

Ministerio de Educación Superior

Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa

Dr. Antonio Núñez Jiménez

Facultad de Metalurgia Electromecánica

Departamento de Ingeniería Eléctrica

**SELECCIÓN Y AJUSTE DE LAS PROTECCIONES CONTRA
CORTOCIRCUITOS EN LA PLANTA DE AMONÍACO DE LA EMPRESA
“PUERTO DE MOA”**

TESIS PRESENTADA EN OPCIÓN AL TÍTULO DE INGENIERO ELÉCTRICO



Edmundo Blanco Fuentes

Tutores: Dr. C. Michel Roberto García Avilés

Ing. Alejandro Rosell

2010

Año 52 de la Revolución

AGRADECIMIENTOS

A todos aquellos que desinteresadamente, con paciencia y amor hicieron posible esta realidad.

No puedo dejar de mencionar a los compañeros de la Empresa del Níquel Puerto Moa y al Ing. Alejandro Rosell, que me ayudaron y me guiaron en la ejecución de este proyecto. Orientándome, hasta alcanzar el objetivo propuesto.

Doy un agradecimiento especial a DIOS y a mis padres, a mi novia, a mi hermana y a mis tutores que me impulsaron y me dieron todo el apoyo para llegar a la meta.

A todos ellos:

Gracias.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a todas las personas que con su amor y dedicación hicieron posible que llegara este día; a mi DIOS, a mis padres, a mi novia, mi hermana y a todos mis amigos.

PENSAMIENTO

“El principio de la sabiduría es el temor a Jehová”

Salomón

Proverbios 1.7a

Índice -----Pág.

<u>Introducción General</u>	8
<u>Capítulo 1. Fundamentos teóricos de las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en redes eléctricas industriales de bajo voltaje</u>	10
1.1- <u>Generalidades de las protecciones eléctricas</u>	10
1.2- <u>Protección de motores eléctricos de baja tensión contra cortocircuitos</u>	13
1.3- <u>Las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en redes eléctricas industriales de bajo voltaje</u>	16
<u>Capítulo 2. Caracterización de las protecciones eléctricas contra cortocircuitos de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa</u>	19
2.1- <u>Descripción de la red eléctrica de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto de Moa</u>	19
2.2- <u>Cálculo de cortocircuitos en la red eléctrica de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto de Moa</u>	24
2.3- <u>Identificación de las insuficiencias de las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en la red eléctrica de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto de Moa</u>	27
<u>Capítulo 3. Selección y ajuste de las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en la red eléctrica de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto de Moa</u>	29
3.1- <u>Selección y ajuste de los interruptores que protegen los motores eléctricos de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa</u>	29
3.2- <u>Selección y ajuste de los interruptores principales que protegen</u>	36

<u>los Centros de Control de Motores de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa</u>	
<u>3.3- Selección y ajuste del interruptor principal de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa</u>	45
<u>Capítulo 4. Valoración técnico-económica de la propuesta de modernización de las protecciones eléctricas en la Planta de Amoníaco en la Empresa Puerto de Moa</u>	49
<u>4.1- Desventajas de la pizarra actual</u>	49
<u>4.2- Prestaciones y ventajas de la propuesta de modernización de las protecciones</u>	50
<u>4.3- Costo estimado de los dispositivos de protección</u>	52
<u>Conclusiones Generales</u>	54
<u>Recomendaciones</u>	55
<u>Bibliografía</u>	56
<u>Anexos</u>	57

Resumen

La Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto de Moa cumple con una importante función dentro de los procesos que se llevan a cabo en dicha Empresa, al tiempo que posee un alto grado de peligrosidad debido a la toxicidad del amoníaco contenido en ella. De esta manera, las protecciones eléctricas instaladas deben estar muy bien seleccionadas y ajustadas para evitar cualquier tipo de incendio por causa de cortocircuitos u otros desperfectos que no sean desconectados a tiempo.

