o de placa de una unidad generadora, o bien se puede referir a una central, un sistema local o un sistema interconectado; Potencia Efectiva es la que puede tomar la unidad en las condiciones que prevalecen y corresponde a la capacidad de placa corregida por efecto de degradaciones permanentes en equipos que componen a la unidad y que inhabilitan al generador para producir la potencia nominal.

GRÁFICO 7 - SERIE HISTÓRICA ENERGÍA BRUTA POTENCIA EFECTIVA



Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración: Propia

La presente información claramente refleja que el desarrollo económico del país está relacionado con la provisión y abastecimiento de la energía eléctrica tanto en el sector productivo, comercial y en las familias ecuatorianas. En cuanto la Unidad de Negocio vemos lo importancia que tiene en el sector energético ya que es altamente representativa en el abastecimiento de energía eléctrica del país en la última década ya que abastece con 14% la demanda de energía del país tal como lo refleja el gráfico # 6.

Tomando en consideración que el sector productivo es el motor de desarrollo de las sociedades y que requiere de energía eléctrica para sus actividades diarias se puede observar que el mayor consumidor de energía eléctrica para el año 2012 es el sector productivo llegando a tener el 71% del consumo distribuido entre un 42% el industrial y un 29% el comercial.

Mientras que el sector residencial o las familias consumen el 29 % de la energía eléctrica para el periodo 2012.

La información de la Unidad de Negocio obtenida garantiza la veracidad de la misma, la generación de energía eléctrica de la Unidad de negocio es de vital importancia en el desarrollo económico del país.

CAPÍTULO II COSTO DE MANTENIMIENTO Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LA UNIDAD DE NEGOCIO

2.1. ANTECEDENTES

Siendo la generación de energía eléctrica prioritario para la producción de bienes y servicios del país y además de mejorar la calidad de vida de las personas, es una de las áreas prioritarias en el proceso de cambio de la matriz productiva y así alcanzar la meta del Plan Nacional del Buen Vivir como objetivo del estado ecuatoriano, esto se demuestra por la puesta en marcha de varios proyectos emblemáticos de generación de energía tales como:

- Hidroeléctrica Manduriacu
- Hidroeléctrica Sopladora
- Hidroeléctrica Coca Codo Sinclair
- Hidroeléctrica Toachi - Pilaton
- Hidroeléctrica Minas San Francisco
- Hidroeléctrica Mazar Dudas
- Hidroeléctrica Delsintanisagua
- Hidroeléctrica Quijos

Convirtiéndose esto en los mayores hitos que se han puesto en marcha en cuanto a generación de energía eléctrica se refiere, así es como se analizará el desarrollo y evolución histórica de estas variables necesarias para el estudio.

2.2. FASES DE EVOLUCIÓN DEL SECTOR ELÉCTRICO EN EL ECUADOR

El sector eléctrico lo podemos identificar en tres fases muy diferenciadas y se detallan a continuación:

Primera Fase: el sector eléctrico en el Ecuador comienza en mayo de 1961 donde fue dirigida por el Instituto ecuatoriano de electrificación conocido como

INECEL, que impulso y concretó procesos importantes para el naciente sector tales como:

- Regulación
- Planificación
- Tarifas
- Construcción
- Operación del sector

El INECEL tuvo vida jurídica hasta el 31 de marzo de 1999, entre el logro más importante se señala que entre los años 70 y 80 el sector energético obtuvo un gran crecimiento y transformación bajo la dirección y gestión del INECEL.

Segunda Fase: esta fase que inicia promulgándose la Ley de Régimen del Sector Eléctrico, con fecha de 10 de octubre de 1996, en esta ley que transforma el sector se introdujeron importantes aspectos siendo uno de los más relevantes, la facultad de delegar al sector privado que detenta el Estado para proveer los servicios de electricidad.

Con esta ley se crea las siguientes entidades:

- **Consejo Nacional de electricidad CONELEC** teniendo como funciones la fiscalización, regulación y control, desde el 2014 denominado **ARCONEL**
- **Corporación Centro Nacional de Control de Energía CENACE** cuyas responsabilidades son el manejo económico, técnico y de dar garantías en las operaciones del mercado mayorista de ese entonces
- **Consejo de Modernización del Sector Eléctrico de Ecuador, COMOSEL**, que tenía la facultad de llevar el proceso de incorporar capital privado a las empresas eléctricas, que participan el sector estatal, mediante el fondo de Solidaridad.

Entre el periodo que abarca los años 1999 y 2007 el sistema eléctrico del país estableció seis subsectores los mismos que son:

- Compañías generadoras de energía eléctrica

- Compañías de red de transporte (transmisoras)
- Distribuidores de energía eléctrica
- Grandes consumidores de energía eléctrica
- Compañías que autogeneran energía eléctrica
- Usuarios finales

Para este tiempo la oferta de energía eléctrica estaba concentrada en un Sistema Nacional Interconectado compuesto de 4 grandes centrales:

1. Paute total de 1.075 MW
2. Agoyan con un total de 156 MW
3. Pisambo - Pucara con un total de 74 MW
4. Marcel Laniado con un total de 213 MW.

Para el año 2002, abarcaba un área de concesión de 256.370 km², teniendo un total de energía disponible de 10.575 GWh en el país, con un total de 2.623.291 abonados.

Las empresas generadoras eran, Hidroagoyan, Hidropaute Hidropucara, Termopichincha, Termogeneradora, Termoesmeraldas.

La empresa encargada de la transmisión de energía era la Empresa Nacional de Transmisión Eléctrica Transelectric S.A., por su parte la principales distribuidoras de energías fueron EMELEC Inc. con un porcentaje de distribución de 25% y la empresa eléctrica Quito que contaba con un porcentaje de distribución del 23%, entre estas dos se concentraba el 48% del mercado de distribución de energía eléctrica.

Los proyectos de inversión más importantes en este tiempo fueron Mazar mismo que fue adjudicado a Hidropaute y la central de San Francisco, este fue entregado en concesión a Hidropastaza.

Tercera fase: tiene como hecho más relevante la recuperación del sector energético por el Estado, dando prioridad a la planificación en el corto como largo plazo, basados en los criterios de soberanía y obtención de eficiencia energética que comprenden en la Constitución y Plan Nacional de Desarrollo,

con la creación del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable iniciado en el año 2007.

Continúa el ARCONEL y la CENACE con sus actividades normales, el cambio más importante es la creación de la Corporación Eléctrica del Ecuador - CELEC EP que es la empresa pública que tiene la responsabilidad de proveer el servicio eléctrico, que encierra la generación, transmisión, importación y exportación de energía, esta empresa tiene como finalidad de ser la única empresa del sector.

Actualmente, el Ecuador cuenta con un parque hidrotérmico que está conformado por 16 de centrales hidroeléctricas estatales que son de pequeña, mediana y gran capacidad, 39 pequeñas centrales que pertenecen a las empresas de distribución eléctrica, empresas privadas y a municipios, poco más de 100 centrales térmicas con diferente tipo de combustible y que pertenecen a las empresas generadoras, industria privada, distribuidores y petroleras en general. A esto se le suma cuatro centrales de generación renovable no tradicional: Ecudos, Ecoelectric, Villonaco y San Carlos.

ILUSTRACIÓN 1 – FASES DEL DESARROLLO DEL SECTOR ELÉCTRICO ECUATORIANO

Primera Fase

- Inicia Mayo 1961 a cargo del Inecel
- Inecel Impulso la Regulación, Planificación, Tarifas, Construcción y Operación del Sector
- Inecel finalizo su vida jurídica el 31 de mayo de 1999

Segunda Fase

- Inicia con la Ley de Régimen del Sector Eléctrico el 10 de octubre de 1996
- Se crea las Entidades: CONELEC con función de fiscalizar, regular u controlar, CENACE con función de manejo económico, técnico y dar garantías al mercado mayorista y COMOSEL con función de incorporar capital privado a las empresas eléctricas
- Empresas Generadoras: Hidroagoyan, Hidropaute, Hidropucara, Termopichincha, Termogeneradora, Termoesmeraldas
- Transmisión: Transelectric S.A.
- Principales Distribuidoras: Emelec, Empresa Eléctrica Quito

Tercera Fase

- Inicia 2007 con la creación del Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, recuperando la rectoría del sector eléctrico por parte del Estado
- El CONELEC se llama ahora ARCONEL
- Se crea en el 2009 la Corporación Eléctrica del Ecuador CELEC-EP responsables de generar y transmitir la energía, esta en proceso de asumir la actividad de distribución que actualmente se encarga CNEL
- CELEC EP tiene como finalidad ser la única empresa en el sector a cargo de todas las actividades.

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

Elaboración: Propia

Mientras que los proyectos emblemáticos que se encuentran en construcción y su puesta en marcha cubrirá la necesidad de energía eléctrica, para garantizar la soberanía energética son: Sopladora, Coca Codo, Quijos, Minas-San Francisco, Toachi-Pilaton, Delsintanisagua, Mazar-Dudas y Manduriacu.

Siguiendo las políticas del Plan Nacional del Buen Vivir que está basado en tres ejes, dentro de cual el tercero está relacionado con el sector eléctrico del país siendo este: la transformación económica productiva la cual busca cambiar la forma de producir y de consumir, y dentro del cual el sector energético es una pieza clave y fundamental en la transformación de la matriz productiva del Ecuador.

2.3. PRINCIPALES RESULTADOS POR INVERSIÓN EN SECTOR ELÉCTRICO

De acuerdo con la información presentada por el Ministerio de Electricidad y Energía Renovable en su rendición de cuentas del año 2015, en el país han surgido las siguientes modificaciones a raíz de la inversión del sector estatal para impulsar el cambio en la matriz productiva, analizada desde el sector eléctrico y así garantizar la soberanía energética.

Para el año 2015 el Ecuador estuvo considerado entre los mejores 5 países en seguridad energética a nivel mundial superados solo por Canadá, Dinamarca, Estados Unidos y Reino Unido de acuerdo al estudio realizado por el World Energy Council (World Energy Council, 2015).

IMAGEN 1 - RANKING SEGURIDAD ENERGÉTICA MUNDIAL 2015



RANK Energy Security

1	Canada
2	Denmark
3	United States
4	United Kingdom
5	Ecuador
6	Australia
7	Nigeria
8	Gabon
9	Argentina
10	Switzerland

Tomado: www.worldenergy.org

En cuanto a generación de energía eléctrica se establecerá un nuevo modelo de producción pasando de un 47% térmica, 43% hídrica, 1% no convencional y un 9% por interconexiones en el 2006 a generar un 8% térmica, 90% hídrica y 2% no convencional. Garantizando así la generación de energía limpia sustentable y amigable con el medio ambiente.

TABLA 6 - PORCENTAJE DE GENERACIÓN POR TIPO

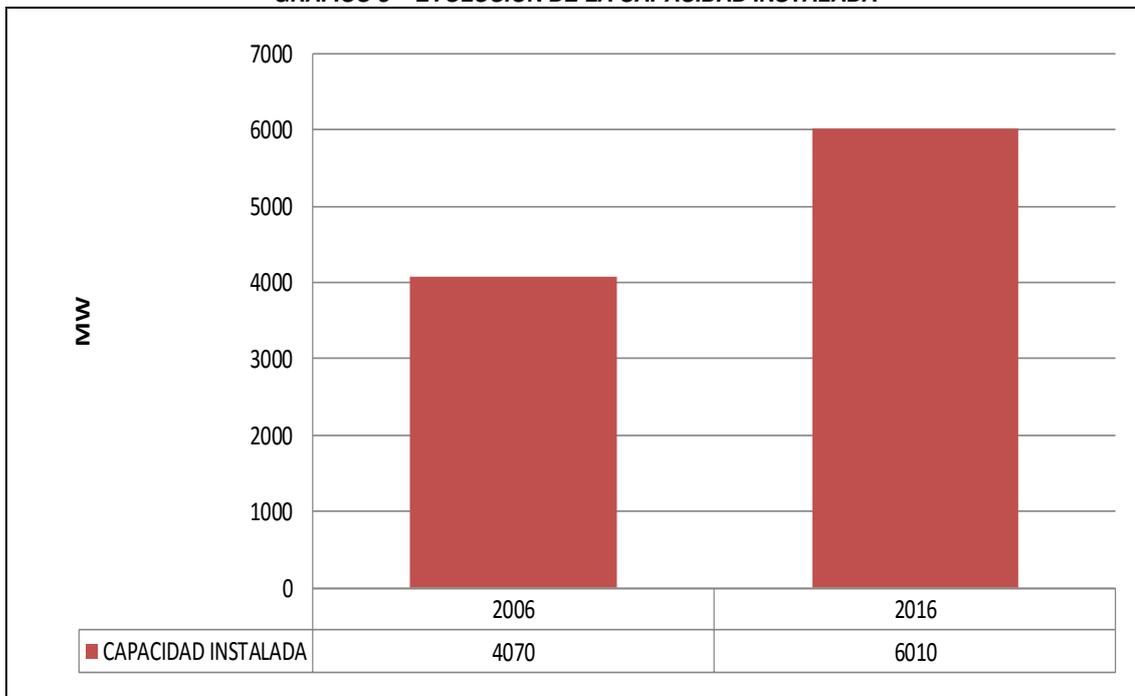
TIPO	2006	2016
TÉRMICA	47%	8%
HÍDRICA	43%	90%
NO CONVENCIONAL	1%	2%
INTERCONEXIÓN	9%	0%

Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

Elaboración: Propia

Con respecto a la generación de Energía el Ecuador tuvo un incremento considerable en su capacidad instalada pasando a tener un 4,070 MW en el año 2006 a tener un total de 6,010 MW al 2016 representado un incremento cercano al 48% esto lo refuerza como uno de los cinco países con mayor soberanía energética.

GRÁFICO 8 - EVOLUCIÓN DE LA CAPACIDAD INSTALADA



Fuente: Ministerio de Electricidad y Energía Renovable

Elaboración: Propia

Los proyectos más importantes para la generación de energía según la información proporcionada por el MEER, son Coca Codo y Sopladora.

Coca Codo. - con una capacidad de 1.500 MW que se encuentra en un 95% de avance abastecerá el 30% de la demanda de energía del país, generando un ahorro de 600 millones de dólares, disminuirá la emisión de CO2 en 3.5 toneladas anuales y generando un total de 7.739 empleos.

Sopladora. - con una capacidad de 487 MW que se encuentra en un 98% de avance abastecerá el 13% de la demanda de energía del país, generando un ahorro de 198 millones de dólares, disminuirá la emisión de CO2 en 1.09 toneladas anuales y generando un total de 3.258 empleos.

