AUDITORIA DEL SISTEMA ELÉCTRICO DE LA EMPRESA PLASTIDOR

Ing. Mónica Flores Marín[1], Ing. Elsa Mayorga Quinteros[2], Ing. Juan Gallo Galarza[3]

[1] Ingeniera en Electricidad, especialización Electrónica y Automatización Industrial; email: moniquita_flores@yahoo.com.mx

[2] Ingeniera en Electricidad, especialización Electrónica y Automatización Industrial; email: elsamayorga@hotmail.com

[3] Director de Tesis. Ingeniero en Potencia, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 1981, email: jgallo@espol.edu.ec.

RESUMEN

ESPAÑOL

Plastidor es una empresa que esta unida a otra (Plásticos Ecuatorianos), y ya que no existe antecedentes de una auditoria eléctrica; a través de esta tesis se presentó alternativas de solución para las deficiencias existentes en la instalación eléctrica.
El presente trabajo ha sido desarrollado siguiendo las recomendaciones prácticas para la instalación eléctrica para fábricas industriales hechas por el NEC (Nacional Electrical Code) 2002. Se realizó la toma de datos de todos los equipos que constituyen la planta, además se elaboró un diagrama eléctrico, no existente en la fábrica, para luego proceder a un análisis de subdimensionamiento y sobredimensionamiento de cableado, protecciones, tuberías, etc. por medio de cálculos teóricos – prácticos y con ayuda de software para al final establecer las debidas comparaciones con el sistema existente y en caso se requiriera poder seleccionar los equipos adecuados.
Además establecer que beneficios a nivel económico y energético traerá la adecuada corrección, también se pudo realizar un análisis comparativo – económico que determinó si resulta conveniente a Plastidor separarse o permanecer unido eléctricamente a Plásticos Ecuatorianos.

INGLÉS

Plastidor is a factory that is connected to another (Plásticos Ecuatorianos), and there are not any antecedents about an electrical audit; trough this project were presented alternatives of solution to the deficient electrical installation.
The present job has been development following the practical recommendations for electrical installation of industrial factories, made by the NEC (National Electrical Code) 2002. All the information of the plant's equipment was taken, besides, was elaborated an electrical diagram, it does not exist in the factory, to can make an analysis of underdimensional and overdimensional of cables, protections, pipe lines, etc., trough theoretical – practical calculations, and with software, to establish the necessaries comparisons with the existent system and, if it were demanded, to can select the appropriate equipment.
Besides, establish the economical and energetic profits that will come with the correct adjustment, also was done a comparative – economical analysis , that determinates if is convenient for Plastidor to separate or stay united electrically with Plásticos Ecuatorianos.

INTRODUCCIÓN

Referencias de un control o de una auditoria eléctrica no se ha dado antes en esta industria, factores importantes como sobredimensionamiento o subdimensionamiento de: protecciones, transformadores, cableado solo por nombrar algunas, se han presentado en esta planta sin que éste haya sido motivo de análisis.

Además por el hecho de estar unido eléctricamente a otra empresa han obviado elementos indispensables para el mejoramiento de costos energéticos y de sistemas de reservas de energía como son: bancos de capacitores y generadores eléctricos

Todas estas desventajas que por no ser visualizadas a corto ni a largo plazo, no son tomadas en cuenta, pero que son como un enemigo oculto que va deteriorando el sistema eléctrico en general afectándolo en el día a día.

El propósito de esta tesis es presentar alternativas de solución para las deficiencias existentes en toda la instalación eléctrica de la planta, realizando un análisis principalmente comparativo de la actual situación con la ideal, y cuál sería el beneficio en el momento de aplicarlas.

Mediante la instalación de un equipo se podrá realizar mediciones que ayudará en la tesis en general, pero principalmente en:

En el mejoramiento del factor de potencia, por medio del dimensionamiento adecuado de bancos de capacitores en las tres áreas (planta, chiller, mezclado), antes no considerado primordial por la empresa.

