"ANÁLISIS MULTIVARIANTE DE LA GENERACIÓN Y PRODUCCIÓN DE ENERGÍA EN UNA TERMOELÉCTRICA DE LA CIUDAD DE ESMERALDAS, PERIODO 2004 – 2005"

Delgado Katty[1], Saad De Janón Julia [2]

Los índices de Producción que registra CTE (Central Térmica Esmeraldas) son 9, ellos permiten analizar a la propia empresa y al organismo de control el estado en que se encuentra; podría decirse que es muy confiable pues el 97,30% de los meses ha alcanzado la meta del 100%; bajo las condiciones de tiempo de creación y recursos disponibles son sus dueños quienes deben determinar que tan conveniente es este puntaje, el conjunto restante de índices presenta variaciones altas cuando su meta es baja y otros de forma opuesta, ejemplo de ello el Factor de Reserva al Sistema con una meta del 2% por alcanzar pero un promedio mensual de casi 20% en la práctica.

The indexes of Production that CTE registers (Central Térmica Esmeraldas) are 9, they allow to analyze to the own company and the control organism the state in that; it could be said that is very reliable because 97,30% of the months has reached the goal of 100%; under the conditions of time of creation and available resources are their owners who should determine that so convenient it is this value, the remaining group of indexes it presents high variations when its goal is low and others in an opposed way, example of it the Factor of Reservation to the System with a goal of 2% to reach but a monthly average of almost 20% in the practice..

Palabras Claves: Índices, Generación, CTE, Tiempo, Componentes principales categóricos, Regresión.

1. INTRODUCCION

La presente investigación pretende analizar las variables básicas de generación y producción en una central termoeléctrica, resumidas estas en el Informe Ejecutivo de Producción que registra mensualmente la empresa CTE (Central Térmica Esmeraldas) para control y supervisión del CENACE; se determina de importancia el tema porque es la energía eléctrica clave para el desarrollo de un basto número de actividades personales y empresariales, en el país el consumo eléctrico va en aumento y es necesario que las empresas encargadas de generar, producir y distribuir electricidad lo hagan de forma eficiente. Hay índices que determinan el buen funcionamiento de la central en cuanto a producción se refiere, se tratará de encontrar relaciones e influencias de las variables en dichos índices y describir su evolución en los últimos 7 años.

El Objetivo general es determinar el estado de los Índices de Producción de energía y los factores que influyen en ellos.

Objetivos específicos:

Estimar el comportamiento de los índices en el tiempo.

Realizar un análisis Univariado de las variables estudiadas

Realizar un análisis Multivariado.

2. ANÁLISIS DESCRIPTIVO

Describiremos aquí solamente los índices de Producción y las variables que influyen en ellos:

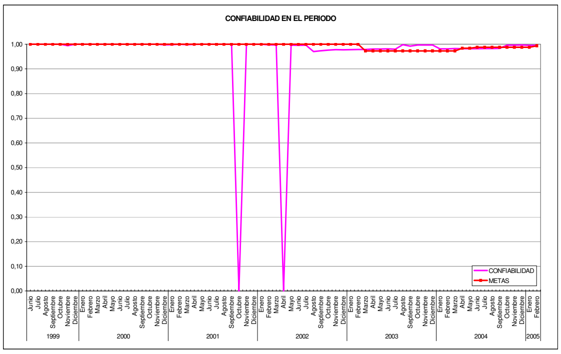
[1] *Delgado Katty, Ingeniera en Estadística Informática; (e-mail: ytten@hotmail.com)*

[2] *Saad de Janón Julia Doctora en Física, Directora de Tesis, Profesora de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL) en Instituto de Ciencias Matemáticas; (e-mail: jsaad@goliat.espol.edu.ec).*

Confiabilidad

Es la confiabilidad resultado de dividir energía generada entre la energía disponible por 100. Se observará en la gráfica 1 que para el periodo analizado se presentan 2 valores de cero, en el mes de octubre y abril de 2001 y 2002 respectivamente; esto debido a daños graves en el generador. La meta que se propone alcanzar cada mes es del cien por ciento, cumplida fielmente hasta el primer valor de cero mencionado anteriormente. Luego la meta se reduce a 97,30% que incluso es superada en varios meses, presenta un promedio para el periodo de 96,40% .