TABLA 7 - DATOS DE PROYECTO EMBLEMÁTICOS

PROYECTO	AVANCE DE OBRA	COBERTURA DE LA DEMANDA DE ENERGÍA	AHORRO DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE	DISMINUCIÓN DE EMISIÓN DE CO2
COCA CODO	95%	30%	600 MILLONES	3.5 TON/AÑO
SOPLADORA	98%	13%	198 MILLONES	1.09 TON/AÑO

Fuente: MEER

Elaboración: Propia

Por otra parte también se ha incrementado los sectores que son abastecidos de energía eléctrica mediante la creación de más kilómetros de líneas de transmisión que fueron de 7.763 km de línea de transmisión a 9.679 km de líneas de transmisión del 2006 al 2015 respectivamente, se ha mejorado la eficiencia en las empresas encargadas de la distribución, pasando a reducir las pérdidas de energías de un 22% de pérdidas en el 2006 a un 12% de pérdidas en el 2015 manteniendo en un nivel muy por debajo del promedio de la región que tiene un nivel de pérdida de 15.07% ubicándose en el cuarto puesto superado solo por Perú con un 8%, Guatemala con un 11% y Argentina con un 12%. En cuanto a cobertura se vio un incremento de 900 mil nuevas familias con servicio eléctrico pasando así de tener un 93% de cobertura en el 2006 a tener un nivel de cobertura del 97% ubicándose en el séptimo puesto de los países con mayor cobertura en la región y superando la media de la región que es de un total de 95%. (Ministerio de Electricidad y Energía Renovable, 2007)

2.4. INVERSIÓN EN SECTOR ELÉCTRICO NACIONAL

Todos estos avances en el sector energético están sustentados en las Inversiones realizadas por el estado ecuatoriano teniendo como meta el cambio de matriz productiva y asegurar la soberanía energética, que se traduce en un mayor desarrollo económico para el país y mejor calidad de vida para las familias usuarios de este servicio, esta inversión se encuentra en el siguiente cuadro.

TABLA 8 - INVERSIÓN EN EL SECTOR ELÉCTRICO EN MILLONES DE DOLARES

2000	13.85	908.91
2001	23.39	
2002	54.09	
2003	73.11	
2004	164.72	
2005	245.16	
2006	334.59	9,551.72
2007	272.13	
2008	626.87	
2009	366.54	
2010	736.24	
2011	1,094.01	
2012	1,148.32	
2013	1,729.63	
2014	1,776.63	
2015	1,801.35	

Fuente: MEER

Elaboración: Propia

Se puede reflejar claramente la importancia dada a este sector es así que desde el año 2000 a 2006 se invirtieron apenas 908.91 millones en el sector eléctrico lo que viene siendo igual a 129.84 millones en promedio anual, a pasar en el periodo comprendido del 2007 al 2015 un total de 9,551.72 millones que significan 1,061.30 millones anuales lo que representa un incremento del 717% en el promedio anual de ambos periodos comparados, lo que explica el cambio significativo expuesto en los puntos anteriores y evidencia el fortalecimiento del sector mediante grandes inversiones realizadas.

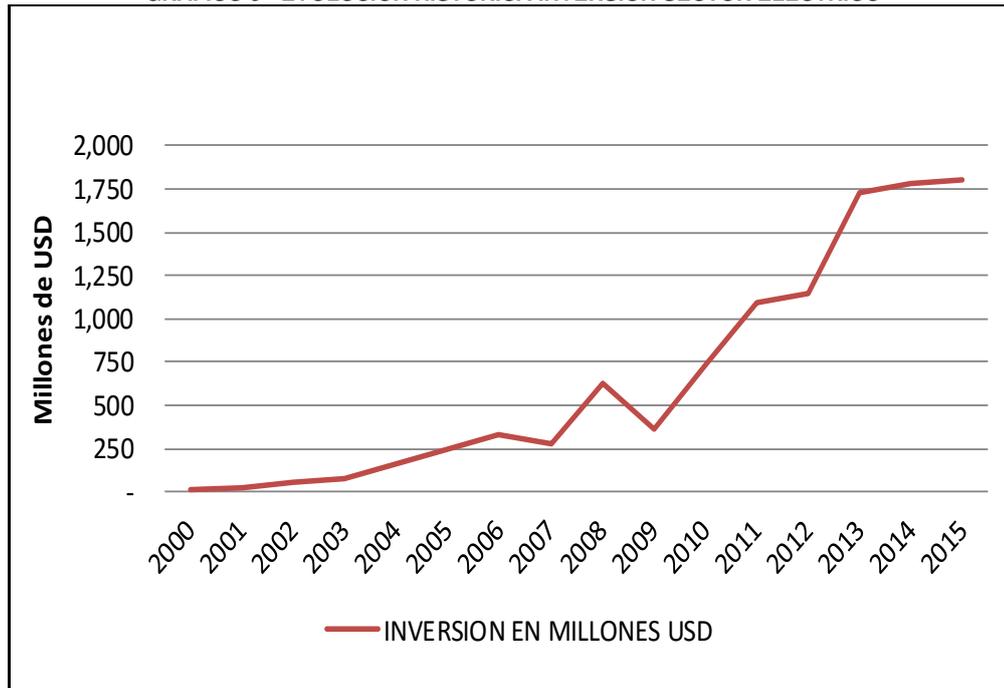
TABLA 9 - COMPARATIVO DE INVERSIÓN TOTAL Y PROMEDIO

Periodo	Inversión Total	Promedio Anual
2000-2006	908.91	129.84
2007-2015	9,551.72	1,061.30

Fuente Meer

Elaboración Propia

GRÁFICO 9 - EVOLUCIÓN HISTÓRICA INVERSIÓN SECTOR ELÉCTRICO



Fuente: MEER

Elaboración: Propia

Para el año 2015 la inversión está distribuida en los siguientes subsectores:

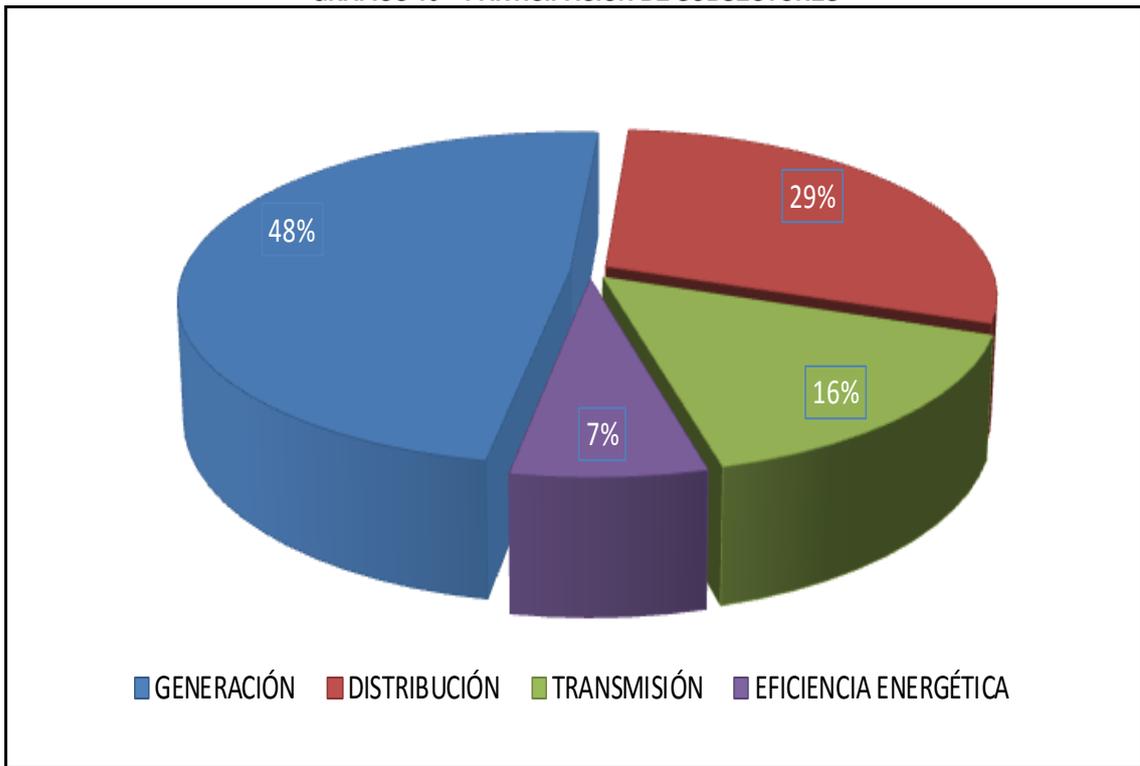
TABLA 10 - SUBSECTORES AÑO 2015

SUBSECTOR	INVERSIÓN EN MILLONES DE USD
GENERACIÓN	873
DISTRIBUCIÓN	527
TRANSMISIÓN	279
EFICIENCIA ENERGÉTICA	123

Fuente: MEER

Elaboración: Propia

GRÁFICO 10 - PARTICIPACIÓN DE SUBSECTORES



Fuente: MEER

Elaboración: Propia

En el comportamiento nacional del sector eléctrico hemos podido comprobar que hay una relación directa con los gastos incurridos en las centrales de generación con respecto a la electricidad generada, es así como podemos identificar dos periodos claramente que son el periodo 2000-2006 donde se comprueba un bajo nivel de cobertura, baja generación de electricidad, poca capacidad instalada, altos niveles de pérdidas de energía, periodo en el que se invertía un promedio de 129.84 millones anuales.

Mientras el segundo periodo se ve una mejoría en todos los aspectos antes mencionados, pero en este periodo se invierte en promedio 1,061.30 millones anuales que entre otros factores es uno de los que más ha influido en el mejoramiento de este sector.

A continuación, se presenta el cuadro comparativo de ambos periodos analizados:

TABLA 11 - COMPARATIVO POR PERIODOS

CARACTERÍSTICA	2000-2006	2007-2016	% DE MEJORÍA
CAPACIDAD INSTALADA(MW)	4,070	6,010	48%
LÍNEAS DE TRANSMISIÓN(KM/LT)	7,763	9,679	25%
PERDIDAS DE ENERGÍA	22.25%	12.10%	46%
COBERTURA DEL SERVICIO DE ENERGÍA	92.86%	97.18%	5%
INVERSIÓN MILLONES DE DÓLARES	908.91	9,551.72	951%
PROMEDIO ANUAL DE INVERSIÓN(MM USD)	129.84	1,061.30	717%

Fuente: MEER

Elaboración: Propia

2.5. COMBUSTIBLE UTILIZADO EN GENERACIÓN DE ELECTRICIDAD A NIVEL PAÍS

Para la generación de energía eléctrica se utilizan 7 tipos de combustible 5 de origen fósiles y 2 de origen natural, que, aunque a pesar de no depender de estos recursos para la generación de energía eléctrica el consumo se ve incrementado en los periodos que se encuentran en marcha la construcción de los proyectos hídricos que disminuirá significativamente la dependencia de consumo de combustible para generar electricidad.

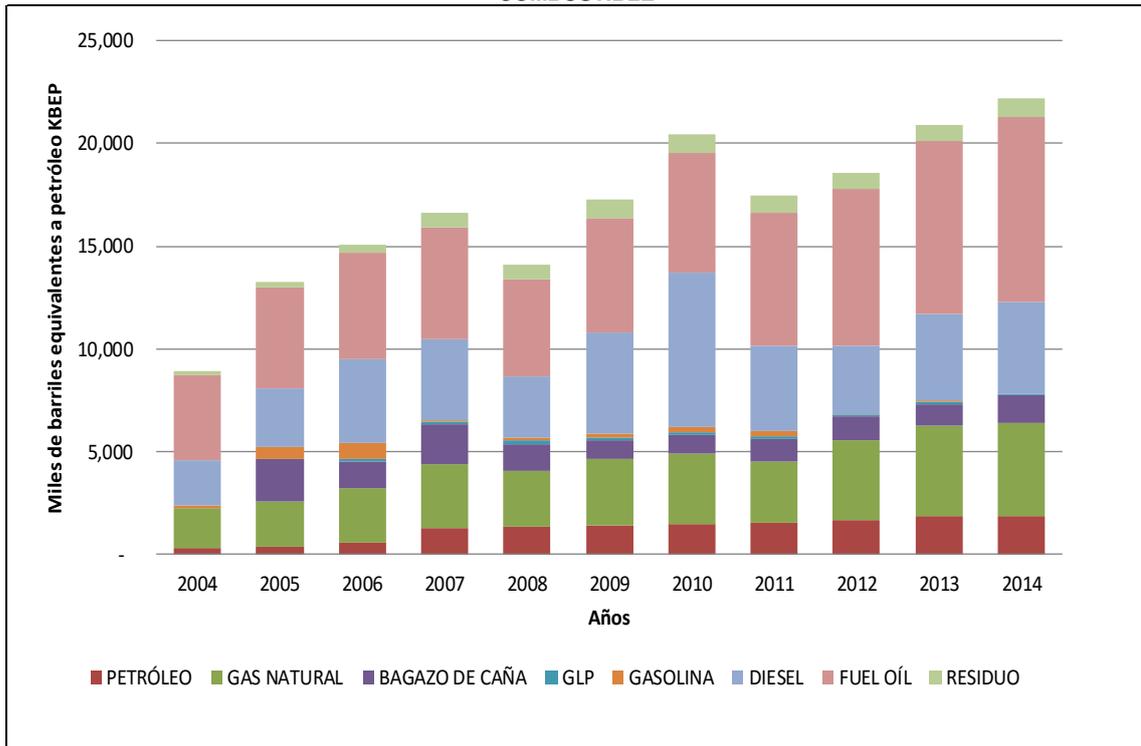
TABLA 12 - CONSUMO DE COMBUSTIBLE PARA GENERAR ENERGÍA ELÉCTRICA (KBEP MILES DE BARRILES EQUIVALENTES A PETRÓLEO)

AÑO	PETRÓLEO	GAS NATURAL	BAGAZO DE CAÑA	GLP	GASOLINA	DIESEL	FUEL OÍL	RESIDUO
2004	319	1,917	-	-	123	2,198	4,154	218
2005	369	2,227	2,053	-	562	2,872	4,936	261
2006	553	2,662	1,327	121	730	4,096	5,165	384
2007	1,248	3,111	1,940	132	85	3,971	5,416	722
2008	1,349	2,723	1,312	137	168	2,967	4,706	754
2009	1,399	3,268	863	121	211	4,948	5,518	955
2010	1,484	3,393	912	124	310	7,505	5,773	943
2011	1,540	2,999	1,064	113	312	4,102	6,521	837
2012	1,647	3,934	1,122	100	2	3,313	7,668	806
2013	1,854	4,380	1,093	94	57	4,211	8,424	788
2014	1,891	4,513	1,333	101	-	4,418	9,044	889

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos

Elaboración: Propia

GRÁFICO 11 - CONSUMO DE MILES DE BARRILES EQUIVALENTES A PETRÓLEO KBEP POR TIPO DE COMBUSTIBLE



Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos

Elaboración: Propia

Desde el 2004 a la actualidad se consumen dos tipos adicionales de combustible para la generación de energía eléctrica que son el GLP y el bagazo de caña esta última que es una forma alterna de combustible y forma parte de los combustibles ecológicos no fósiles, para el 2014 representa el 6% de participación de combustible para generar energía eléctrica.

TABLA 13 - PARTICIPACIÓN POR TIPO DE COMBUSTIBLE EN GENERAR ENERGÍA EN KBEP

TIPO	2004	%	2014	%
PETRÓLEO	319	4%	1,891	9%
GAS NATURAL	1,917	21%	4,513	20%
BAGAZO DE CAÑA	-	0%	1,333	6%
GLP	-	0%	101	0%
GASOLINA	123	1%	-	0%
DIESEL	2,198	25%	4,418	20%
FUEL ÓIL	4,154	47%	9,044	41%
RESIDUO	218	2%	889	4%

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos

Elaboración: Propia

El bagazo de caña ha tenido un crecimiento importante considerando que cuatro de los combustibles utilizados para la generación, han tenido una reducción en su participación siendo la gasolina la que se ha dejado de consumir entre estos años ya que refleja una reducción del 100%, el diesel tiene una reducción de 19% los mismos que representan cinco puntos porcentuales de reducción entre estos años y el fuel oíl que tiene una reducción de 12% los mismos que representan seis puntos porcentuales de reducción entre estos años.