Es por ello que la razón de la defensa de este proyecto va encaminada a proponer nuevas variantes de mejora, para el SEP en esta entidad, evitando con ello lamentables daños humanos y materiales.

Summary

The Plant of Ammonia of the Port Company of Moa fulfills an important function inside the processes that are carried out in this Company, at the time that possesses a high grade of danger due to the toxicity of the contained ammonia in her. This way, the installed electric protection should be very well selected and adjusted to avoid any fire type by reason of short circuits or other damages that are not disconnected on time.

It is in and of itself that the reason of the defense of this project goes guided to propose new variants of improvement, for the SEP in this entity, avoiding with it lamentable human damages and materials.

INTRODUCCIÓN GENERAL

“Una premisa importante en la Administración de Energía es que usted no puede manejar lo que no puede ver. Ignorar las deficiencias de su sistema eléctrico puede resultar muy costoso.”

El autor

La Empresa Puerto Moa “Raúl Díaz Arguelles” (EPM) tiene más de 25 años de prestar servicios a las diferentes empresas del Grupo Empresarial CUBANÍQUEL. A través del Puerto se establece un importante y vital intercambio económico con el exterior, principalmente relacionado con la industria del níquel.

Entre las materias primas que se importan para la producción de la industria minera, se encuentra el amoníaco, el cual se almacena en la EPM y se bombea hacia la industria que la necesita para su proceso productivo. Para esta tarea se ha creado en esta Empresa una Planta de Amoníaco donde este componente es almacenado, rebajado a un 25%, enfriado y luego bombeado.

La Planta de Amoníaco posee como cargas eléctricas principales a varias decenas de motores y su alumbrado. Estas cargas son alimentadas mediante una red eléctrica controlada desde una subestación llamada “subestación de amoníaco”. En esta subestación el sistema de protecciones eléctricas contra cortocircuitos presenta un alto nivel de deterioro y envejecimiento.

Situación problemática:

El sistema de protecciones eléctricas contra cortocircuitos de la red de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto de Moa, posee las siguientes insuficiencias:

- Se encuentra deteriorado como consecuencia de más de 25 años de explotación.
- Ha perdido muchas de las señalizaciones que muestran la ocurrencia de averías.
- No se conocen con exactitud los valores de los ajustes, y permanecen inalterables a pesar de los cambios que se han hecho en la red.
- No cumple totalmente las normas de sensibilidad, selectividad y velocidad de respuesta, por lo que son frecuentes las operaciones indebidas y la descoordinación.
- De lo anterior se concluye que existe caducidad en las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en la Planta de Amoníaco de la EPM.

Problema científico: ¿Cómo modernizar el sistema de protecciones eléctricas contra cortocircuitos de la Planta de Amoníaco de la EPM?

Objeto de la investigación: Las protecciones eléctricas en la Planta de Amoníaco de la EPM.

Campo de acción: Las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en la Planta de Amoníaco de la EPM.

Objetivo General: Realizar una propuesta de modernización de las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto de Moa.

Hipótesis: Si se seleccionan y ajustan interruptores automáticos modernos sobre la base de las propiedades de las protecciones establecidas, se podrá modernizar el sistema de protecciones eléctricas contra cortocircuitos de la Planta de Amoníaco de EPM.

Para lograr el objetivo general de la investigación se llevaron a cabo las siguientes **tareas investigativas:**

- Establecimiento de los referentes teóricos que sustentan una propuesta de modernización del sistema de protecciones eléctricas contra cortocircuitos en la red de la Planta de Amoníaco de la EPM.
- Caracterización de la red eléctrica de la Planta de Amoníaco de la EPM.
- Diagnóstico del sistema actual de protecciones eléctricas contra cortocircuitos en la red de la Planta de Amoníaco de la EPM.
- Confección de una propuesta de modernización del sistema de protecciones eléctricas contra cortocircuitos de la red de la Planta de Amoníaco de la EPM.
- Determinación del impacto económico, social y ambiental de la propuesta de modernización del sistema de protecciones eléctricas contra cortocircuitos de la red de la Planta de Amoníaco de la EPM.