Además poder determinar si la fábrica se encuentra en los valores normales de armónicos y que éstos no estén afectando al desempeño de otros equipos, principalmente electrónicos.

La Auditoría del Sistema Eléctrico de la empresa Plastidor se basó en temas específicos como son:

- Estudio del Sistema de Instalaciones Eléctricas de Baja Tensión.
- Análisis de Corto Circuito
- Análisis de Armónicos
- Corrección del Factor de Potencia

ESTUDIO DEL SISTEMA DE INSTALACIONES ELÉCTRICAS DE BAJA TENSIÓN

Para la selección del tamaño de un conductor, se baso en las siguientes consideraciones:

Criterios de Corriente de carga.- La corriente que debe transportar un conductor puede ser determinada a partir del voltaje, la potencia y el factor de potencia de la carga basándonos en las tablas del NEC 2002 podemos seleccionar el calibre del mismo, estas tablas nos indican el tamaño mínimo del conductor requerido, pero además debemos considerar el incremento de cargas a futuro en Plastidor, la caída de voltaje y el calentamiento a que puedan estar sometidos por efectos de cortocircuito.

Criterio de caída de voltaje.- Cuando el calibre de un conductor esta sub-dimensionado, puede ocasionar en el circuito una caída de voltaje y en el mismo la caída es directamente proporcional a la longitud del conductor.

A continuación se detalla los diferentes artículos que se tomo como referencia para realizar los dimensionamientos eléctricos de Plastidor.

Tabla I. Referencias que se consideraron del NEC

CONDUCTOR				
	Página	**Artículo**	**Tabla**	**Enunciado**
Motores	290	430.22	310-16	**De los conductores** Para un motor usado continuamente, la ampacidad no tiene que ser menor que el 1.25%
Paneles de distribución	63-64	220-11	220-11	El **factor de demanda** aplicado en función de la cantidad de Potencia instalada se especifica en la tabla 220-11
PROTECCIÓN				
	Página	**Artículo**	**Tabla**	**Enunciado**
Motores	296	430.52	430-52	La capacidad máxima del **dispositivo de protección** contra c.c y falla a tierra depende del tipo de motor.

Compresor	317	440-52		La capacidad máxima o ajuste del dispositivo de protección contra c.c y falla a tierra es 1.25
		TIERRA		
	Página	**Artículo**	**Tabla**	**Enunciado**
Motores	114	250-122 (A),(D),(F)	250-122	El conductor a tierra del equipo no puede ser menor al que se muestra en la tabla.
Enfriador (Chiller)	107	250.66	250-66	El tamaño del conductor del electrodo a tierra de un sistema AC no puede ser menor según la tabla 250.66

TABLAS COMPARATIVAS DE RESULTADOS:

Tabla II. Comparación de resultados de las diferentes áreas de Plastidor

TOTAL DE CONDUCTOR Y PROTECCIÓN DE PLANTA			
	Cálculo Teórico	**PLASTIDOR**	**Dimensionamiento**
I conductor	1804.9A		
Conductor THW	12#250 MCM	9#500 MCM	Malo
I breaker	2214.92A		
Breaker	2500A	1000A	Malo
Tierra	#350 MCM	#2	Malo
TOTAL CONDUCTOR Y PROTECCIÓN DE CHILLER			
I conductor	409.42A		
Conductor THW	6#250 MCM	6#500 MCM	Bueno
I breaker	429.3A		
Breaker	450A	No tiene	Malo
Tubería	4½"	No tiene	Bueno
Tierra	#2	#2	Bueno
TOTAL CONDUCTOR Y PROTECCIÓN DE MEZCLADO			
	Cálculo Teórico	**PLASTIDOR**	**Dimensionamiento**
I conductor	325.22A		
Conductor THW	3#600 MCM	3#400 MCM	Malo
I breaker	696.69A		
Breaker	700A	No tiene	Malo
Tubería	4"	No tiene	Bueno
Tierra	#1	No se puede observar	Se recom. #1
TOTAL CONDUCTOR Y PROTECCIÓN DE OFICINAS			
	Cálculo Teórico	**PLASTIDOR**	**Dimensionamiento**