TABLA 14 - COMPARATIVO DE CRECIMIENTOS PORCENTUALES EN PARTICIPACIÓN DE COMBUSTIBLES PARA GENERERAR ENERGÍA

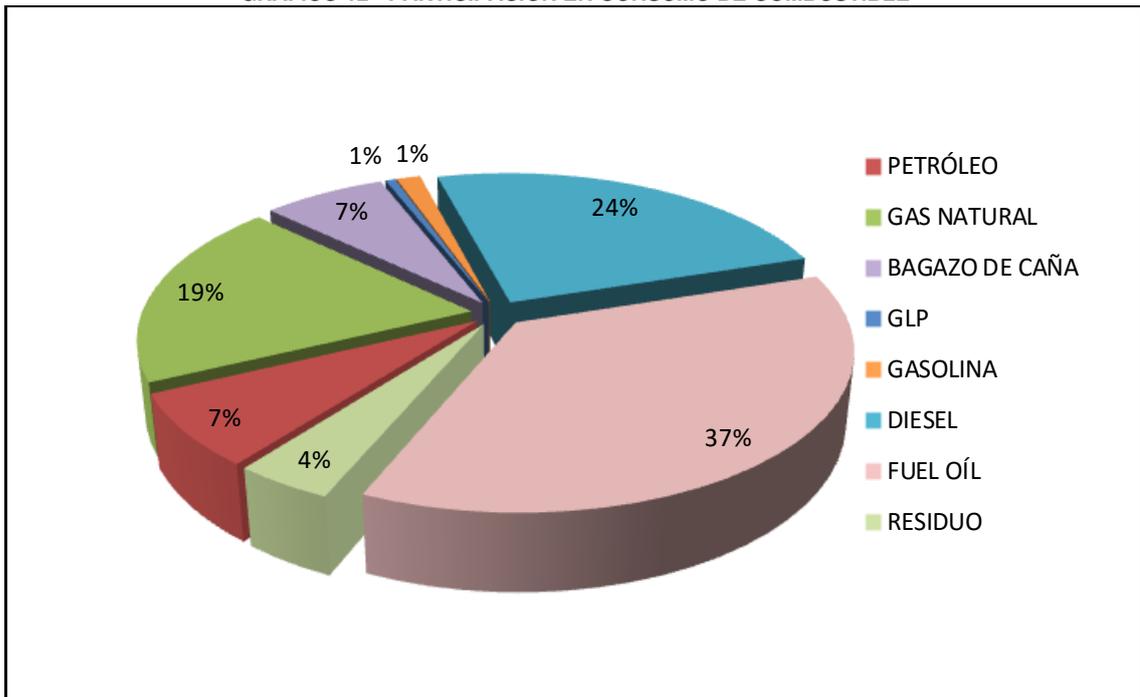
TIPO	2004	2014	VARIACIÓN %
PETRÓLEO	4%	9%	139%
GAS NATURAL	21%	20%	-5%
BAGAZO DE CAÑA	0%	6%	0%
GLP	0%	0%	0%
GASOLINA	1%	0%	-100%
DIESEL	25%	20%	-19%
FUEL OÍL	47%	41%	-12%
RESIDUO	2%	4%	64%

Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos

Elaboración: Propia

Entre el periodo 2004 y 2014 el combustible más utilizado para la generación de energía eléctrica ha sido el Fuel Oíl que corresponde a un 37% de consumo que representa 67,325 kBEP en el periodo, seguido del diésel que se utilizó en un 24% que representa 44,601 kBEP.

GRÁFICO 12 - PARTICIPACIÓN EN CONSUMO DE COMBUSTIBLE



Fuente: Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos

Elaboración: Propia

2.6. COSTOS DE MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD DE NEGOCIO

La Unidad de Negocio también ha realizado, como parte del sector energético, gastos significativos en el mantenimiento de la infraestructura para mantener y en algunos casos aumentar su capacidad instalada.

El siguiente cuadro evidencia el crecimiento significativo que ha tenido el gasto de mantenimiento en la Unidad de Negocio que ha pasado de tener en el año 2004 cerca de 1.3 millones a tener un gasto por 17 millones al 2014 es decir que se ha incrementado en 13 veces los gastos en este rubro entre el año 2004 y 2014.

TABLA 15 - GASTOS DE MANTENIMIENTO DE LA UNIDAD DE NEGOCIO EN USD

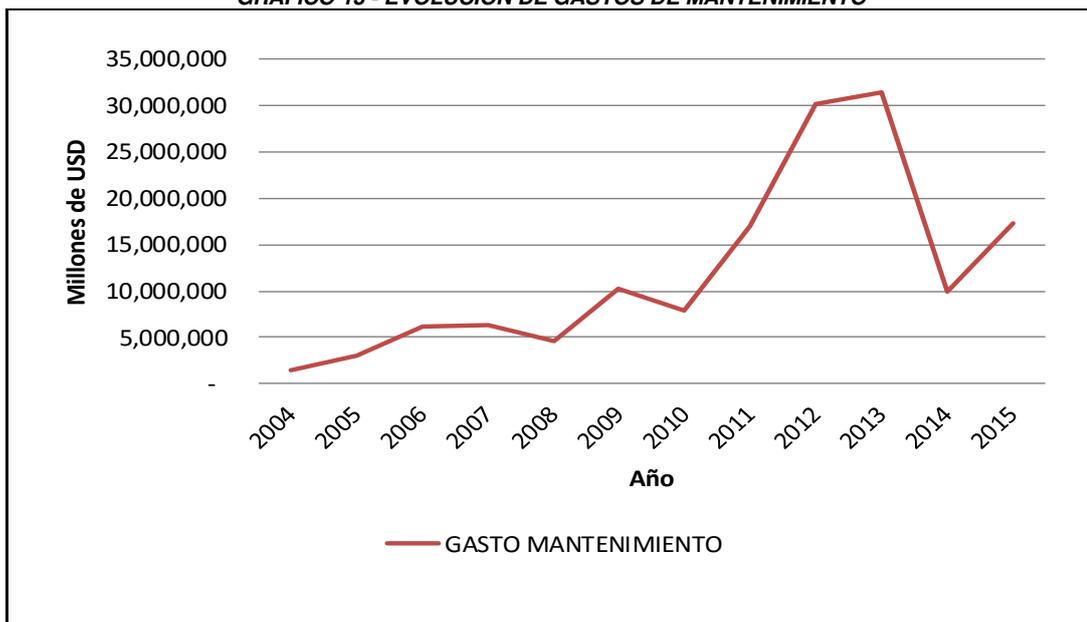
AÑO	GASTO MANTENIMIENTO
2004	1,398,266
2005	2,958,872
2006	6,224,123
2007	6,278,046
2008	4,612,760
2009	10,209,261
2010	7,928,325
2011	16,913,299
2012	30,139,892
2013	31,360,606
2014	9,964,209
2015	17,306,138

Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración: Propia

Esto se ve reflejado en la Potencia Efectiva que de 393 MW se incrementó a 517 MW en el 2015 esto significa un incremento porcentual del 32% en su potencia efectiva que tiene mucha relación con la disponibilidad de las máquinas lo cual se debió a la recuperación de las mismas, que en si es el tema de análisis de nuestro proyecto, demostrando así que a priori si existe una correlación entre estas variables.

GRÁFICO 13 - EVOLUCIÓN DE GASTOS DE MANTENIMIENTO



Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración: Propia

2.7. CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE LA UNIDAD DE NEGOCIO

La Unidad de Negocio consume grandes cantidades de combustible para la generación de energía eléctrica, pasando de consumir 96.04 millones de galones de combustible fuel oil en el año 2004 a consumir un 237.13 millones de galones en el año 2015 esto significa un incremento de del 146.89 % entre estos años lo que sin duda muestra el combustible como la variable más importante en cuanto a la generación de energía eléctrica en la Unidad de Negocio considerando que es generadora termoeléctrica y depende exclusivamente del combustible en este caso fuel oil y una pequeña parte la cual no es significativa de diésel.

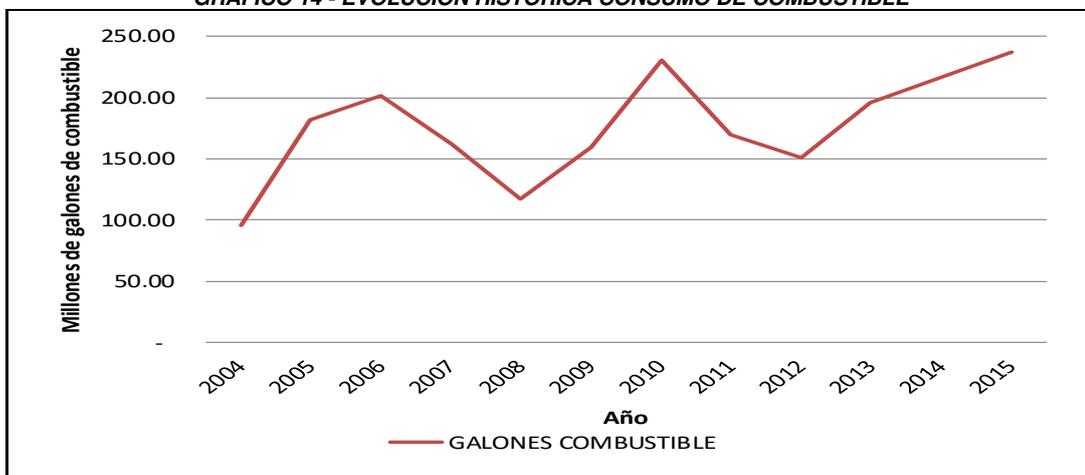
TABLA 16 - CONSUMO DE COMBUSTIBLE DE UNIDAD DE NEGOCIO EN MILLONES DE GALONES

AÑO	GALONES COMBUSTIBLE
2004	96.04
2005	181.90
2006	201.81
2007	161.87
2008	117.59
2009	159.31
2010	230.80
2011	169.96
2012	151.41
2013	196.25
2014	217.02
2015	237.13

Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración: Propia

GRÁFICO 14 - EVOLUCIÓN HISTÓRICA CONSUMO DE COMBUSTIBLE



Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración: Propia

Este incremento influye directamente en la capacidad de generación de energía eléctrica siendo que a pesar de que la potencia efectiva es una variable estática si se refleja en la energía bruta siendo esta variable que responde a variaciones tanto en gastos de mantenimiento como en el consumo de combustible.

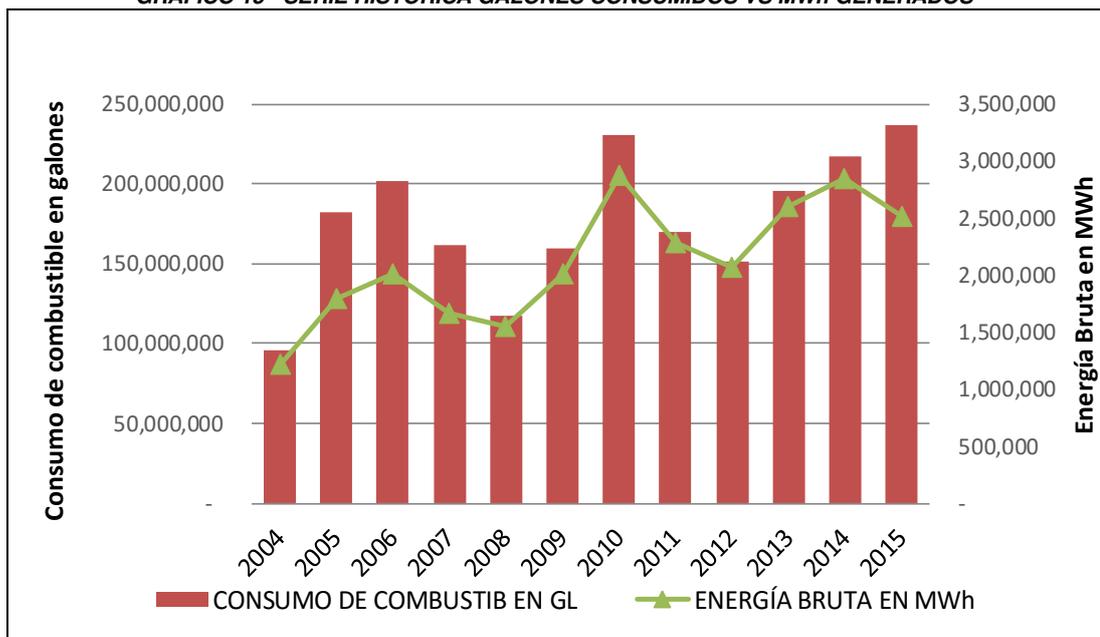
TABLA 17 - GALONES CONSUMIDOS VS MWh GENERADOS

AÑO	CONSUMO DE COMBUSTIB EN GL	ENERGÍA BRUTA EN MWh	GALONES CONSUMIDOS POR CADA MWh GENERADO
2004	96,044,521	1,212,908	79.19
2005	181,901,396	1,801,401	100.98
2006	201,809,852	2,016,475	100.08
2007	161,867,370	1,659,225	97.56
2008	117,590,252	1,544,183	76.15
2009	159,308,551	2,014,886	79.07
2010	230,796,872	2,884,650	80.01
2011	169,961,235	2,288,592	74.26
2012	151,411,766	2,072,578	73.05
2013	196,245,997	2,606,028	75.30
2014	217,023,882	2,847,474	76.22
2015	237,128,413	2,518,550	94.15

Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración: Propia

GRÁFICO 15 - SERIE HISTÓRICA GALONES CONSUMIDOS VS MWh GENERADOS



Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración: Propia

Como se puede ver en la Tabla # 17 el consumo de combustible está relacionado directamente con la generación, así para el año 2015 por cada MWh generado se consumía alrededor de 94 galones de combustible, y en el Gráfico # 15 podemos ver la tendencia donde claramente se refleja que a mayor generación mayor será el consumo de combustible. Esto nos permite identificar a priori que estas variables efectivamente están correlacionadas aun antes de realizar los cálculos estadísticos que nos permitan corroborar esta hipótesis.

CAPÍTULO III CÁLCULO ESTADÍSTICOS, VARIABLES DE ESTUDIO

3.1. INTRODUCCIÓN

Nuestro enfoque consiste en comprobar la correlación existente entre la variable de gasto de mantenimiento con respecto a la generación de energía eléctrica y también el consumo de combustible con respecto a la misma generación de energía eléctrica a fin de poder comprobar cuál de las dos variables está más altamente correlacionada con la generación de energía eléctrica.

Para realizar este análisis previamente necesitamos realizar el cálculo para determinar la regresión lineal de estas variables usando la siguiente fórmula misma que ya fue brevemente explicada:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

Donde tendremos las siguientes identidades:

Y = Generación de Energía Eléctrica

β_0 = Generación de Energía Eléctrica sin depender de las Variables
(Constante)

β_1 = Propensión marginal de la Generación de Energía Eléctrica por aumento de Gastos de Mantenimiento.

X_1 = Gastos de Mantenimiento.

β_2 = Propensión marginal de la Generación de Energía Eléctrica por aumento de Consumo de Combustible.

X_2 = Consumo de Combustible.

Pero para llegar a esta ecuación primero analizaremos cada variable independiente, tanto como gasto de mantenimiento como consumo de combustible, por separado para establecer cuáles son sus influencias por separados y después analizarlos en conjunto.