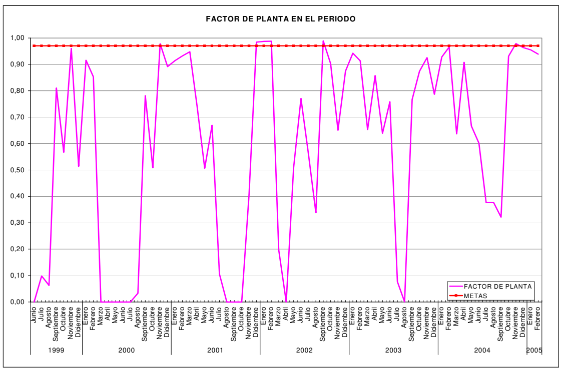
Gráfico 1



Factor de Planta

Se presenta este factor como resultado 100 menos la fracción horas falla al año sobre total de horas en el año por 100.

Gráfico 2

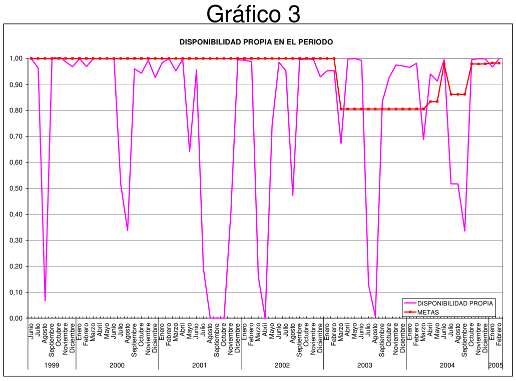


En el gráfico 2 se muestra el desarrollo de esos valores en el tiempo, las fallas mas grandes se dieron en el 2000 y debido a daños en la caldera y el generador, se puede observar aquí mucha variabilidad cuando la meta por alcanzar es una constante de 97%.

Disponibilidad Propia

Este índice se obtiene de la diferencia entre las horas periodo y las horas fuera de servicio por las razones que se miden dividido para las horas periodo, todo por 100; la meta que este índice pretende es del 100% hasta marzo del 2003 que se reduce al 80,54% y luego vuelve a variar, se puede observar sus muchas fluctuaciones, unas ocasiones alcanza la meta otras la sobrepasa, se diría que es irregular.

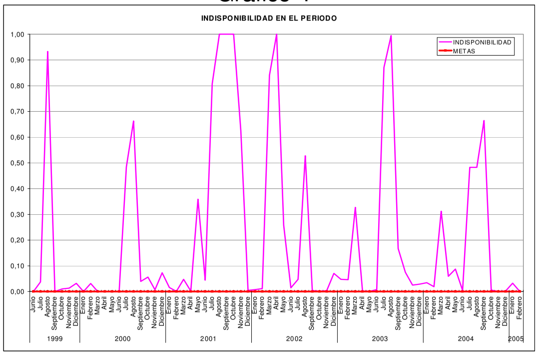
Gráfico 3



Indisponibilidad

Es 100 menos la disponibilidad; podría decirse su complemento y se puede ver el gráfico 4 comparado con el anterior. Con un promedio de indisponibilidad mensual de 21,52% cuando su meta es 0%.