I conductor	157.85A		
Conductor THW	2 #3/0	2#2/0	Malo
I breaker	192.85A		
Breaker	200A	150A	Malo
Tubería	2½"	No tiene	Bueno
Neutro	#1/0	No tiene	Se recom.#1/0
Tierra	#6	No se puede observar	Se recom.#6

ANÁLISIS DE CORTO CIRCUITO

Un cortocircuito es un fenómeno eléctrico que ocurre cuando dos puntos entre los cuales existe una diferencia de potencial, se ponen en contacto entre sí, caracterizándose por elevadas corrientes circulantes hasta el punto de falla.

Entre las causas más frecuentes de cortocircuitos a nivel de instalaciones comerciales e industriales podemos mencionar las debidas a la ruptura o debilitamiento del aislamiento de conductores y/o equipos y los producidos por agentes ambientales.

MÉTODOS DE CÁLCULO

En nuestro caso utilizaremos el método del "**Sistema del diagrama unifilar**", que resulta familiar a través de un procedimiento en el cual no se recurre a un diagrama de circuito de impedancia equivalente. Las fuentes generadoras de corto circuito son consideradas como arroyos que alimenta a un río.

La fundamental ley de Ohm (Voltaje/Impedancia = Corriente) es empleado a través del sistema de bajo voltaje. La información del circuito de alto voltaje es aplicado mejor al concepto de "porcentaje de impedancia", ésta representa el porcentaje del voltaje normal, el cual aplicado al primario del transformador, etc., causaría una sobre corriente que fluiría en un corto circuito en el secundario.
El máximo corto circuito ocurre cuando el 100% del voltaje es aplicado y es igual a la carga total de corriente x 100% y dividido por el "porcentaje de impedancia":
Corto circuito Amperios = Carga total de corriente x 100% / % Impedancia.

Los valores de corto circuito expresados en KVA en lugar de Amperios son derivados de la misma regla general. Los valores de impedancia son compuestos por valores de resistencia y reactancia y la relación triangulo rectángulo determina sus proporciones. Las conversiones matemáticas del uno y del otro son simples por medio de la ayuda de un diagrama proporcionado.

A través de este procedimiento, las resistencias son agrupadas con resistencias y las reactancias con reactancias; todos los resultados son obtenidos con una simple suma aritmética e indicará el nivel de falla en un determinado punto y estará lista para ser usada en el análisis de la siguiente porción del sistema que proveerá un continuo chequeo del proceso.

Tabla III. Tabla de resultados de cálculos de corto circuito

PLANTA		
	Icc (KA)	
Salida del Transf. principal	20.892	
Caja de breakers luminaria:	1.692	
Oficina de producción planta	1.061	
Bomba de agua	0.995	
Pulverizado	5.428	
Molino pequeño	0.574	
Compresor	1.010	
Transportadora	0.341	
CM60 Equipos	0.737	
CM60	Primario	Secundario
Transformador	2.258	1.129
CM45 Equipos	1.357	
	Icc (KA)	
CM45	Primario	Secundario
Transformador	2.258	1.129
CM80 Equipos	1.583	
CM80	Primario	Secundario
Transformador	2.861	1.430
CM55 Equipos	1.412	
CM55	Primario	Secundario
Transformador	2.258	1.129

CHILLER	
	Icc (KA)
alida del Transf. principal	9.418
Molino grande	1.809
Chiller	4.010
Caja de breakers	0.509

MEZCLADO		
	I cc (KA)	
Salida del Transf. principal	6.278	
Motor Vacío	1.183	
Caja de Breakers	0.422	
Motores calent y enfriamt	primario	secundario
Transformador	2.258	1.129

OFICINAS	
	I cc (KA)
Salida del Transf. principal	4.577

ANÁLISIS DE ARMÓNICOS

Para realizar la comprobación de que los armónicos se encontraban o no en los niveles normales, utilizamos el equipo de medición AR5 durante una semana para cada área (Planta, Chiller y Mezclado) como lo dispone el CONELEC y que nos ayudó a obtener información, que será presentada como ejemplo más adelante y que ha sido escogida durante periodo de tiempo con más distorsión armónica, además utilizamos la tabla **IEEE 519 de Límites en la Distorsión de la Corriente y del voltaje** para condiciones con duración superior a una hora, para períodos más cortos el límite aumenta un 50%; ésta posteriormente nos ayudará para verificar si nos encontramos ubicados dentro de los límites de armónicos.