3.2. REGRESIÓN LINEAL

La regresión lineal es un proceso mediante el cual se analiza la dependencia de una variable con respecto a otra independiente o explicativa que pueden ser una o más y así poder determinar, predecir o estimar la media de la primera variable a partir de los valores dados de la segunda variable (Damodar Gujarati, 2010).

Es decir que para establecer una regresión se necesita de datos observados o históricos de la información que se va a analizar para según los resultados arrojados se pueda realizar predicciones de la variable dependiente para información futura de acuerdo a valores dados o propuestos de la variable independiente.

3.2.1. REGRESIÓN LINEAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA BRUTA RESPECTO AL GASTO DE MANTENIMIENTO

Para esta sección se analizara la regresión de las variables de generación de energía con respecto a los gastos de mantenimiento para generar dicha energía según la siguiente tabla:

TABLA 18 - ENERGÍA BRUTA Y GASTOS MANTENIMIENTO

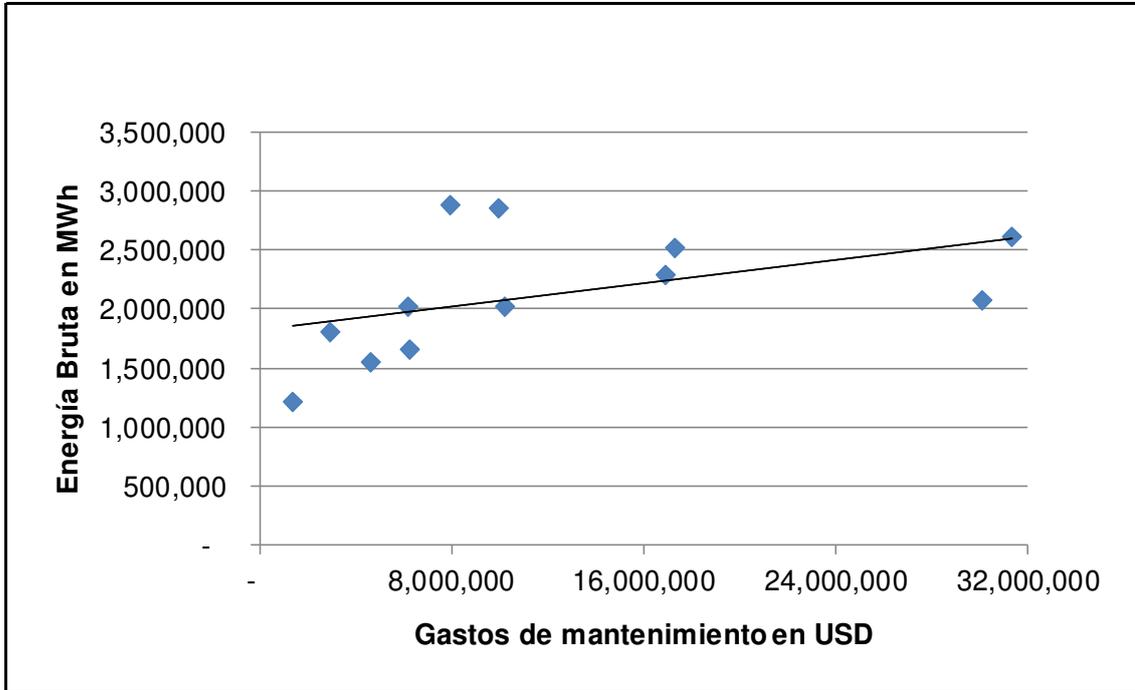
AÑO	ENERGÍA BRUTA EN MWh	GASTOS DE MANTENIMIENTO EN USD
2004	1,212,908	1,398,266
2005	1,801,401	2,958,872
2006	2,016,475	6,224,123
2007	1,659,225	6,278,046
2008	1,544,183	4,612,760
2009	2,014,886	10,209,261
2010	2,884,650	7,928,325
2011	2,288,592	16,913,299
2012	2,072,578	30,139,892
2013	2,606,028	31,360,606
2014	2,847,474	9,964,209
2015	2,518,550	17,306,138

Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración Propia

Con esta información se procede a realizar la regresión y determinar los coeficientes β analizado por procesos estadísticos.

GRÁFICO 16 - DISPERSIÓN ENERGÍA BRUTA Y GASTO DE MANTENIMIENTO



Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración Propia

La gráfica corresponde a la dispersión de los datos de gastos de mantenimiento ubicado en el eje **X** y la generación energía bruta ubicada en el eje **Y** correspondiente por cada par ordenado, mientras la línea negra representa la tendencia de los datos que muestran ser directamente proporcional.

Siendo esto tendremos la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1$$

Donde

Y = La Energía Bruta Generada

β_0 = La generación de autónoma de energía o la energía que no depende de los gastos de mantenimiento.

β_1 = La propensión marginal de generación de energía por cada unidad aumentada de gastos de mantenimiento

X_1 = El dato correspondiente a gastos de mantenimiento

Según el método de mínimos de cuadrados la fórmula de la regresión para obtener los coeficientes β_0 y β_1 se realiza los siguientes cálculos (Douglas A. Lind, 2004):

$$\sum Y = n\beta_0 + \beta_1 \sum X_1$$

$$\sum YX = \beta_0 \sum X_1 + (\beta_1 \sum X)^2$$

Despejando la formula obtenemos las siguientes identidades:

$$\beta_1 = \frac{n \sum YX - \sum Y \sum X}{n \sum X^2 - (\sum X)^2}$$

Y una vez calculado β_1 podemos calcular β_0 con la siguiente formula:

$$\beta_0 = \frac{\sum Y - \beta_1 \sum X_1}{n}$$

De acuerdo y en función de estas identidades necesitamos la información de las sumatorias de la variable **Y** (Generación Bruta de Energía), la sumatoria de la variable **X** (Gastos de Mantenimiento), la sumatoria de la multiplicación de las variables **YX**, y el Cuadrado de la Variables **X**, con estos valores se reemplaza la formulas anteriormente propuesta para obtener nuestros primeros coeficientes β_0 y β_1

Esta información está calculada y detallada para ser analizada y reemplazada a fin de poder calcular los coeficientes que son requeridos para el estudio esta proporcionada en la siguiente tabla:

TABLA 19 - DATOS PARA CALCULAR COEFICIENTE β_0 Y β_1

Energía Bruta MWh (Y)	Gastos de Mantenimientos USD (X)	YX	X ²
1,212,908	1,398,266	1,695,968,454,744	1,955,147,387,276
1,801,401	2,958,872	5,330,114,016,845	8,754,922,032,948
2,016,475	6,224,123	12,550,786,198,012	38,739,711,724,980
1,659,225	6,278,046	10,416,688,214,800	39,413,857,057,923
1,544,183	4,612,760	7,122,944,808,615	21,277,552,695,730
2,014,886	10,209,261	20,570,497,053,949	104,229,019,967,012
2,884,650	7,928,325	22,870,440,851,677	62,858,344,599,684
2,288,592	16,913,299	38,707,635,892,343	286,059,687,799,125
2,072,578	30,139,892	62,467,277,014,076	908,413,113,280,780
2,606,028	31,360,606	81,726,605,609,134	983,487,635,030,145
2,847,474	9,964,209	28,372,826,074,765	99,285,458,404,987
2,518,550	17,306,138	43,586,376,419,114	299,502,424,243,218
$\Sigma =$ 25,466,948	145,293,798	335,418,160,608,074	2,853,976,874,223,810

Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración Propia

Reemplazando nuestra formula con las formulas ya proporcionada tenemos nuestros coeficientes como siguen:

$$\beta_1 = 0.024725396$$

$$\beta_0 = 1,822,875.13$$

Por lo que nuestra ecuación de regresión queda de la siguiente manera:

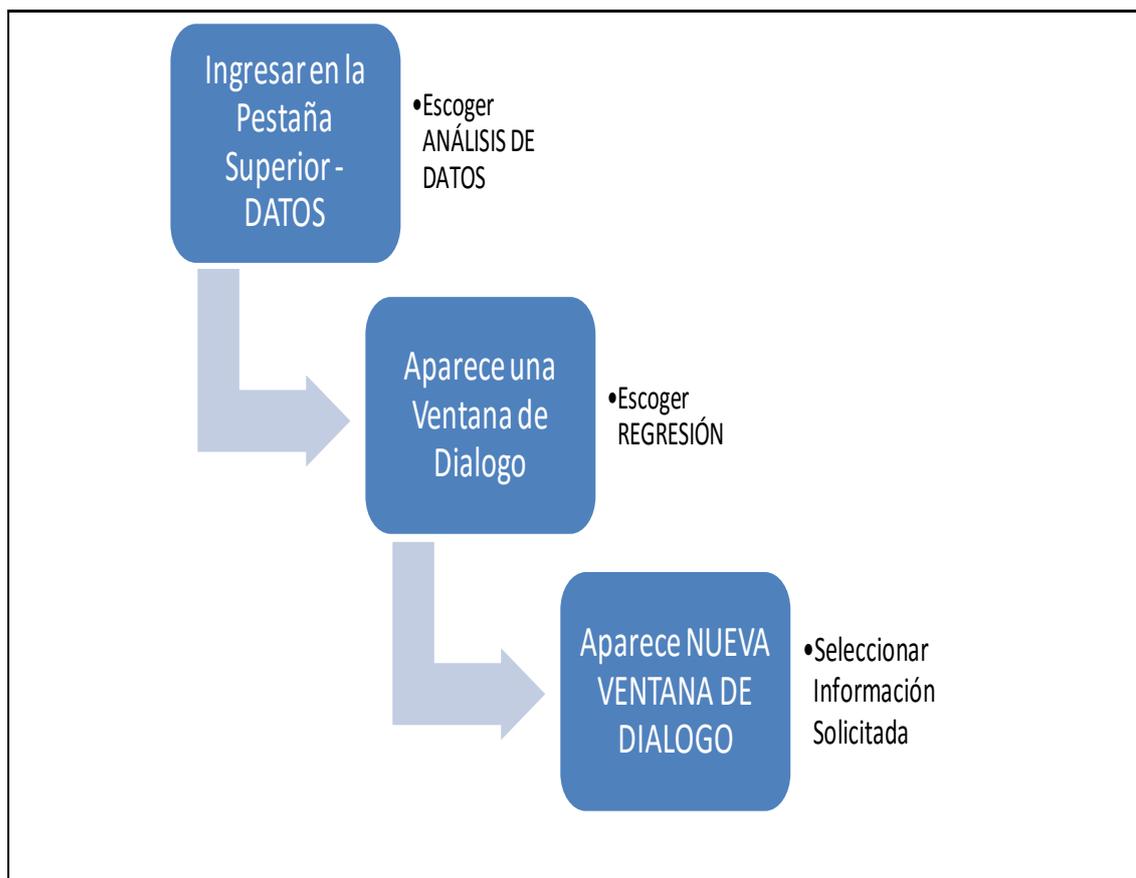
$$Y = 1,822,875.13 + 0.024725396 (X)$$

El β_1 nos indica el incremento de energía bruta en MWh por cada dólar adicional de aumento en gastos de mantenimiento, esto es 0.024725 de incremento en MWh al año por cada dólar adicional en gastos de mantenimiento siendo la β_0 donde nace la ecuación es decir la energía generada que no depende del gasto de mantenimiento, para analizar estos coeficientes es necesario calcular los valores de la **t** de **student** la cual determinara si es significativo o aceptado el coeficiente obtenido (Damodar Gujarati, 2010).

3.2.2. REGRESIÓN LINEAL MEDIANTE HOJA DE CÁLCULO DE EXCEL

Una vez ya explicado el método para determinar los coeficientes β_0 y β_1 , en este proceso se realizará mediante utilitario de Excel.

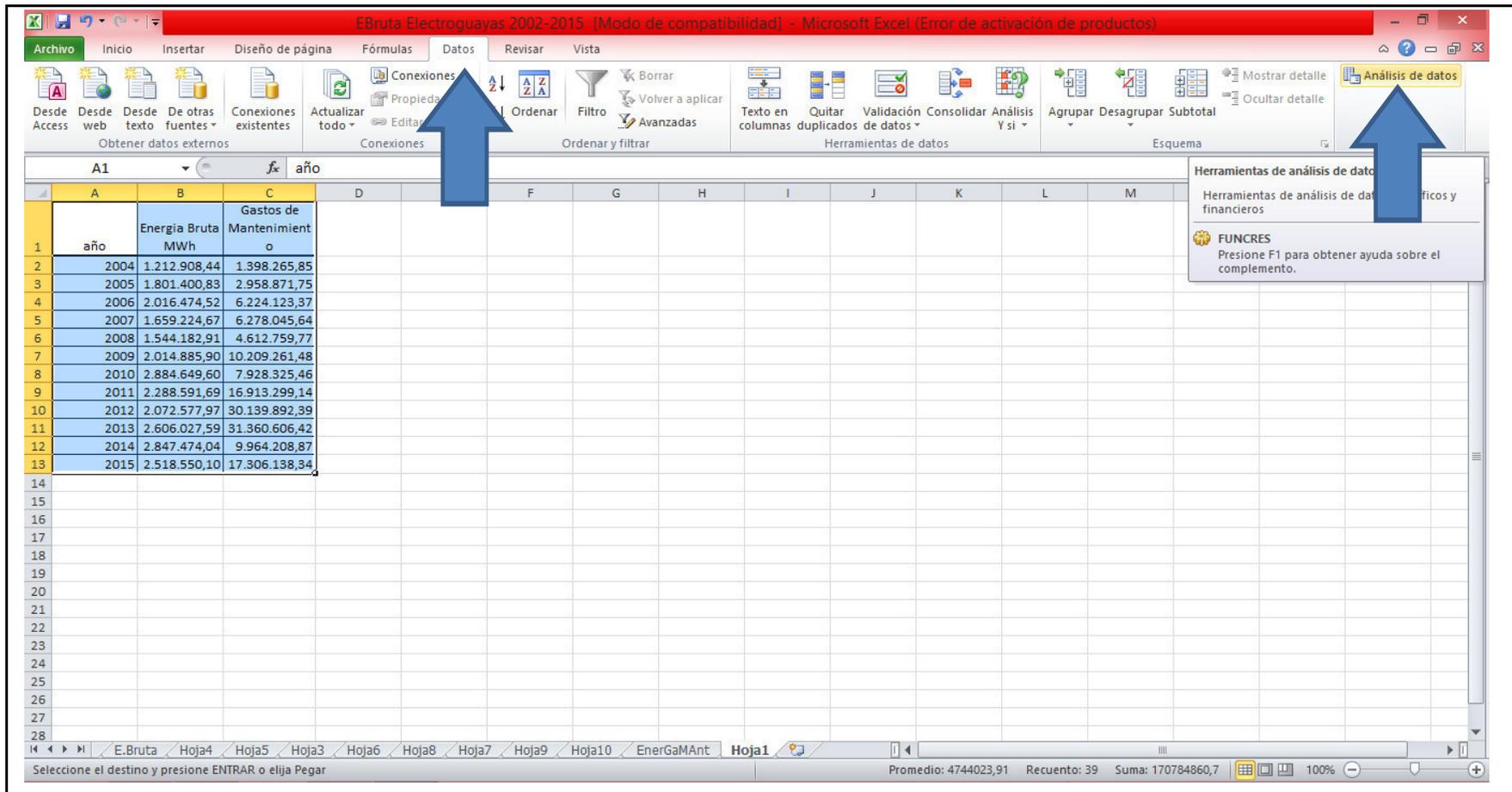
IMAGEN 2 - PASOS PARA REALIZAR UNA REGRESIÓN EN EXCEL



Fuente y Elaboración propia (Trabajo ilustrativo)

Teniendo como base la información la **Tabla -18** en un archivo de Excel se ingresa a la sección de DATOS, de ahí a la opción ANÁLISIS DE DATOS.