Capítulo I. Fundamentos teóricos de las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en redes eléctricas industriales de bajo voltaje

El presente capítulo de la tesis titulado “Fundamentos teóricos de las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en redes eléctricas industriales de bajo voltaje”, cuenta con tres epígrafes. El primero de ellos aborda las generalidades de las protecciones eléctricas, su misión e importancia, así como los requisitos que éstas deben cumplir. Luego, en el segundo epígrafe, se realiza un análisis de las protecciones de los motores eléctricos de baja tensión, ya que éstos últimos constituyen la principal carga eléctrica de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa. Finalmente es tratado el tema de las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en redes eléctricas industriales de bajo voltaje.

1.1 Generalidades de las protecciones eléctricas

Misión e importancia de las protecciones

Los sistemas eléctricos no están exentos de la ocurrencia de averías (cortocircuitos). Por mucho que se mejoren los aisladores y los materiales aislantes del sistema, el riesgo de la avería siempre está latente y por tanto las protecciones deben estar listas para la desconexión de la zona o parte del sistema averiada en cualquier momento. Este aspecto constituye la misión principal de las protecciones eléctricas.

Misión de las Protecciones Eléctricas: *Desconectar tan rápido como sea posible, la parte del sistema eléctrico que esté averiada.*

Debe mencionarse que en la actualidad existen protecciones eléctricas preventivas, que operan antes de que ocurran los cortocircuitos, pero aun esta función no ha llegado a la generalidad de aplicación como para desplazar la misión antes expuesta.

Evidentemente la rápida desconexión de las zonas averiadas no puede ser lograda con la acción física del hombre y se necesitan elementos autónomos para actuar contra los fallos en los sistemas eléctricos y estos elementos son las Protecciones Eléctricas.

Importancia de la utilización de las protecciones

Las altas corrientes generan grandes temperaturas en el punto de descarga o de cortocircuito y si no se realiza la desconexión con extrema rapidez, el elemento averiado quedaría destruido completamente y no podrá ser siquiera reparado. La carcasa de las máquinas se funden en conjunto con sus devanados y pueden ocurrir además explosiones peligrosas para la seguridad del personal operario.

Para evitar estos desastres, se deben instalar protecciones y que su acción sea lo más rápida posible. Los niveles de las corrientes de cortocircuitos trifásicos pueden superar en 10 veces las corrientes nominales del equipo averiado y solo bastará que éste permanezca unas centésimas de segundo y el equipo puede quedar inutilizable.

Importancia de la utilización de las protecciones: Evitar daños mayores en el elemento averiado y la propagación de estos daños a otros elementos del sistema eléctrico de potencia.

Requisitos que deben cumplir las protecciones eléctricas

La ciencia de las protecciones eléctricas tiene, al igual que todas, un núcleo teórico. En este caso lo principal es proteger los elementos del sistema contra los defectos que comúnmente ocurren. Este punto de vista es importante para la comprensión y orientación de esta investigación.

Existen requisitos invariantes que toda protección eléctrica debe cumplir, éstos son:

1. La sensibilidad
2. La selectividad
3. La velocidad de respuesta
4. La optimización económica

1. La sensibilidad

La **sensibilidad** no es más que la capacidad de la protección de accionar ante el fallo (de ser sensible a todos los defectos). Esta capacidad se verifica a través de una constante que relaciona el fallo mínimo que se pueda dar en ese elemento y el ajuste que tenga la protección. En el caso de las simples Protecciones de Sobrecorriente:

$$K_s = \frac{I_{ccmín.}}{I_{ajuste}}$$

Si el valor de “Ks” es mayor que la unidad, la protección es sensible, dado que el menor valor de la corriente del fallo supera al ajuste en ella dado. Muchas veces se desconoce el valor mínimo del fallo y se norma que este coeficiente tiene que superar no la unidad, sino valores superiores a ella, 1.5 - 2, etc.