La tabla ejemplo presentada a continuación fue obtenida del Software Power Vision, después de realizar mediciones en cada línea (L1, L2, L3) durante una semana, en las tres subestaciones: Planta, Chiller y Mezclado; el cual muestra periodos de una hora para cada armónico de voltaje y corriente (del armónico1 al 30), además un promedio de las tres líneas; indicando si se encuentran o no por debajo de los límites permitidos por la norma IEEE 519.

ARMONICO 5 < 4									
FECHA	**TIEMPO**	**L1**		**L2**		**L3**		**PROMEDIO**	
10/12/2003	6:00:00	9,108	TRUE	9,29	TRUE	2,58	FALSE	6,993	TRUE
10/12/2003	6:15:00	10,52	TRUE	11,093	TRUE	2,885	FALSE	8,166	TRUE
10/12/2003	6:30:00	10,716	TRUE	11,691	TRUE	2,711	FALSE	8,373	TRUE
10/12/2003	6:45:00	11,263	TRUE	12,097	TRUE	2,9	FALSE	8,753	TRUE
ARMONICO 6 < 1									
FECHA	**TIEMPO**	**L1**		**L2**		**L3**		**PROMEDIO**	
10/12/2003	6:00:00	0,933	FALSE	0,282	FALSE	0,113	FALSE	0,443	FALSE
10/12/2003	6:15:00	0,592	FALSE	0,709	FALSE	0,366	FALSE	0,556	FALSE
10/12/2003	6:30:00	0,589	FALSE	0,409	FALSE	0,18	FALSE	0,393	FALSE
10/12/2003	6:45:00	0,532	FALSE	0,541	FALSE	0,256	FALSE	0,443	FALSE

Plastidor a manera general se encuentra dentro de los límites normales de Armónicos tanto de corriente como de voltaje como lo establece el CONELEC y la IEEE nombrados anteriormente.

Distorsión armónica de Corriente: Tanto en las áreas de Planta, Chiller y Mezclado, durante la semana de observación, se han manifestado pero son muy esporádicas y duran muy poco tiempo como para ser consideradas trascendentes.

Distorsión Armónica de Voltaje: Tanto en las áreas de Planta, Mezclado y Oficinas, en ningún momento durante la semana de análisis se ha presentado que sobrepase el 5% distorsión permitida.

CORRECCIÓN DEL FACTOR DE POTENCIA

Denominamos factor de potencia al cociente entre la potencia activa y la potencia aparente, que es coincidente con el coseno del ángulo entre la tensión y la corriente cuando la forma de onda es sinusoidal pura o es simplemente el nombre dado a la relación de la potencia activa usada en un circuito, expresada en vatios o kilovatios (KW), a la potencia aparente que se obtiene de las líneas de alimentación, expresada en voltio-amperios o kilovoltio-amperios (KVA).

CÁLCULO DE LA POTENCIA DE LOS CONDENSADORES

Para fines prácticos del cálculo de la potencia reactiva se la puede realizar a través del cálculo numérico o usando tablas.