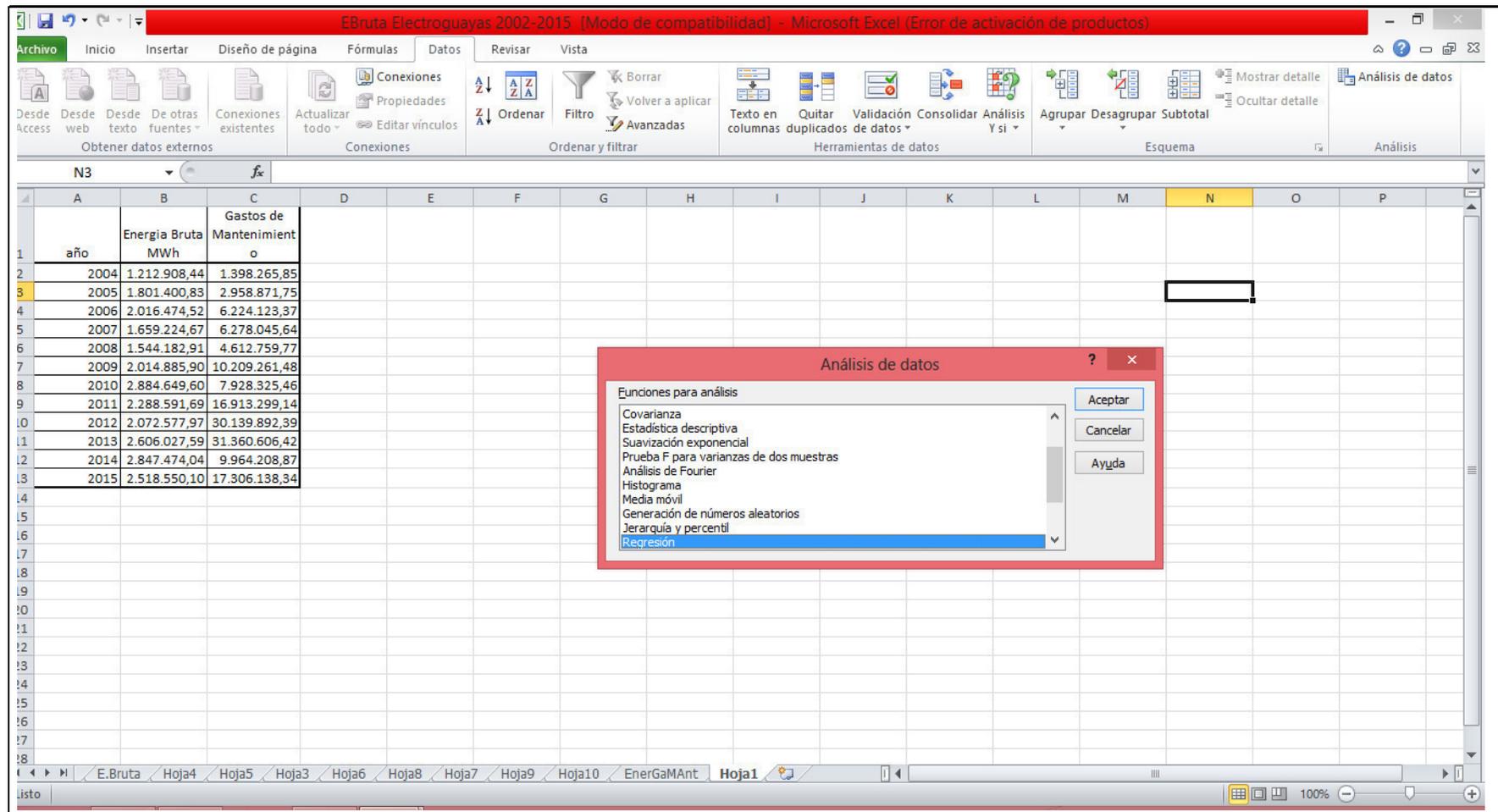
IMAGEN 3 - PASO 1 REGRESIÓN EN EXCEL



Fuente y Elaboración propia (Trabajo ilustrativo)

Inmediatamente aparecerá la siguiente ventana de dialogo:

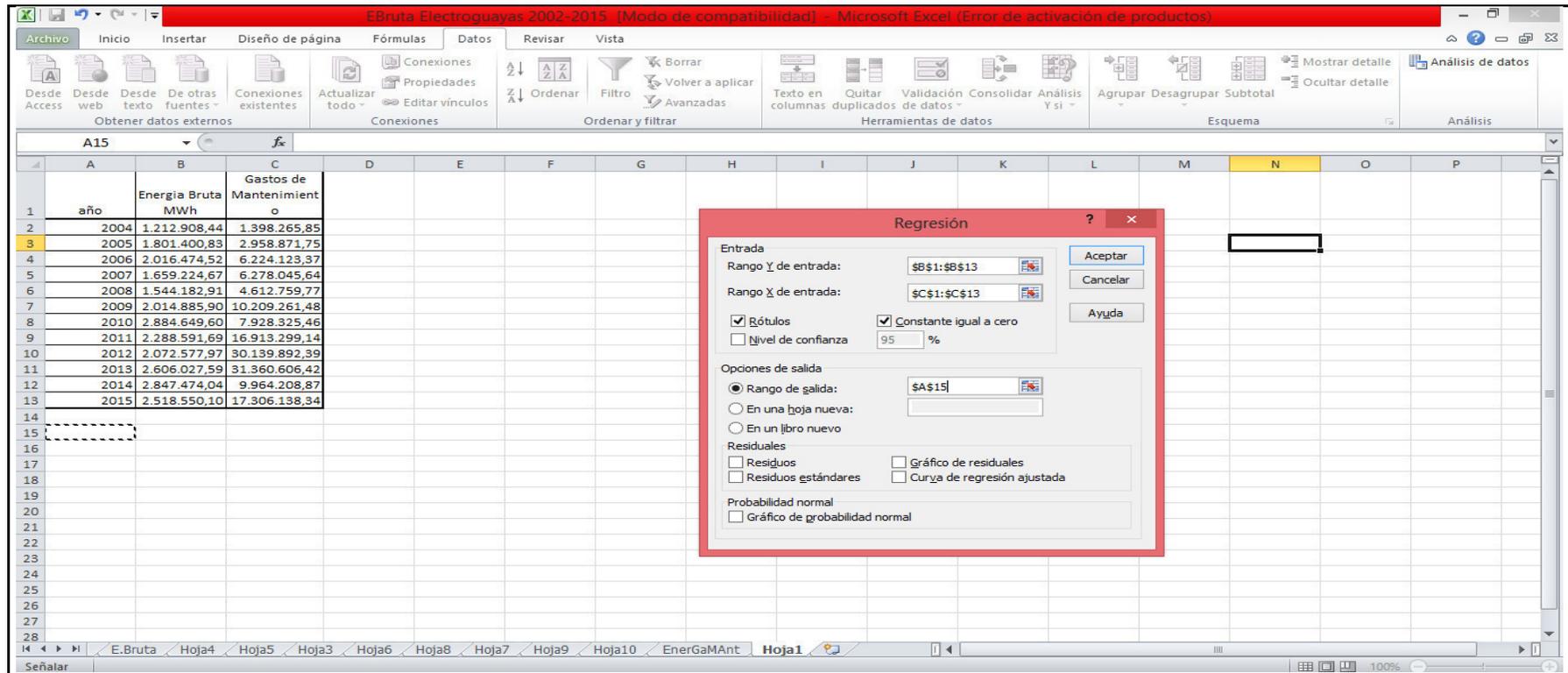
IMAGEN 4 - PASO 2 REGRESIÓN EN EXCEL



Fuente y Elaboración propia (Trabajo ilustrativo)

En la cual debemos escoger la opción REGRESIÓN y darle clic en aceptar, e inmediatamente aparecerá la siguiente ventana de dialogo:

IMAGEN 5 - PASO 3 REGRESIÓN EN EXCEL



Fuente y Elaboración propia (Trabajo ilustrativo)

En la que se debe ingresar la información como sigue en donde se muestra la opción RANGO Y DE ENTRADA la variable dependiente incluyendo desde el título de la serie este caso ENERGÍA BRUTA MWh, en la siguiente opción RANGO X DE ENTRADA se ingresa la variable independiente, luego se ubica el cursor en las opciones ROTULOS y en RANGO DE SALIDA en este caso escogimos la salida en la celda A15.

Obtenemos la siguiente información que consta en la imagen 6

IMAGEN 6 - PASO 4 REGRESIÓN EN EXCEL

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
5	2007	1.659.224,67	6.278.045,64										
6	2008	1.544.182,91	4.612.759,77										
7	2009	2.014.885,90	10.209.261,48										
8	2010	2.884.649,60	7.928.325,46										
9	2011	2.288.591,69	16.913.299,14										
10	2012	2.072.577,97	30.139.892,39										
11	2013	2.606.027,59	31.360.606,42										
12	2014	2.847.474,04	9.964.208,87										
13	2015	2.518.550,10	17.306.138,34										
15	Resumen												
17	<i>Estadísticas de la regresión</i>												
18	Coeficiente de correlación múltiple	0,47002271											
19	Coeficiente de determinación R^2	0,22092135											
20	R^2 ajustado	0,14301349											
21	Error típico	485824,855											
22	Observaciones	12											
24	ANÁLISIS DE VARIANZA												
25		<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>							
26	Regresión	1	6,69292E+11	6,69292E+11	2,835674553	0,123097929							
27	Residuos	10	2,36026E+12	2,36026E+11									
28	Total	11	3,02955E+12										
30		<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>Inferior 95,0%</i>	<i>Superior 95,0%</i>				
31	Intercepción	1822875,13	226438,1879	8,050210713	1,11465E-05	1318339,402	2327410,85	1318339,4	2327410,85				
32	Gastos de Mantenimiento	0,0247254	0,014683009	1,683946125	0,123097929	-0,007990387	0,05744118	-0,00799039	0,05744118				

Fuente y Elaboración propia (Trabajo ilustrativo)

Por la dificultad de la lectura de los dato se pondrá la información en la siguiente tabla:

TABLA 20 - RESUMEN ESTADISTICO REGRESIÓN EB Y GM CON CONSTANTE

Estadísticas de la regresión								
Coefficiente de correlación múltiple	0.4700227							
Coefficiente de determinación R ²	0.2209214							
R ² ajustado	0.1430135							
Error típico	485,824.85							
Observaciones	12							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	f prueba	Valor crítico de F	f crítico		
Regresión	1	6.69292E+11	6.69292E+11	2.84	0.12	4.96		
Residuos	10	2.36026E+12	2.36026E+11					
Total	11	3.02955E+12						
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	1,822,875	226,438	8.05	0.00	1,318,339	2,327,411	1,318,339	2,327,411
Variable X 1	0.0247254	0.0146830	1.68	0.12	(0.01)	0.06	(0.01)	0.06

Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración: Propia

Previamente a analizar el resumen cabe recalcar la siguiente regla:

$$H_0: \beta_1 = 0$$

$$H_1: \beta_1 \neq 0$$

Donde, si $T_p > T_c$ se rechaza la hipótesis nula H_0

En el resumen podemos observar que tenemos que el valor estadístico o **t de student** es de 1.68 el mismo que si lo comparamos con el valor t de la tabla de acuerdo al 95% de confianza en grado de libertad 11 cuyo valor es 1.79 este valor es mayor al valor t estadístico de la β_1 , lo que significa que se acepta la hipótesis nula (H_0).

Para confirmar el análisis se puede indicar que si el $f_{critico} < f_{prueba}$ se acepta la H_0 , lo cual en esta simulación lo constata.

Esto resultado origina la necesidad de realizar otra regresión en los cuales coeficientes obtenidos efectivamente puedan pasar la prueba de significancia t.

Regresión $Y = \beta_1 X_1$

La siguiente regresión se realizará sin el coeficiente de origen ya que realmente se quiere analizar la influencia de la variable independiente con la dependiente, siendo así solo se lo representa ambos sin el β_0 o constante de origen.

Realizando el mismo proceso y eliminando las constantes o el interceptor de la regresión tenemos la siguiente información.

TABLA 21 - RESUMEN ESTADÍSTICO REGRESIÓN EB Y GM SIN CONSTANTE

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.8311
Coefficiente de determinación R ²	0.6907
R ² ajustado	0.5998
Error típico	1,266,926
Observaciones	12

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	3.94206E+13	3.94206E+13	24.5595	0.000574
Residuos	11	1.76561E+13	1.6051E+12		
Total	12	5.70767E+13			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Gastos Mantenimiento	0.1175	0.0237	4.9558	0.0004	0.0653	0.1697	0.0653	0.1697

Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración: Propia

La ecuación propuesta queda de la siguiente manera:

$$Y = 0.1175X$$

Siendo que este coeficiente β_1 tiene un valor t estadístico de 4.955 es un valor muy superior a t crítico cuyo valor es 1.796 por tanto esta regresión pasa la prueba de significancia y se acepta el valor β_1 obtenido como válido.

Esta regresión además tiene alto nivel de correlación múltiple pero un bajo un alto coeficiente de determinación R^2 de 0.6906.

Por tanto podemos decir que entre las dos regresiones realizadas escogemos como válida la que no tiene constante, debido a que sus coeficientes β son estadísticamente significativos y además tienen coeficiente de correlación múltiple cercano a uno lo que demuestra una relación directa y que están efectivamente correlacionados.

3.2.3. REGRESIÓN LINEAL DE GENERACIÓN DE ENERGÍA RESPECTO AL CONSUMO DE COMBUSTIBLE

En esta sección se hará el mismo análisis para las variables de consumo de combustible y generación de energía eléctrica a fin de poder establecer los valores estadísticamente significativos de la siguiente tabla de datos:

La siguiente gráfica es la dispersión de ambas variables para determinar la tendencia antes de realizar los análisis estadísticos correspondientes para establecer la regresión aceptada por nivel de significancia estadística.