2. La selectividad

Las protecciones tienen una propiedad o misión fundamental, que como se dijo, es la desconexión del elemento averiado, pero solo de este elemento, sin necesidad de desconectar a otro elemento adyacente, esta sería la selectividad absoluta. En ocasiones, pero solo como un elemento de respaldo, se necesita que las protecciones desconecten o garanticen la alimentación de ciertas zonas de sistemas adyacentes a ellas, en el caso de que sus protecciones no actúen (selectividad relativa).

La coordinación es un término que aparece en aquellas protecciones con selectividad relativa y que garantiza que para el caso de las protecciones de respaldo, operarán desplazadas en el tiempo con respecto a las protecciones principales del elemento en cuestión. Las protecciones de respaldo deben poseer demoras de tiempo bien definidas.

3. La velocidad de respuesta

Como se dijo anteriormente la acción de las protecciones debe ser lo más rápida posible para evitar daños mayores en los diferentes medios electrotécnicos. Lo ideal sería que las protecciones actuaran de manera instantánea, pero esto es prácticamente imposible. Casi siempre los tiempos de desconexión son menores que 0.5 segundos; por tanto, los sistemas eléctricos necesitan elementos que actúen con gran velocidad.

En el caso de la selectividad relativa se necesita que la protección principal en la cabeza de la línea, espere un tiempo determinado por la operación de la protección adyacente. Para ello se necesita realizar varios análisis de la velocidad de respuesta con el propósito de lograr la adecuada coordinación.

4. La optimación económica

Todo sistema de protecciones eléctricas tiene su costo económico, tanto de inversión inicial e instalación, como de su mantenimiento. Por esto el tema económico debe ser valorado cuidadosamente en interacción con la calidad técnica del equipamiento. Generalmente las protecciones más costosas y de más tecnología se reservan para los lugares de más importancia dentro del sistema eléctrico. Y las más simples y baratas, por otro lado, se proyectan para redes y equipos del mismo nivel de simpleza y peso económico.

Después de realizados los cálculos para el ajuste de las protecciones contra cualquier defecto, se procede a la verificación de las normas de las propiedades de las protecciones (sensibilidad, selectividad, velocidad de respuesta y optimación económica), si no cumple con éstas, se debe cambiar de método.

1.2- Protección de motores eléctricos de baja tensión contra cortocircuitos

En los motores eléctricos también pueden ocurrir cortocircuitos que ocasionan diferentes niveles de daño en sus partes constructivas. Las protecciones contra cortocircuitos en los motores eléctricos deben cumplir con los requisitos de todas las protecciones que fueron mencionados en el epígrafe anterior. En el caso que de la red de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa, todos los motores instalados que prestan determinados servicios, son motores de baja tensión; para ellos hay particularidades específicas, a diferencia de los motores de media y alta potencia.

Motores de baja tensión < 1000V

En el caso de los motores de baja tensión y poca potencia, los métodos más difundidos para la protección contra cortocircuitos son: el fusible o el interruptor automático de caja moldeada.

Los fusibles no pueden ajustarse; sólo se seleccionan, es decir, que el objetivo radica en hacer una buena selección del fusible para la protección contra cortocircuitos. Cuando se presentan muchos fallos en las redes protegidas por fusibles, el tiempo de restauración depende de la demora en cambiar el fusible o al menos la lámina fusora y en ocasiones,

fundamentalmente en las redes de distribución industriales, el costo de las desconexiones suele ser elevado y, por tanto, se precisa de tiempos cortos de re-energización.

Interruptores automáticos

El interruptor automático puede reponerse, por lo general, de forma muy rápida mediante la acción mecánica luego de una actuación contra un cortocircuito. Además, suelen fabricarse con mayor capacidad y desde uno a tres polos en un mismo dispositivo.