Cálculo numérico:

Para determinar el rango del capacitor para una carga cuyo factor de potencia original es Pf1 y queremos mejorarlo a un valor Pf2; utilizamos las siguientes relaciones:

$Fp1 = \cos \Phi 1$ $\qquad$ $Fp2 = \cos \Phi 2$

$Tg\ \Phi 1 = Q1 / P \rightarrow Q1 = P\ Tg\ \Phi 1$
$Tg\ \Phi 2 = Q2 / P \rightarrow Q2 = P\ Tg\ \Phi 2$; $\quad Qc = Q1 - Q2$

Q1: potencia reactiva a factor de potencia original Pf1
Q2: potencia reactiva a factor de potencia deseado Pf2

Los Kvar requeridos para cambiar de un factor de potencia a uno deseado se determina por la ecuación:

$$Qc = P\ (Tg\ \Phi 1 - Tg\ \Phi 2)$$

Cálculo a través de tablas:

Usando tabla de capacitores podemos sacar los factores multiplicadores para la obtención de los Kvar.

Tabla IV. Resultado de la potencia requerida en Kva.

POTENCIA REQUERIDA PARA EL BANCO DE CAPACITORES

MES	LUGARES	MÉTODO NUMÉRICO	USO DE TABLAS
DICIEMBRE	MEZCLADO	14.64 Kvar	14.72 Kvar
	EXTRUSION	9.68 Kvar	9.76 Kvar
	CHILLER	12.25 Kvar	12.24 Kvar
	OFICINAS	1.25 Kvar	1.25 Kvar
ENERO	MEZCLADO	25.03 Kvar	25.19 Kvar
	EXTRUSION	13.56 Kvar	13.68 Kvar
	CHILLER	17.24 Kvar	17.35 Kvar
	OFICINAS	1.346 Kvar	1.340 Kvar

CONCLUSIONES:

Se logró un estudio completo de los siguientes puntos: cableado, protecciones, tuberías, etc.; con cálculos teóricos – prácticos y con la ayuda de un software, se determinó que en un 80% se debería realizar correcciones, pero de este porcentaje un 40% es realmente necesario.
Dentro de este 40% se encuentra el breaker que se instaló a la salida de la barra de cobre en el área de Planta, éste es menor al calculado pero Plastidor no ha sufrido daños al poseer el mismo por lo que se concluyó que Plastidor no trabaja con todas sus cargas al mismo tiempo.

Al realizar las debidas mediciones en las diferentes áreas de la fábrica se estableció que la caída de voltaje está dentro del rango permitido por el NEC (5%), caso contrario conduciría a que las cargas trabajen con un voltaje insuficiente.
Como segundo punto se pudo demostrar que existía en la fábrica un bajo factor de potencia, y posteriormente se seleccionó un adecuado banco de transformadores, no existente en la empresa.

Con relación a Armónicos y debido a que no existen muchos equipos electrónicos y principalmente con el análisis de la información obtenida con el equipo de medición AR5, se estableció que Plastidor a manera general se encuentra dentro de los límites normales de Armónicos tanto de corriente como de voltaje dispuesto por el CONELEC que se basa en la IEEE; además las variaciones de los armónicos de corriente son muy esporádicas y duran muy poco tiempo como para ser consideradas trascendentes.

Con un análisis de carga se pudo dimensionar un Generador de Emergencia, que actualmente no existe en la empresa.

Se estableció las correcciones necesarias basándose en las "Normas de acometidas, cuartos de transformadores y sistemas de medición para el suministro de electricidad (NATSIM), de la Empresa Eléctrica del Ecuador. En referencia a los Cuartos de transformadores. En conclusión se encontraron muchas fallas y las respectivas sugerencias serán expuestas en Recomendaciones.

REFERENCIAS:

a) Tesis
1. Mónica Flores, Elsa Mayorga; "Auditoria del Sistema Eléctrico de la empresa Plastidor" (Tesis, Facultad de Ingeniería Electrónica Industrial, Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006)

b) Libro con Edición
2. Nacional Electrical Code (edition, Quince,2002); pp 63-64, 107, 114, 290, 296, 317.

c) Artículo en un Libro
3. Sistemas Eléctricos by Joseph F. McPartland (New York, McGraw-Hill,1978), pp 38-45

d) Artículo en un Libro
4. El ABC de las Instalaciones Eléctricas Industriales (México,Limusa-Grupo Noriega Editores, 2002) Capítulo 2 y 5.