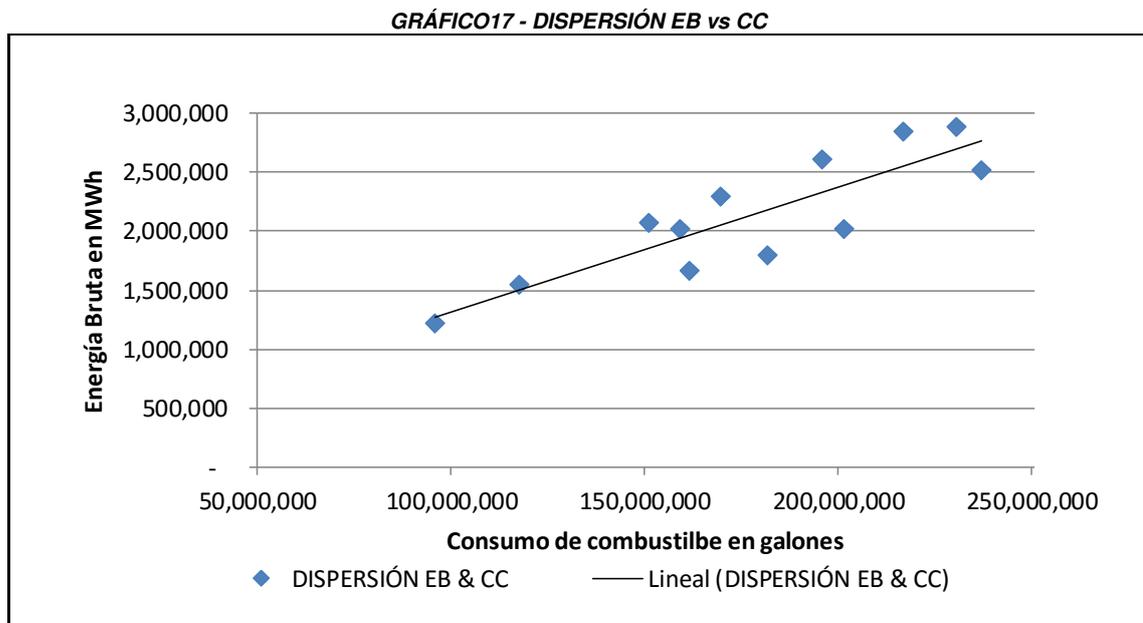
TABLA 22 - ENERGÍA BRUTA EN MWh (EB) & CONSUMOS COMBUSTIBLE FUEL OIL (CC)

AÑO	ENERGÍA BRUTA EN MWh	CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN GL
2004	1,212,908	96,044,521
2005	1,801,401	181,901,396
2006	2,016,475	201,809,852
2007	1,659,225	161,867,370
2008	1,544,183	117,590,252
2009	2,014,886	159,308,551
2010	2,884,650	230,796,872
2011	2,288,592	169,961,235
2012	2,072,578	151,411,766
2013	2,606,028	196,245,997
2014	2,847,474	217,023,882
2015	2,518,550	237,128,413

Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración Propia

La gráfica corresponde a la dispersión de los datos de consumo de combustible ubicado en el eje X y la generación energía bruta ubicada en el eje Y correspondiente por cada par ordenado, mientras la línea negra representa la tendencia de los datos que muestran ser directamente proporcional.



Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración Propia

Siendo esto tendremos la siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1$$

Siendo

Y =La Energía Bruta Generada

β_0 = La generación de autónoma de energía o la energía que no depende de los consumos de combustible.

β_1 = La propensión marginal de generación de energía por cada unidad aumentada de consumo de combustible

X_1 = El dato correspondiente a consumo de combustible.

Además, en el gráfico se observa que la serie de dispersión tiene una tendencia crecientes que refleja que ambas variables son directamente

proporcionales, con pendiente positiva lo que hace suponer que el valor esperado de β_1 será mayor a 0.

Como ya fue explicado el proceso para determinar los coeficientes desde una hoja de cálculo en la imagen tres, cuatro, cinco y seis se procederá a realizar esta regresión desde la hoja y utilizaremos la información proporcionada desde el utilitario para realizar las pruebas de análisis tanto de significancia de los valores β como los coeficientes de correlación múltiple y el coeficiente de determinación para de esa manera establecer si se acepta o no la regresión realizada en esta sección.

TABLA 23 - RESUMEN ESTADÍSTICO REGRESIÓN EB Y CC CON CONSTANTE

Estadísticas de la regresión								
Coefficiente de correlación múltiple	0.86759							
Coefficiente de determinación R ²	0.75271							
R ² ajustado	0.72798							
Error típico	273,713							
Observaciones	12							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F			
Regresión	1	2.28036E+12	2.28036E+12	30.44	0.00026			
Residuos	10	7.49189E+11	74918901900					
Total	11	3.02955E+12						
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	255,737.22	347,421.42	0.7361	0.4786	(518,365.95)	1,029,840.40	(518,365.95)	1,029,840.40
Consumo de Combustible	0.010560	0.00191402	5.5170	0.00026	0.00630	0.01482	0.00630	0.01482

Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración: Propia

Con estos datos la regresión queda de la siguiente manera:

$$Y = 255,737 + 0.01056X$$

Esta ecuación los coeficientes establecen que la generación de energía eléctrica sin depender del consumo de combustibles es de 255,737 MWh, mientras que la pendiente o el incremento proporcional en energía eléctrica con respecto al incremento de consumo de combustible es de 0.01056, lo que en

otras palabras significa que por cada 100 galones adicionales de combustible consumido se aumenta en 1.056 MWh la energía generada.

Analizando el coeficiente mediante las pruebas de significancia estadísticas el valor t resultante del coeficiente β_1 correspondiente al consumo de combustible es de 5.517 valor superior a 1.796 valor de t crítico obtenido de la tabla de t de student, lo que nos permite concluir que el coeficiente es estadísticamente significativo y por ende se acepta el valor dado y se rechaza la hipótesis nula.

Analizando el coeficiente mediante la prueba de significancia estadística el valor t resultante del coeficiente β_0 correspondiente al origen de la recta o en la generación de energía que no depende del consumo de combustible es de 0.7361 valor inferior a 1.796 valor de t crítico obtenida de la tabla de t de student. Lo que nos permite concluir que el coeficiente no es estadísticamente significativo por lo que se acepta la hipótesis nula.

Regresión $Y = \beta_1 X_1$

Siendo que el resultado de la pruebas de significancia no son estadísticamente significativos en ambos coeficientes se procede a realizar un nuevo análisis excluyendo el valor de la constante y realizarlo teniendo como punto de origen el valor 0.

Realizando el cálculo en una hoja de Excel nos da los siguientes resultados:

TABLA 24 - RESUMEN ESTADÍSTICO REGRESIÓN EB Y CC SIN CONSTANTE

Estadísticas de la regresión								
Coefficiente de correlación múltiple	0.99306							
Coefficiente de determinación R ²	0.98616							
R ² ajustado	0.89525							
Error típico	267,952							
Observaciones	12							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F			
Regresión	1	5.62869E+13	5.62869E+13	783.96	0.00000			
Residuos	11	7.89783E+11	71798492430					
Total	12	5.70767E+13						
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
Consumo de Combustible	0.011932	0.00042614	27.9992	0.00000	0.01099	0.01287	0.01099	0.01287

Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración: Propia

En esta regresión obtenemos un coeficiente de β_1 0.01193 lo que significa que por cada 100 galones de consumo de combustible, la energía eléctrica generada aumenta en 1.193 MWh, este coeficiente pasa la prueba t de nivel de significancia siendo que el valor t estadístico es de 27.9992 muy superior a 1.796 lo que permite aceptar el coeficiente como válido.

Además esta regresión con constante 0 tiene un valor de correlación múltiple y el coeficiente de determinación más elevado lo que mejora así el nivel de significancia estadística de esta regresión.

3.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS REGRESIONES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y GASTOS DE MANTENIMIENTO

Por los resultados obtenidos se puede determinar que las ecuaciones que serían aceptadas para análisis estadístico son las que consta de valores sin

constante es decir que las ecuaciones que tienen significancia estadísticas con las que nacen en el origen 0 de la variable independiente.

Por ejemplo en las ecuaciones que se relaciona Energía Bruta & Gastos de Mantenimiento tenemos los siguientes datos:

Datos de Regresión EB y GM con constante	
Y	= 1,822,875 + 0.0247 X1
Ee	= 226,438 0.0147
T	= 8.0502 1.6839
R²	= 0.2209

Datos de Regresión EB y GM sin constante	
Y	= 0.1175 X1
Ee	= 0.0237
T	= 4.9558
R²	= 0.6907

En lo que respecta a la ecuación con constante vemos que a pesar que la constante pasa la prueba de significancia y se podría tomar como válido ese valor, cuenta con un coeficiente de determinación bajo de 0.22 mientras que el coeficiente β_1 no pasa la prueba de significancia por lo que se realizó una nueva regresión manteniendo la constante como valor 0 la misma que dio un coeficiente β_1 de 0.1175 mientras en este caso el coeficiente β_1 si pasa la prueba de significancia lo que nos permite aceptar el valor como valido ya que el valor t es 4.955 que es un valor mucho mayor al determinado por t crítico.

3.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LAS REGRESIONES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y DE CONSUMO DE COMBUSTIBLE

En el análisis se escogió dos variables para realizar los cálculos de la regresión y así poder determinar cuál de las dos es la más influyente sobre la variable dependiente, debido a esto se prefiere realizarlo por separado, para luego poder realizar un análisis con una regresión entre ambas variables independientes para determinar cuál es la más influyente entre estas sobre los datos n de la variable dependiente.

Por los resultados obtenidos se puede determinar que las ecuaciones que serían aceptadas para análisis estadísticos son las que consta de valores sin

constante, es decir que las ecuaciones que tienen significancia estadística son las que nacen en el origen 0 de la variable independiente.

Por ejemplo en las ecuaciones que se relaciona energía bruta vs consumo de combustible tenemos los siguientes datos:

Datos de Regresión EB y CC con constante		
Y	=	255,737 + 0.0106 X1
Ee	=	347,421 0.0019
T	=	0.7361 5.5170
R ²	=	0.7527

Datos de Regresión EB y CC sin constante		
Y	=	0.0119 X1
Ee	=	0.0004
T	=	27.9992
R ²	=	0.9862

Entre ambas regresiones podemos observar que la regresión con el coeficiente de la constante es decir β_0 no pasa la prueba de significancia debido que el valor de la t es de 0.736 valor inferior a 1.769 por lo cual el valor obtenido no se considera válido, además el coeficiente de determinación R^2 es de 0.75.

Mientras que en la ecuación sin constante el valor β_1 es de 0.0119 siendo que este valor t es 27.99, valor que pasa el valor de 1.769, y por ende se acepta el valor β_1 como válido, además se refleja claramente que el valor del coeficiente de determinación mejoro siendo que el R^2 de la primera regresión fue de 0.75 mientras el valor R^2 en la segunda regresión sin constante es de 0.98 lo que demuestra que esta regresión tiene valores estadísticamente más significativos.

Por ambos resultados podemos determinar que la regresión estadísticamente más significativa analizada de la generación de energía bruta con respecto a consumo de combustible y gasto de mantenimiento, son las ecuaciones en las que se realizó la regresión obviando la constante, con esta omisión los coeficientes β fueron válidos según la prueba t y además los errores estándar disminuyeron y el coeficiente de determinación aumento significativamente.

CAPÍTULO IV REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE: CÁLCULO Y ANÁLISIS

4.1. INTRODUCCIÓN

La parte final de este trabajo se realizara el cálculo de regresión lineal múltiple con constante y sin constante para luego analizar las pruebas estadísticas y a partir de la regresión que resulte ser altamente más significativa, hacer un breve análisis de los datos obtenidos para interpretarlo en función de la Unidad de Negocio y poder probar la hipótesis de que la generación de energía esta correlacionada con el consumo de combustible, los gastos de mantenimiento y entre estas poder detectar cual es la que tienen un mayor grado de correlación para poder realizar futuros análisis y pruebas que pueden ser aplicado en la misma Unidad de Negocio.

4.2. REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

La regresión lineal múltiple consiste en analizar una variable dependiente con respecto a dos o más variables independientes y así determinar valores de coeficiente β . Se utiliza para estimar Y dados valores seleccionados de X y k variables independientes. (Douglas A. Lind, 2004)

En el siguiente análisis realizaremos una regresión lineal teniendo como variable dependiente la generación de energía bruta con las dos variables independientes que son gasto de mantenimiento y consumo de combustible, la misma que estará representada en el siguiente ecuación:

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2$$

Donde tendremos las siguientes identidades:

Y = Generación de Energía Eléctrica

β_0 = Generación de Energía Eléctrica sin depender de las Variables

β_1 = Propensión marginal de la Generación de Energía Eléctrica por aumento de Gastos de Mantenimiento.

X_1 = Gastos de Mantenimiento.

β_2 = Propensión marginal de la Generación de Energía Eléctrica por aumento de Consumo de Combustible.

X_2 = Consumo de Combustible.

La información a ser analizada esta proporcionada en la siguiente tabla

TABLA 25 - DATOS DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE

AÑO	ENERGÍA BRUTA EN MWh	GASTOS DE MANTENIMIENTO EN USD	CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN GL
2004	1,212,908	1,398,266	96,044,521
2005	1,801,401	2,958,872	181,901,396
2006	2,016,475	6,224,123	201,809,852
2007	1,659,225	6,278,046	161,867,370
2008	1,544,183	4,612,760	117,590,252
2009	2,014,886	10,209,261	159,308,551
2010	2,884,650	7,928,325	230,796,872
2011	2,288,592	16,913,299	169,961,235
2012	2,072,578	30,139,892	151,411,766
2013	2,606,028	31,360,606	196,245,997
2014	2,847,474	9,964,209	217,023,882
2015	2,518,550	17,306,138	237,128,413

Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración Propia

Según el método de mínimos de cuadrados la fórmula de la regresión para obtener los coeficientes β_0 y β_1 se realiza los siguientes cálculos (Douglas A. Lind, 2004):

$$\sum Y = n\beta_0 + (\beta_1 \sum X_1) + (\beta_2 \sum X_2)$$

$$\sum YX_1 = (\beta_0 \sum X_1) + (\beta_1 \sum X_1^2) + (\beta_2 \sum X_1X_2)$$

$$\sum YX_2 = (\beta_0 \sum X_2) + (\beta_1 \sum X_1X_2) + (\beta_2 \sum X_2^2)$$

Como ya fue explicado en el capítulo anterior en nuestro trabajo realizaremos la información mediante la hoja de cálculo en Excel la única diferencia es que como se aprecia en la Imagen 5 paso 3 para regresión lineal, en la cual se selecciona en el eje X solo una columna en esta se incluye las dos columnas, cabe recalcar que se puede incluir tantas variables como requiera la ecuación, con sus respectivos títulos sin olvidar seleccionar rótulos de datos de la forma como podemos observar en la siguiente imagen:

IMAGEN 7 - SELECCIÓN DE DATOS DE LA REGRESIÓN MULTIPLE

	A	B	C	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
1	Energía Bruta MWh	Gastos de Mantenimiento	Consumo de Combustible en galones													
2	1.212.908,44	1.398.265,85	960.445,21													
3	1.801.400,83	2.958.871,75	1.819.013,96													
4	2.016.474,52	6.224.123,37	2.018.098,52													
5	1.659.224,67	6.278.045,64	1.618.673,70													
6	1.544.182,91	4.612.759,77	1.175.902,52													
7	2.014.885,90	10.209.261,48	1.593.085,51													
8	2.884.649,60	7.928.325,46	2.307.968,72													
9	2.288.591,69	16.913.299,14	1.699.612,35													
10	2.072.577,97	30.139.892,39	1.514.117,66													
11	2.606.027,59	31.360.606,42	1.962.459,97													
12	2.847.474,04	9.964.208,87	2.170.238,82													
13	2.518.550,10	17.306.138,34	2.371.284,13													

Fuente y Elaboración propia (Trabajo ilustrativo)

Obtenemos la información proporcionada en la siguiente tabla:

TABLA 26 - RESUMEN ESTADÍSTICO REGRESIÓN ENERGÍA BRUTA Y GASTOS DE MANTENIMIENTO, CONSUMO DE COMBUSTIBLE CON CONSTANTE.