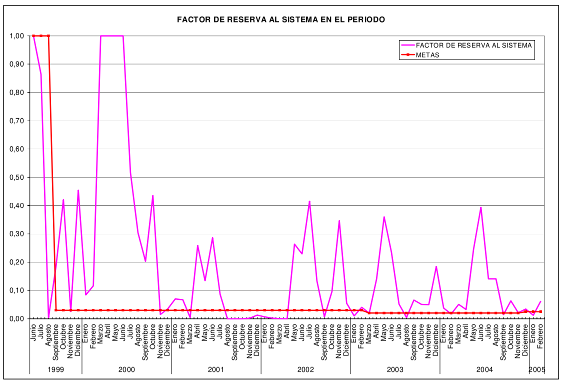
Gráfico 4



Factor de Reserva al Sistema

El índice que a continuación presentamos es igual a la diferencia entre energía disponible y reserva al sistema sobre energía disponible, si observamos el gráfico 5 notaremos que su meta a partir de septiembre de 1999 cambió de 100% al 3%, esto debido a especificaciones del CENACE, vemos como es de variable la medida.

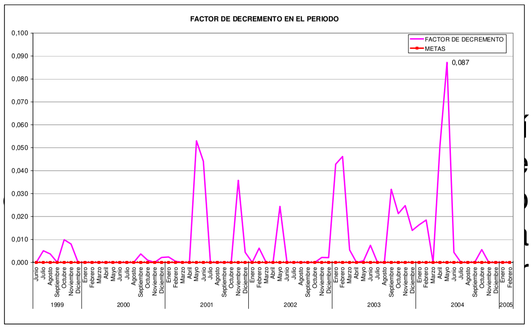
Gráfico 5



Factor de Decremento.

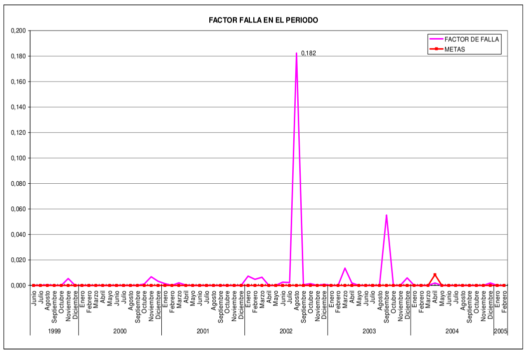
La meta que este índice pretende alcanzar es de 0% en todo el periodo, como promedio presenta un 0,85% y alcanza su máximo valor en mayo de 2004.

Gráfico 6



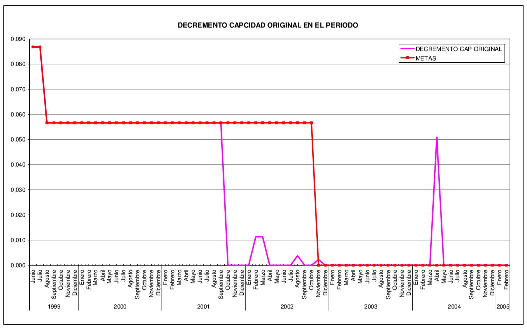
pudo determinar que porcentaje de falla corresponde a la empresa como tal y a factores ajenos a ella, factores que no puede controlar, estos se empezaron a medir por separado desde el año 2002. Se muestra en el gráfico 7 que el valor más alto de falla se dio en agosto del 2002, se ve también que en periodos largos la falla fue cero, podría decirse que los equipos y su uso es adecuado.

Gráfico 5



Decremento de Capacidad Original

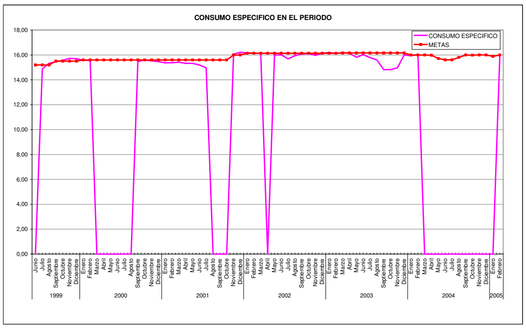
Gráfico 8



Observemos en el gráfico 8 la variación de metas, el CENACE disponde se cambie de 8,66% a 5,66% hasta octubre del 2002 para cambiar finalmente a 0%; notamos también que se cumple con exactitud hasta septiembre del 2001 con pocas variaciones cercanas a 0 y establecerse.

Consumo Específico.

Gráfico 9



Un índice tambié importante, los ceros que presenta la el gráfico 9 son las veces que dejo de generar la planta, por las diversas razones, mantenimiento o daños. La meta que que pretente alcanzar a lo largo del periodo es variable unas veces de bajo o sobre los 16 MWH/glnes, tome en consideración que este índice si presenta unidades, no es como los anteriores dado en porcentajes.

Procederemos a mostrar las variables más importantes por los que ellos se verían afectados.

Estas son las medidas de tendencia central y dispersión de la Potencia Máxima

Media		109,655
Mediana		130,090
Moda		0,000
Desv. típ.		46,412
Varianza		2154,037
Asimetría		-1,941
Curtosis		1,929
Mínimo		0,000
Máximo		134,900
Percentiles	25	124,000
	50	130,090
	75	131,970

Los siguientes datos pertenecen a la generación bruta, de esa generación debe salir también la que se utiliza en la planta y su resultado es la generación neta. En promedio es 56.427,975 MWH.

Media		56427,975
Mediana		66526,080
Moda		0,000
Desv. típ.		34550,233
Varianza		1193718616,429
Asimetría		-0,625
Curtosis		-1,142
Mínimo		0,000
Máximo		97300,300
Percentiles	25	25481,265
	50	66526,080
	75	86347,910

La siguiente variable es el consumo interno, la cantidad de energía que utiliza la planta en promedio es 3745,236 MWH.

Media		3745,236
Mediana		5110,200
Moda		0,000
Desv. típ.		2201,493
Varianza		4846570,479
Asimetría		-0,838
Curtosis		-1,020
Mínimo		0,000
Máximo		5804,300
Percentiles	25	1531,500
	50	5110,200
	75	5434,000

Cuado la planta no Genera se entrega igual la energía que requiere la distribuidora EMELESA debido a la conexión con la Subestación Santo Domingo así mismo se abastece ella a través del SNI Sistema Nacional Interconectado.

3. ANÁLISIS MULTIVARIADO

Análisis de Homogeneidad para los Índices y Consumo de Fuel Oil

Autovalores

Dimensión	Autovalores
1	,388
2	,316

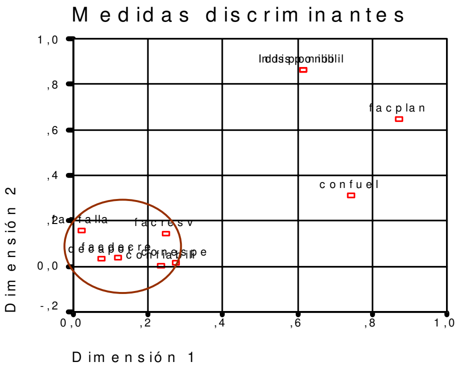
El porcentaje de varianza es explicado por la dimensión uno con 0,388 y 0,316 para la dimensión 2.

Discriminante	Dimensión	
	1	2
Confiabilidad	,236	,002
Factor de Planta	,873	,647
Disponibilidad	,614	,864
Indisponibilidad	,614	,864
Factor Resv.	,250	,146
Factor Decremento	,120	,038
Factor Falla	,022	,156
Decremento Cap. Org	,076	,032
Consumo Especìfico	,276	,017
Consumo Fuel	,742	,314

La tabla presenta los valores discriminantes; las variables que discriminan mejor en la dimensión 1, son el Factor de Planta, Consumo de Fuel a Disponibilidad e Indisponibilidad, en la dimensión 2 Factor de Planta, Disponibilidad e Indisponibilidad.

El gráfico 10 muestra mejor lo descrito en el párrafo anterior, las variables que se encuentran encerradas en el círculo son los índices que se dan en los primeros intervalos en su mayoría, más alejados se encuentra el consumo de fuel, Factor de Planta que son valores más altos, es decir se requiere de altas cantidades de combustible para mantener un Factor de planta alto y relativamente la confiabilidad de la misma forma. Son variables alejadas de la tendencia.