Estadísticas de la regresión	
Coefficiente de correlación múltiple	0.9093
Coefficiente de determinación R ²	0.8269
R ² ajustado	0.7884
Error típico	241,415
Observaciones	12

ANÁLISIS DE VARIANZA					
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	2	2.50502E+12	1.25251E+12	21.49	0.000374
Residuos	9	5.24529E+11	58281031413		
Total	11	3.02955E+12			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	220,011	306,965	0.7167	0.4917	(474,392)	914,414	(474,392)	914,414
GASTOS DE MANTENIMIENTO	0.0147	0.0075	1.9634	0.0812	(0.0022)	0.0317	(0.0022)	0.0317
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	0.0098	0.0017	5.6123	0.0003	0.0058	0.0137	0.0058	0.0137

Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración: Propia

De acuerdo a la información obtenida en la tabla anterior tenemos la siguiente ecuación:

$$Y = 220,011 + 0.0147 X_1 + 0.0098 X_2$$

Donde estos coeficientes nos indican lo siguiente el coeficiente β_0 con valor de 220,011 indica que la energía bruta generada que no depende ni de los costos de mantenimiento ni del consumo de combustible es igual a 220.011,10 MWh.

Mientras el coeficiente β_1 con valor de 0,0147 lo que indica que por cada incremento dado en los gastos de mantenimiento la generación de energía aumentara en 0.01475 es decir por cada dólar adicional que se utiliza en

gastos de mantenimiento se genera un total de 0,0147 de energía bruta adicional.

De su lado el coeficiente β_2 con valor de 0,0098 lo que indica que por cada incremento dado en el consumo de combustible la generación de energía aumentará en 0,0098 es decir por cada 100 galones adicionales que se utiliza se genera un total de 0,98 MWh de energía bruta adicional.

Los valores correspondientes de los errores típicos son 306.965 para el valor β_0 , de 0,0075 para la β_1 y de 0,0017 para β_2 ; siendo el error típico más alto de estos coeficientes el de la β_0 .

Los valores correspondientes de los ***t estadísticos*** son 0,7167 para el valor β_0 de 1,9634 para la β_1 y de 5,6123 para β_2 ; siendo *t estadístico* más bajo en estos coeficientes el de la β_0 , muy por debajo de la *t crítica* de 1.769; lo que nos da como resultado no considerar el valor del β_0 dado en nuestra regresión.

Entre el análisis comparativo del error típico vemos que hay una relación entre este valor y la aceptación del coeficiente β , siendo que cuanto mayor es el error típico el coeficiente β no pasa la prueba de significancia un dato muy relevante para contrastar la veracidad y el fundamento de la decisión de aceptar o rechazar los coeficiente β obtenidos son consistentes entre el error típico y la aceptación de estos coeficientes.

4.3. REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE SIN CONSTANTE

Como resultado de la pruebas de significancia anterior de la regresión lineal múltiple con constante, en el cual la constante tuvo un valor menor a 1.769 *t crítico para un valor de 11 grados de libertad con un 5% de margen de error*, nos indica que no se debe considerar el coeficiente β_0 o la constante de la regresión, por lo cual es necesario recurrir a una nueva regresión en la cual no se incluirá el coeficiente β_0 o constante de la recta, el proceso a realizar es en hoja de Excel con la única diferencia que se selecciona la opción constante igual a cero.

Esto se lo realizar ya que el coeficiente es estadísticamente significativo y no tiene injerencia positiva en la ecuación lineal múltiple, ya que así podemos obtener la ecuación con un mayor coeficiente de correlación y determinación

Con el proceso realizado obtenemos la información correspondiente a la regresión lineal múltiple los datos que constan en la siguiente tabla:

TABLA 27 - RESUMEN ESTADÍSTICO REGRESIÓN ENERGÍA BRUTA Y GASTOS DE MANTENIMIENTO, CONSUMO DE COMBUSTIBLE SIN CONSTANTE

<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coefficiente de correlación múltiple	0.9951							
Coefficiente de determinación R ²	0.9903							
R ² ajustado	0.8893							
Error típico	235,472							
Observaciones	12							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F			
Regresión	2	5.65222E+13	2.82611E+13	509.70	0.00000000			
Residuos	10	5.54468E+11	55446837433					
Total	12	5.70767E+13						
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A	#N/A
GASTOS DE MANTENIMIENTO	0.0151	0.0073	2.0601	0.0664	(0.0012)	0.0314	(0.0012)	0.0314
CONSUMO DE COMBUSTIBLE	0.0109	0.0006	17.5623	0.0000	0.0095	0.0123	0.0095	0.0123

Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración: Propia

Con la información obtenida podemos establecer la regresión resultante que es la siguiente:

$$Y = 0.0151X_1 + 0.0109X_2$$

Esta ecuación representa que el coeficiente β_1 es igual a 0.0151 y el coeficiente β_2 es 0.0109, lo que significa que si consideramos β_1 indica que un incremento en una unidad adicional de gasto de mantenimiento genera un incremento de 0,0151 MWh de energía bruta adicional.

Mientras que el coeficiente β_2 indica que un incremento en una unidad adicional de consumo de combustible genera un incremento de 0.0109 MWh de energía bruta adicional.

Los valores correspondientes a los errores típicos son 0,0073 para el valor β_1 , y de 0,0621 para β_2 ; en ambos casos el error típico es considerablemente bajo lo que conllevaría a que pase fácilmente la prueba t en ambos coeficientes.

Los valores correspondientes de los t estadísticos son 2.0601 para el β_1 , de 17.5623 para la β_2 , estos t prueba están muy por encima de la t crítica de 1.769; lo que nos da como resultado que los coeficientes del β_1 y β_2 son estadísticamente significativos y se los acepta para el análisis de la regresión, por lo tanto se rechaza la hipótesis nula (H_0)

Además podemos comprobar que el coeficiente de correlación múltiple de la regresión es de 0.9951 y el coeficiente de determinación de 0.9902 en este caso, mientras que en la regresión con constante el coeficiente de correlación múltiple es de 0.09093 y el coeficiente de determinación es de 0.8268 por tanto se puede decir que la regresión sin constante está más correlacionada y determinada con respecto a la regresión con constante.

En resumen se determina que la regresión sin constante pasa la prueba de significancia de los valores β y que esta regresión a su vez tiene los coeficientes de correlación y determinación más altos demostrando así que la regresión en la cual se aceptan los valores β obtenidos están con un porcentaje de determinación y correlación múltiple mayor, dato que permite corroborar que la regresión sin constante efectivamente pasan la pruebas de significancia estadísticas.

4.4. RESUMEN DE REGRESIONES CALCULADAS

Como se puede observar en las regresiones que cada regresión analizada con respecto a otra variable es más significativa estadísticamente cuando se omite la constante así por ejemplo en la regresión que se analiza la generación de energía bruta con respecto a los gastos de mantenimiento en lo que respecta al

coeficiente β_0 pasa la prueba de significancia, siendo un valor superior al 1.769 del *t crítico*, pero en los que respecta al β_1 no pasa la prueba de significancia dando un valor de *t estadístico* de 1.683 es inferior a 1.769 valor que debería superar este coeficiente para considerar como válido el valor β calculado, en esta regresión también obtenemos un coeficiente de determinación R^2 0.2209; mientras en la regresión que omitimos la constante o el valor de β_0 , obtenemos que el valor de β_1 pasa la prueba de significancia con un valor de *t estadístico* de 4.9558, siendo que esta regresión aumenta el coeficiente de determinación de R^2 a 0.6906, por tanto la regresión sin constante se acepta los valores β encontrado y esto a su vez aumenta la determinación de ambas variables, generación de energía bruta y gastos de mantenimiento.

Datos de Regresión EB y GM con constante	
Y	= 1,822,875 + 0.0247 X1
Ee	= 226,438 0.0147
T	= 8.0502 1.6839
R ²	= 0.2209

Datos de Regresión EB y GM sin constante	
Y	= 0.1175 X1
Ee	= 0.0237
T	= 4.9558
R ²	= 0.6907

Mientras la regresión que se analiza la generación de energía bruta con respecto al consumo de combustible, en lo que respecta al coeficiente β_0 no pasa la prueba de significancia, siendo un valor inferior al 1.769 del *t crítico*, pero en los que respecta al β_1 sí pasa la prueba de significancia dando un valor de *t estadístico* de 5.51 muy superior a 1.769 valor que supera fácilmente este coeficiente para considerar como válido el valor β calculado, en esta regresión también obtenemos un coeficiente de determinación R^2 de 0.7527 mientras en la regresión que omitimos la constante o el valor de β_0 , obtenemos que el valor de β_1 pasa la prueba de significancia con un valor de *t estadístico* de 27.9992, siendo que esta regresión aumenta el coeficiente de determinación de R^2 a 0.9862, por tanto la regresión sin constante se acepta los valores β encontrado y esto a su vez aumenta la determinación de ambas variables, generación de Energía Bruta y Consumo de Combustible.

Datos de Regresión EB y CC con constante		
Y	=	255,737 + 0.0106 X1
Ee	=	347,421 0.0019
T	=	0.7361 5.5170
R²	=	0.7527

Datos de Regresión EB y CC sin constante		
Y	=	0.0119 X1
Ee	=	0.0004
T	=	27.9992
R²	=	0.9862

Por su parte la regresión múltiple que se analiza la generación de energía bruta con respecto a los gastos de mantenimiento y al consumo de combustible, en lo que respecta al coeficientes β_0 no pasa la prueba de significancia, siendo un valor inferior al 1.769 del *t crítico*, pero en los que respecta al β_1 y β_2 sí pasan la prueba de significancia dando un valor de *t estadístico* de 1.9633 y 5.6123, respectivamente muy superior a 1.769 valor que supera fácilmente este coeficiente para considerar como valido el valor β calculado, en esta regresión también obtenemos un coeficiente de determinación R^2 de 0.8269 mientras en la regresión que omitimos la constante o el valor de β_0 , obtenemos que el valor de β_1 y β_2 pasan la prueba de significancia con un valor de *t estadístico* de 2.0601 y 17.5623, respectivamente, siendo que esta regresión aumenta el coeficiente de determinación de R^2 a 0.9951, por tanto la regresión sin constante se acepta los valores β encontrado y esto a su vez aumenta la determinación de ambas variables, generación de energía bruta con respecto a gastos de mantenimiento y consumo de combustible.

Datos de Regresión Múltiple EB, GM Y CC con constante			
Y	=	220,011 + 0.0147 X1 + 0.0098 X2	
Ee	=	306,965 0.00751 0.001738	
T	=	0.7167 1.96336 5.612297	
R²	=	0.8269	

Datos de Regresión Múltiple EB, GM Y CC sin constante			
Y	=	0.0151 X1 + 0.0109 X2	
Ee	=	0.0073 0.0006	
T	=	2.0601 17.5623	
R²	=	0.9903	

Es decir que según la regresión múltiple sin constante podemos decir que el incremento por cada unidad en gastos de mantenimiento se genera 0.015 MWh de energía adicional, siendo este el valor estadísticamente significativo debido a que tiene un *t estadístico* superior al requerido, y que además un incremento en una 100 galones de consumo de combustible genera un incremento en 1.09

MWh en energía bruta adicional siendo este el valor estadísticamente significativo debido a que tiene un *t estadístico* superior al requerido.

Teniendo esta ecuación un coeficiente de determinación considerablemente alto en un valor de 0.9903 lo que indica que las variables de consumo de combustible y gastos de mantenimiento determinan en un 99.51% la generación de energía bruta por lo tanto aceptamos esta ecuación como la que explica de mejor manera el comportamiento de esas variables a la generación de energía bruta con coeficientes β estadísticamente significativos y alto nivel de determinación.

4.5. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN

Tal como se indicaba al inicio del trabajo el análisis de correlación es un grupo de técnicas estadísticas empleadas para medir la fuerza de la relación entre dos variables, para lo cual se necesita calcular el coeficiente de correlación en base a la siguiente ecuación (Douglas A. Lind, 2004):

$$r = \frac{n(\sum XY) - (\sum X)(\sum Y)}{\sqrt{[n(\sum X^2) - (\sum X)^2][n(\sum Y^2) - (\sum Y)^2]}}$$

Como dato explicativo también se considera el coeficiente de determinación que es la proporción de la variación total en la variable dependiente que es explicada por la variable independiente. Puede tomar cualquier valor entre 0 y 1, inclusive y se obtiene elevando al cuadrado el coeficiente de correlación. (Douglas A. Lind, 2004)

4.6. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE VARIABLES DE GENERACIÓN DE ENERGÍA BRUTA Y CONSUMO DE COMBUSTIBLE

Una vez realizado el cálculo de todos los estadísticos de la regresión lineal y de la múltiple, se puede analizar la tabla 28 donde se muestra el resumen del coeficiente de correlación y determinación para cada una de las ecuaciones planteadas:

TABLA 28 - RESUMEN DE COEFICIENTE DE CORRELACIÓN Y DETERMINACIÓN

Interceptor	Variable	Coeficientes	
		Correlación	Determinación
Incluido	Gasto Manteimiento	0.4700	0.2209
	Consumo Combustible	0.8676	0.7527
	Gasto mantenimiento y Consumo de Combustible	0.9093	0.8269
No incluido	Gasto Manteimiento	0.8311	0.6907
	Consumo Combustible	0.9931	0.9862
	Gasto mantenimiento y Consumo de Combustible	0.9951	0.9903

Fuente: Unidad de Negocio

Elaboración: Propia

Se observa que existe una mayor correlación entre las variables explicativas con la explicada cuando no se incluye el interceptor o la constante es igual a 0.

Se concluye que efectivamente las dos variables tienen una correlación directa siendo altamente más correlacionado el consumo de combustible, donde se observa que la variación en la generación de energía bruta en un 99% se debe a la variación del consumo de combustible.

En el resumen de las regresiones calculadas se había considerado la ecuación de gastos de mantenimiento y consumo de combustible sin constante como la que explicaba de mejor manera la generación de energía bruta, sin embargo y de acuerdo al principio de parsimonia lo más sencillo es lo mejor, por lo cual la regresión del consumo de combustible sin interceptor, sería la que mejor explica a la variable generación de energía bruta.

CONCLUSIONES

Por el presente estudio realizado podemos concluir:

- La generación de energía de un país influye directamente en el desarrollo productivo de este y tiene un gran impacto en el sector residencial debido al alto porcentaje de consumo de energía.
- La cantidad de energía para abastecer el país tiene que ver con la decisión política que tiene el Estado para mantener su soberanía energética, de esta manera y por la inversión realizada en el sector energético en los últimos años, se logra generar un cambio positivo al dinamizar la economía, creando empleo y bienestar en la sociedad.
- En base al análisis realizado, la variable *gasto de mantenimiento* tiene coeficientes que son estadísticamente significativos sin constante, esto referenciando directamente al β_1 y de acuerdo a la prueba del estadístico t ; sin embargo mantiene un coeficiente de determinación o R^2 **0.69** lo cual es muy bajo para el objetivo planteado.
- La variable *consumo de combustible* a diferencia de la variable *gasto de mantenimiento*, tiene un R^2 **0.98** lo cual explica de una mejor manera a la variable dependiente generación de energía.
- Al unir las dos variables *gastos de mantenimiento con consumo de combustible* y realizar la regresión lineal múltiple, los coeficiente son estadísticamente significativos sin interceptor de acuerdo a la prueba de significancia, esto se traduce a que estas dos variables están correlacionadas con la generación de energía en un 99% con un coeficiente de determinación del mismo valor.
- De acuerdo al objetivo general del proyecto se concluye que el consumo de combustible es donde se debe tener mayor control al momento de incurrir en este gasto, ya que cada galón tiene un costo de

55 centavos, lo que significa que aproximadamente que por cada MWh generado se están consumiendo en promedio 83 galones de combustible , de esta manera se podrán optimizar los recursos, lo que tendría un efecto multiplicador ya que la tarifa del kWh podría reducirse de acuerdo a las mejoras a implementar.