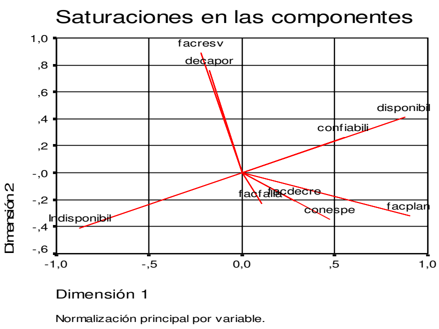
Gráfico 10



La junto a la gráfica 11 muestran que las saturaciones de las componentes son menores a uno, pero cuatro de estas están sobre 0,5; posiblemente debería redefinirse la codificación o quitarlas del análisis.

Saturaciones	Dimensión	
	1	2
Confiabilidad	,546	,265
Fac. Plan.	,902	-,317
Disponibilidad	,875	,410
Indisponibilidad	-,875	-,410
Fac. Resv al Sistema	-,222	,892
Fac Decremento	,282	-,205
Fac Falla	,104	-,229
Decremento Cap. Org	-,175	,758
Con. Específico	,473	-,346

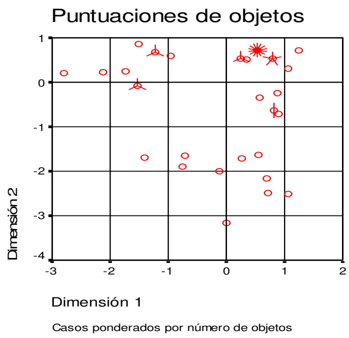
Gráfico 11



Análisis de Homogeneidad Principales Variables

En el gráfico 12 se resume las puntuaciones de las variables que intervienen el en análisis, adjuntas a él. Vemos que en el círculo derecho, se concentra la mayor cantidad de datos, los girasoles tienen
un máximo de 14 pétalos y mínimo uno. En el círculo de la izquierda hasta 3 pétalos máximos por girasol, en el rectángulo los girasoles no tienen pétalos. La concentración de datos derecha es superior a 0 en la dimensión 1 y entre –1 y 1 en la dimensión 2.

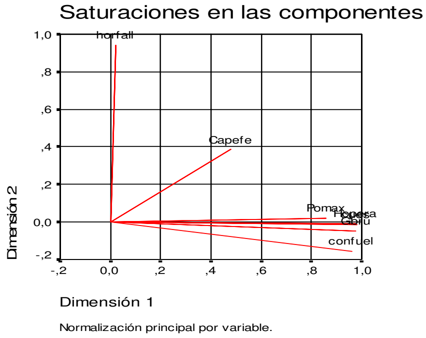
Gráfico 12



Las saturaciones se explican en el siguiente gráfico, 4.4 y la tabla 4.12, pretenden determinar el grado de aproximación o lejanía entre las variable, la más lejana de ellas es el consumo de Fuel.

	Dimensión	
	1	2
Cap. Efectiva	,479	,385
Pot. Máxima	,859	,019
Gen Bruta	,978	-,049
Con Interno UES	,978	-,014
Horas Operación	,976	-,010
Hora Falla	,019	,940
Con Fuel	,960	-,154

Gráfico 13

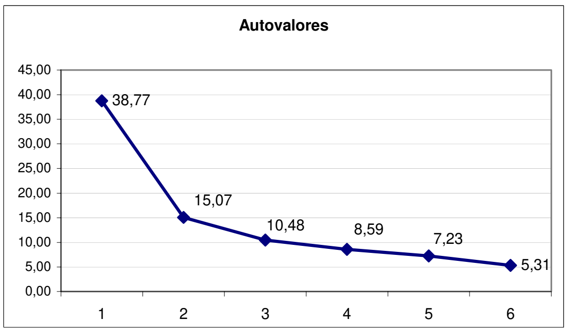


Análisis Factorial para las variables no Índices

El análisis con las 26 variables se reduce a un considerado número de 6 componentes que nos darán luces para determinar claramente los grupos de variables. Si tomamos los 3 primeros explicaremos el 64,32 % de la variabilidad de los datos.

Sumas de las saturaciones al cuadrado de la extracción		
Total	% de la varianza	% acumulado
10,08	38,77	38,77
3,92	15,07	53,84
2,72	10,48	64,32
2,23	8,59	72,92
1,88	7,23	80,15
1,38	5,31	85,46

Gráfico 13



Matriz de componentes rotados			
	Componente		
	1	2	3
Cap. Efec	0,17	0,29	-0,09
Pomas	0,58	0,41	0,06
Pmin	0,22	0,09	-0,04
Gbru	**0,90**	0,33	-0,02
Cues	**0,91**	0,27	0,05
Cufs	-0,70	-0,10	0,00
GN	**0,90**	0,31	-0,01
Eeem	0,14	0,13	0,06
Hper	-0,21	-0,13	0,07
Hopera	**0,93**	0,24	0,06
Herese	-0,19	**-0,95**	-0,04
Ener no por Dec	0,14	-0,05	0,70
Ener no Mto. Pro	-0,89	0,42	-0,09
Ener no Mat. Core	0,01	0,08	**0,89**
E no generada	**-0,91**	-0,30	0,02
Res al Sist	-0,17	**-0,95**	-0,06
H Mto Pro	**-0,89**	0,42	-0,09
H Mto Cor	0,01	0,08	**0,89**
H Fall	-0,06	0,04	-0,02
H Equi Decre	0,08	-0,05	**0,79**
H Dispo	0,89	-0,43	0,02
H Indispo	-0,89	0,43	-0,02
E Disp	-0,06	0,10	0,01
E Pro CENACE	0,58	0,19	0,11
E no por Falla	-0,02	0,04	0,00
Consumo fuel	0,86	0,35	-0,02

Se realizó una rotación a los datos para alcanzar mayor precisión, los valores marcados serán los conjuntos que sirvan para predecir el comportamiento de los índices.

Regresión mediante Escalamiento Óptimo (CATREG)

La regresión mediante escalamiento óptimo cuantifica los datos categóricos mediante la asignación de valores numéricos a las categorías, obteniéndose una ecuación de regresión lineal óptima para las variables transformadas. La regresión mediante escalamiento óptimo se conoce también por el acrónimo CATREG, del inglés categorical regression with optimal scaling (regresión categórica mediante escalamiento óptimo).

El análisis de regresión lineal ordinario implica minimizar las diferencias de la suma de los cuadrados entre una variable de respuesta (la dependiente) y una combinación ponderada de las variables predictoras (las independientes). Las variables son normalmente cuantitativas, con los datos categóricos (nominales) recodificados como variables binarias o de contraste. Como resultado, las variables categóricas sirven para separar grupos de casos y la técnica estima conjuntos separados de parámetros para cada grupo. Los coeficientes estimados reflejan cómo los cambios en los predictores afectan a la respuesta. El pronóstico de la respuesta es posible para cualquier combinación de los valores predictores.

Una aproximación alternativa incluye la regresión de la respuesta respecto a los propios valores predictores categóricos. La utilización de transformaciones no lineales permite a las variables ser analizadas en varios niveles para encontrar el modelo que más se ajusta.

Estadístico R

Medida de asociación lineal entre dos variables. Los valores de R van de -1 (una relación negativa perfecta en la que todos los puntos caen sobre una recta de pendiente negativa) y +1 (una relación positiva perfecta en la que todos los puntos caen sobre una recta de pendiente positiva). Un valor de O indica que no existe relación lineal.

Regresión para Predecir Índice Decremento Capacidad Original

Resumen del modelo		
R múltiple	R cuadrado	R cuadrado corregida
0,69	0,47	0,42

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	32,63	6,00	5,44	9,27	0,00
Residual	36,37	62,00	0,59		
Total	69,00	68,00			

En las tablas anteriores se puede apreciar un valor de R múltiple el cual indica la relación de las variables con el índice, que en este caso es aceptada porque los confirma la siguiente tabla ANOVA con un nivel de significancia de 0,00 y 6 grados de libertad.
Se presentará a continuación la tabla del modelo y su tolerancia.