RECOMENDACIONES

Por el presente estudio realizado podemos realizar las siguientes recomendaciones:

- A nivel macro se deberá apoyar directamente el abastecimiento de energía al sector productivo del país lo cual permitirá generar mayor desarrollo económico.
- Continuar con los proyectos de inversión para poder asegurar la soberanía energética que de acuerdo en el Ranking mundial estamos en el 5° lugar.
- Mantener el proyecto de cambio de la matriz productiva lo que beneficiara directamente a todos los sectores del país.
- Considerar como ecuación de análisis la regresión múltiple sin constante efectuada con las variables de *gastos de mantenimiento y consumo de combustible* con respecto a *generación de energía bruta*.
- Mejorar el rendimiento de las máquinas de generación ya que actualmente el precio del galón de Fuel Oil está regulado por el estado a un costo de 55 centavos, al implementar un proyecto que mejore el rendimiento se podría generar más energía con la misma cantidad de combustible, lo que se traslada a una disminución del costo de producción por lo tanto las empresas distribuidoras podrían reducir las tarifas directamente cobradas a los usuarios en este caso al sector residencial.
- Promover la implementación de una contabilidad de costos que permita discriminar los ingresos y gastos por unidad y así determinar el comportamiento y el rendimiento de cada unidad de generación, en resumen se haría el mismo análisis pero de manera individual.
- Plantear la utilización del modelo desarrollado a la alta gerencia, con el fin de contribuir con una herramienta que permita pronosticar o proyectar gastos y producción futura, lo cual se medirá con indicadores de optimización de recursos y de cumplimiento.

BIBLIOGRAFÍA

- Agencia de Regulación y Control de Electricidad. (2012). *Plan Maestro de Electrificación 2013-2022*. Quito.
- Asamblea Constituyente. (2008). *Constitución del Ecuador*. Montecristi.
- Brenes, G. S. (2012). *Comprendiendo la Estadística Inferencial*. Costa Rica: Tecnológica Costa Rica.
- Corporación Centro Nacional de Control de Energía. (2012). *CENACE*. Recuperado el 18 de Agosto de 2015, de <http://www.cenace.org.ec/>
- Corporación Eléctrica del Ecuador. (2015). *CELEC EP*. Recuperado el 30 de junio de 2016, de <https://www.celec.gob.ec/electroguayas/index.php/quienes-somos/antecedentes>
- Corporación Eléctrica del Ecuador. (2015). *CELEC EP*. Recuperado el 17 de octubre de 2016, de <https://www.celec.gob.ec/electroguayas/index.php/quienes-somos/metas>
- Corporación Eléctrica del Ecuador. (2015). *CELEC EP*. Recuperado el 18 de Agosto de 2015, de <https://www.celec.gob.ec/>
- Damodar Gujarati, D. P. (2010). Econometría. En D. P. Damodar Gujarati, *Econometría* (págs. 15 - 45). Mexico DF: Mc Graw Hill.
- Douglas A. Lind, W. G. (2004). *Estadística para Administración y Economía*. México D. F.: Alfa Omega Grupo Editor.
- Lucía, J. L. (1990). Criterios para la información de la gestión de mantenimiento. *Revista Mantenimiento*, 5.
- Ministerio Coordinador de Sectores Estratégicos. (2013). *Balance Energético Nacional*. Quito.
- Ministerio de Electricidad y Energía Renovable. (2007). *MEER*. Recuperado el 14 de julio de 2015, de <http://www.energia.gob.ec/el-ministerio/>
- Secretaría Nacional de Planificación y Desarrollo. (2013). *SENPLADES*. Recuperado el 06 de octubre de 2013, de <http://www.buenvivir.gob.ec/>
- World Energy Council. (2015). *WEC*. Recuperado el 10 de junio de 2016, de <https://www.worldenergy.org/data/trilemma-index/>

ANEXOS

BASE DE DATOS INFORMACIÓN

Año	Mes	Energía Bruta MWh	Potencia Efectiva	Gastos de Mantenimiento	Consumo de Combustible en galones
2004	Enero	166.597	393,00	31.879	12.221.143
2004	Febrero	185.295	393,00	24.963	12.793.147
2004	Marzo	143.748	393,00	4.029	10.402.856
2004	Abril	148.373	393,00	17.594	10.027.360
2004	Mayo	59.105	393,00	16.804	4.667.854
2004	Junio	19.743	393,00	71.265	1.755.503
2004	Julio	30.231	393,00	176.952	2.784.914
2004	Agosto	53.432	393,00	264.795	4.618.539
2004	Septiembre	79.310	393,00	95.745	6.588.988
2004	Octubre	108.147	393,00	95.557	10.951.474
2004	Noviembre	99.825	393,00	179.123	9.334.799
2004	Diciembre	119.103	393,00	419.559	9.897.945
2005	Enero	213.732	393,00	3.555	18.794.364
2005	Febrero	134.213	393,00	15.946	12.328.844
2005	Marzo	107.535	393,00	9.522	9.940.239
2005	Abril	102.750	393,00	17.939	10.218.682
2005	Mayo	102.278	393,00	45.120	12.212.689
2005	Junio	70.967	393,00	101.712	8.276.724
2005	Julio	161.305	393,00	125.545	20.732.551
2005	Agosto	170.567	393,00	319.197	17.873.034
2005	Septiembre	169.960	393,00	113.084	15.407.446

Año	Mes	Energía Bruta MWh	Potencia Efectiva	Gastos de Mantenimiento	Consumo de Combustible en galones
2005	Octubre	209.186	393,00	108.894	21.266.927
2005	Noviembre	170.589	393,00	242.782	16.067.659
2005	Diciembre	188.319	393,00	1.855.575	18.782.239
2006	Enero	183.626	393,00	50.044	17.772.348
2006	Febrero	114.382	393,00	122.358	11.374.256
2006	Marzo	146.419	393,00	304.844	13.501.375
2006	Abril	93.074	393,00	356.728	9.585.424
2006	Mayo	160.688	393,00	390.125	16.309.335
2006	Junio	123.348	393,00	595.384	11.250.858
2006	Julio	172.578	393,00	478.713	17.168.699
2006	Agosto	197.475	393,00	540.290	20.355.981
2006	Septiembre	169.820	393,00	874.798	18.010.254
2006	Octubre	225.595	393,00	1.168.278	23.060.214
2006	Noviembre	238.778	393,00	928.152	24.068.728
2006	Diciembre	190.691	393,00	414.409	19.352.381
2007	Enero	176.962	393,00	159.879	17.029.086
2007	Febrero	198.397	393,00	173.667	19.634.657
2007	Marzo	197.534	393,00	224.568	21.256.273
2007	Abril	129.617	393,00	932.667	13.796.264
2007	Mayo	133.821	393,00	154.264	12.055.073
2007	Junio	80.757	393,00	583.595	7.309.930
2007	Julio	83.081	393,00	1.011.317	7.911.005

Año	Mes	Energía Bruta MWh	Potencia Efectiva	Gastos de Mantenimiento	Consumo de Combustible en galones
2007	Agosto	106.395	393,00	1.686.029	10.393.717
2007	Septiembre	114.411	393,00	739.426	10.772.284
2007	Octubre	161.351	393,00	300.489	15.772.670
2007	Noviembre	130.448	393,00	290.318	13.049.423
2007	Diciembre	146.450	393,00	21.828	12.886.989
2008	Enero	159.804	393,00	197.241	14.132.415
2008	Febrero	110.800	393,00	87.914	10.000.094
2008	Marzo	74.098	393,00	265.282	7.083.868
2008	Abril	101.227	393,00	315.596	8.943.633
2008	Mayo	87.476	393,00	379.176	7.866.481
2008	Junio	138.476	393,00	203.563	10.320.096
2008	Julio	131.779	393,00	125.961	9.654.654
2008	Agosto	170.474	393,00	186.710	11.525.533
2008	Septiembre	167.166	393,00	176.357	11.230.912
2008	Octubre	135.958	393,00	315.895	9.162.514
2008	Noviembre	115.293	393,00	500.209	7.561.516
2008	Diciembre	151.633	393,00	1.858.857	10.108.535
2009	Enero	91.024	393,00	443.406	6.544.642
2009	Febrero	82.187	393,00	472.482	5.840.887
2009	Marzo	125.573	393,00	389.989	8.825.242
2009	Abril	149.211	393,00	2.464.163	10.224.551
2009	Mayo	139.625	393,00	3.846.079	9.438.712

Año	Mes	Energía Bruta MWh	Potencia Efectiva	Gastos de Mantenimiento	Consumo de Combustible en galones
2009	Junio	146.427	393,00	353.988	10.558.996
2009	Julio	137.330	393,00	416.900	10.126.933
2009	Agosto	162.788	393,00	341.515	12.558.637
2009	Septiembre	217.836	393,00	142.673	17.870.363
2009	Octubre	260.642	393,00	856.888	22.721.228
2009	Noviembre	254.587	393,00	208.325	22.206.719
2009	Diciembre	247.656	393,00	272.853	22.391.642
2010	Enero	289.469	393,00	49.867	24.841.161
2010	Febrero	224.037	393,00	495.292	18.150.553
2010	Marzo	301.691	393,00	375.626	27.382.436
2010	Abril	288.094	393,00	157.606	23.590.888
2010	Mayo	262.164	393,00	190.278	21.075.581
2010	Junio	197.662	393,00	307.206	15.061.739
2010	Julio	162.471	393,00	512.225	12.825.345
2010	Agosto	131.453	393,00	606.119	10.819.763
2010	Septiembre	264.117	393,00	711.193	22.207.818
2010	Octubre	283.667	393,00	498.380	21.310.839
2010	Noviembre	246.958	393,00	178.965	17.731.798
2010	Diciembre	232.866	393,00	3.845.567	15.798.951
2011	Enero	175.075	393,00	180.063	13.885.312
2011	Febrero	165.968	393,00	266.672	15.318.634
2011	Marzo	250.826	469,00	579.003	22.280.265

Año	Mes	Energía Bruta MWh	Potencia Efectiva	Gastos de Mantenimiento	Consumo de Combustible en galones
2011	Abril	196.594	469,00	1.967.484	15.093.933
2011	Mayo	172.971	469,00	1.552.527	12.255.042
2011	Junio	139.791	469,00	234.513	8.503.913
2011	Julio	126.248	469,00	431.173	8.258.043
2011	Agosto	204.341	469,00	878.469	14.224.110
2011	Septiembre	183.627	469,00	1.388.346	12.928.307
2011	Octubre	232.823	469,00	788.083	16.057.717
2011	Noviembre	249.481	469,00	5.515.648	17.947.505
2011	Diciembre	190.848	469,00	3.131.318	13.208.454
2012	Enero	110.809	469,00	1.966.616	8.622.255
2012	Febrero	100.694	469,00	3.125.263	8.123.397
2012	Marzo	146.155	469,00	2.651.584	11.940.998
2012	Abril	148.225	469,00	385.817	10.192.604
2012	Mayo	141.713	469,00	303.465	9.702.888
2012	Junio	166.729	469,00	394.227	10.911.274
2012	Julio	118.893	508,90	6.420.882	7.918.585
2012	Agosto	186.709	508,90	412.339	12.876.962
2012	Septiembre	192.510	508,90	440.518	12.375.383
2012	Octubre	228.717	508,90	5.023.626	16.571.822
2012	Noviembre	232.368	508,90	634.902	16.952.576
2012	Diciembre	299.056	508,90	8.380.652	25.223.022
2013	Enero	249.260	508,90	348.998	16.990.092

Año	Mes	Energía Bruta MWh	Potencia Efectiva	Gastos de Mantenimiento	Consumo de Combustible en galones
2013	Febrero	155.428	508,90	585.412	10.590.530
2013	Marzo	201.552	508,90	786.574	13.560.872
2013	Abril	267.374	508,90	987.519	20.811.095
2013	Mayo	241.217	508,90	1.165.859	18.306.381
2013	Junio	163.608	508,90	1.541.794	11.196.441
2013	Julio	156.566	513,99	1.072.337	10.833.610
2013	Agosto	108.341	513,99	2.510.786	7.643.806
2013	Septiembre	243.526	513,99	5.752.163	18.638.590
2013	Octubre	278.581	513,99	1.943.494	23.261.998
2013	Noviembre	231.990	513,99	2.821.106	19.140.098
2013	Diciembre	308.585	513,99	11.844.565	25.272.484
2014	Enero	298.240	513,99	433.044	24.499.205
2014	Febrero	282.499	517,05	404.564	21.528.138
2014	Marzo	283.745	517,05	681.785	21.437.820
2014	Abril	250.214	517,05	442.033	19.711.220
2014	Mayo	269.787	517,05	432.267	21.121.601
2014	Junio	140.476	517,05	1.082.983	9.816.420
2014	Julio	136.295	517,05	635.634	10.252.041
2014	Agosto	165.757	517,05	1.027.250	11.070.436
2014	Septiembre	271.282	517,05	1.070.318	22.024.850
2014	Octubre	195.704	517,05	2.028.963	12.519.083
2014	Noviembre	240.889	517,05	814.035	18.257.691

Año	Mes	Energía Bruta MWh	Potencia Efectiva	Gastos de Mantenimiento	Consumo de Combustible en galones
2014	Diciembre	312.586	517,05	911.333	24.785.379
2015	Enero	249.466	517,05	1.267.740	17.701.706
2015	Febrero	199.449	517,05	888.406	14.361.204
2015	Marzo	252.514	517,05	1.319.872	18.842.942
2015	Abril	168.482	517,05	1.501.808	17.629.594
2015	Mayo	165.217	517,05	1.768.170	15.044.001
2015	Junio	157.496	517,05	1.481.413	14.730.919
2015	Julio	118.825	517,05	2.093.061	9.875.529
2015	Agosto	196.708	517,05	1.490.098	16.391.931
2015	Septiembre	206.801	517,05	828.545	21.034.719
2015	Octubre	267.157	517,05	1.300.371	26.607.676
2015	Noviembre	270.435	517,05	1.364.322	22.181.531
2015	Diciembre	265.999	517,05	2.002.332	42.726.663

TABLA t de student

TABLA IX Distribución t de Student						
Grados de libertad	Probabilidades					
	0.75	0.9	0.95	0.975	0.99	0.995
1	1.000	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657
2	0.816	1.888	2.920	4.303	6.965	9.925
3	0.765	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841
4	0.741	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604
5	0.727	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032
6	0.718	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707
7	0.711	1.415	1.895	2.365	2.998	3.499
8	0.706	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355
9	0.703	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250
10	0.700	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169
11	0.697	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106
12	0.695	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055
13	0.694	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012
14	0.692	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977
15	0.691	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947
16	0.690	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921
17	0.689	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898
18	0.688	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878
19	0.688	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861
20	0.687	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845
21	0.686	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831
22	0.686	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819
23	0.685	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807
24	0.685	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797
25	0.684	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787
26	0.684	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779
27	0.684	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771
28	0.683	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763
29	0.683	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756
30	0.683	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750
40	0.681	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704
60	0.679	1.296	1.671	2.000	2.390	2.660
120	0.677	1.289	1.658	1.980	2.358	2.617