	Coeficientes tipificados				Tolerancia	
	Beta	Error típ.	F	Importancia	Después de la transformac	Antes de la transforc
Gen Bruta	-0,70	0,35	4,09	0,40	0,01	0,04
Cues	0,34	0,36	0,93	-0,19	0,00	0,03
H Opera	-0,82	0,12	49,24	0,44	0,05	0,03
E no generad	0,26	0,06	17,10	0,12	0,16	0,05
E no Gen pro	0,19	0,06	9,48	-0,04	0,16	0,03
H Dispo	1,37	0,07	420,82	0,27	0,14	0,03

La tabla anterior presenta los coeficientes tipificados para el modelo de regresión, con las variables, Generación Bruta, Consumo Interno UES, Horas Operación, Energía no Generada, Energía no Generada por Mantenimiento Programado, Horas Disponibles.

Regresión para Predecir Índice Factor de Reserva al Sistema.

Es casi cercano a uno el valor de R, por consiguiente podemos decir que casi están perfectamente alineados los valores de las variables en la tabla con el índice en cuestión, también se puede verificar esa afirmación por los valores del nivel de significancia en la tabla ANOVA.

Resumen del modelo		
R múltiple	R cuadrado	R cuadrado corregida
0,98	0,96	0,96

ANOVA					
	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Regresión	66,33	6,00	11,06	257,05	0,00
Residual	2,67	62,00	0,04		
Total	69,00	68,00			

	Coeficientes tipificados				Tolerancia	
	Beta	Error típ.	F	Importancia	Después de la transform	Antes de la transform
Gen Bruta	-0,48	0,32	2,22	0,27	0,08	0,04
Cues	-0,13	0,39	0,11	0,10	0,06	0,03
H Opera	-0,82	0,38	4,64	0,62	0,06	0,03
E no generad	-0,52	0,32	2,68	-0,20	0,08	0,05
E no Gen pro	-0,61	0,15	17,44	0,19	0,40	0,03
H Dispo	0,19	0,13	2,12	0,01	0,48	0,03

El valor de los errores es pequeño, el estadístico F mayor es para la Energía no generada y la importancia más alta es para la variable Horas en Operación. Se realizaron Modelos para todos los índices con las variables más importantes.

4. CONCLUSIONES

1. El Informe Ejecutivo de Proceso de Producción Contiene 34 medidas de dicho proceso, ellas fueron tomadas como variables de este estudio adicionando una mas que se requería en el cálculo de los Índices de Producción, de las 34 variables 9 son del tipo índice, registrados en forma de porcentaje y dependientes de varias medidas. El CENACE es quien diseña este tipo de informe y controla con el las generadoras de el tipo Térmico.
2. El índice de Confiabilidad es casi estable en el tiempo, con un promedio de 0,96 la meta que se pretende alcanzar es 1. El Factor de planta no corre con la misma suerte; presenta siempre valores extremos y pocas veces alcanza su objetivo que es 0,97. La Disponibilidad Propia presenta muchas variaciones también, incluso se llegó a reducir el nivel objetivo, su promedio es de 0,78 su meta propuesta es 1, en un intervalo de tiempo donde se redujo esta meta la variable sobrepasa lo esperado. La Indisponibilidad es lo opuesto a la anterior habrá que invertir los resultados expuestos. La meta del Factor de reserva al sistema es 0,02; su promedio es 0,19 con un periodo muy elevado en el cual dejó de generar la planta por daños serios en los equipos. Lo esperado es que no haya Factor de Decremento pero no siempre ocurre, el máximo valor presente en el periodo fue en mayo del 2004. Factor Falla, hay fallas que no son propias de la planta sino del SIN, no se pudo determinar con que porcentaje falla el sistema afectando la planta porque la separación de este valor se da solo hasta septiembre del 2002, el promedio es 5%. En cuanto al Decremento de Capacidad Original tenemos que su meta es cero pero de no ser por el periodo entre octubre del 2001 a noviembre del 2002 coincidiría su meta con su comportamiento. El Consumo Específico debe ser bajo, la planta alcanza la meta de 16,16 en un 76%.
3. Las variables que se probaron son más importantes en el estudio y que ayudan a explicar el comportamiento de los índices son la Generación Bruta, Consumo Interno UES, Generación Neta, Horas Operación, Energía no Generada por Mantenimiento Programado, Energía no Generada, Horas Mantenimiento Programado, Horas Disponibles, Horas Indisponible.
4. Siempre que no Genere la Planta estará cubierto el servicio a EMELESA por la Interconexión con la Subestación Santo Domingo, es su promedio de Energía no Generada 38.012,93 MWH comparado la demanda mensual de la distribuidora que es en promedio 26.661,0 MWH es mas del 100%.
5. En el anexo III se muestra con es la programación que realiza es CENACE debido a los requerimiento del SNI y como realmente se Genera en el año 2001 fue cuando medos se cumplió el requerimiento.
6. El tiempo disponible promedio es 572,16 horas mensuales esto equivale al 78,33%, Horas falla son 0,46%.

7. Se pudo obtener modelos para predecir ciertos índices fuertemente alineados con algunas variables, a partir del análisis de factores y una rotación de los mismos.

5. RECOMENDACIONES

1. Establecer parámetros más estrictos en índices como el de disponibilidad para que no presenten profundas desviaciones de las metas que se proponen, esto puede ser con efectivo mantenimiento de los equipos, reducción de los tiempos de paro, utilizar los modelos regresivos para determinar o predecir el comportamiento de los mismos.
2. Tomar muy en cuenta los mantenimientos que se programan para dejar de generar energía, porque esta variable influye en los índices de producción, que refleja el estado actual de la empresa.

3. Coordinar con el CENACE periodos y cantidades de generación que pueda cumplir la empresa.
4. Determinar si el consumo Interno de Energía es el adecuado porque es una variable de mucha influencia en las demás que se podría estar ignorando su importancia.
5. Pedir asesoramiento en temas de control de sistemas para monitorear los equipos y disminuir las horas de falla a lo que se propone.
6. No es conveniente que se supere en casi 50% la demanda de su mayor cliente con lo que no se generó solo porque se puede cubrir esta de otro modo que nos es produciendo.
7. Mantener constante el índice de confiabilidad en esmerarse en alcanzar las metas de los otros sin descuidarse.

BIBLIOGRAFÍA

1 LA ENERGÍA; TIPOS DE ENERGÍA
http://html.rincondelvago.com/energia-mecanica_potencial-y-cinetica.html

2 GENERADORES Y TURBINAS
UOP MANUAL DE ENTRENAMIENTO TRAIN YOUR REFINERY OPERATORS 1978

3 CICLO DE RANKINE

http://www.monografias.com/trabajos7/rank/rank.shtml

4 CALDERAS
MANUAL DEL INGENIERO DE PLANTA TOMO II ROBERT C. ROSALER.

5 CENTRALES GENERADORAS DE ELECTRICIDAD
http://html.rincondelvago.com

6 TERMOELÉCTRICA ESMERALDAS
Informe Técnico Anual de Central Térmica Esmeraldas (2003).
Estudio de Impacto Ambiental Definitivo Expost Central Térmica Esmeraldas (2003)
Informe Ejecutivo de Producción 1999 a Febrero 2005

7 www.cenace.gov.ec (Fecha de última visita Febrero 2004)

8 CONELEC
www.conelec.com.ec

9 INTERCONEXIÓN CON COLOMBIA
Boletín Ministerio de Energía y Minas (2002)

10 ANÁLISIS ESTADÍSTICO CON SPSS PARA WINDOWS
B. VISAUTA VINACUA (1998), Volumen II, Primera Edición.