Los interruptores automáticos a diferencia del fusible, se pueden encontrar con variantes ajustables o no ajustables. Es decir, en muchos casos sólo se debe seleccionar el dispositivo deseado, pero en otros casos algunos de los parámetros que caracteriza su actuación pueden configurarse.

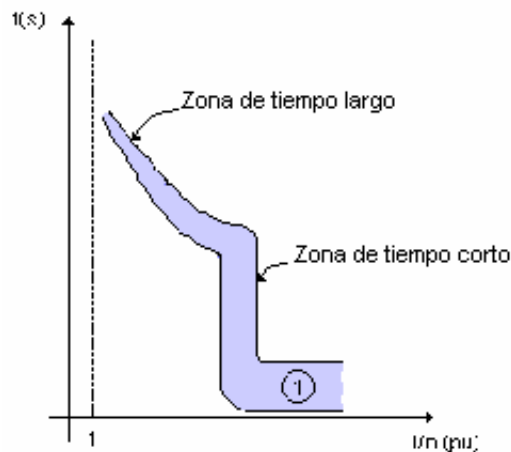


Figura 1.2a Característica hipotética de temporización de los interruptores

Los interruptores automáticos a diferencia de los fusibles, en su gran mayoría tienen varias zonas de operación. En la figura 1.2a, se muestra la zona de tiempo largo o de acción lenta que suele ser de tiempo inverso y la zona de tiempo corto, que puede ser instantánea o no. En muchos interruptores estas zonas de tiempo corto pueden estar divididas en: zona de tiempo corto y zona instantánea (figura 1.2b).

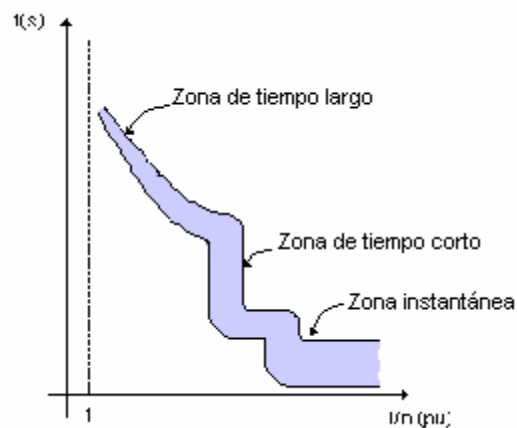


Figura 1.2b Característica hipotética de un interruptor con varias zonas de operación

Estas zonas de operación por lo general pueden ajustarse ya sean en la magnitud de la corriente o del tiempo. En ciertos interruptores solo se pueden ajustar algunos de estos parámetros, pero en cambio en otros, el fabricante permite la configuración total de las características o zonas de operación (figura 1.2c).

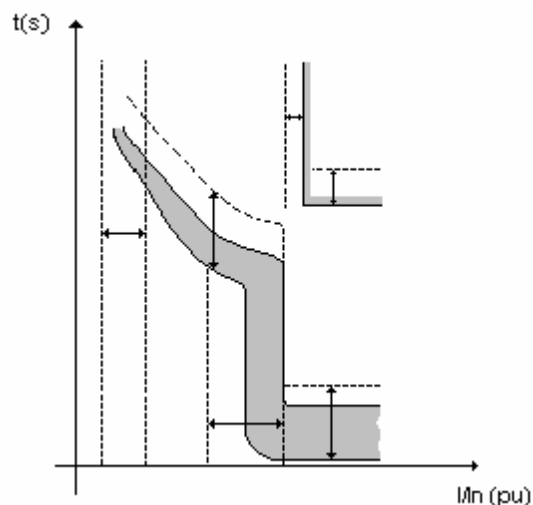


Figura 1.2c Parámetros de ajustes de un interruptor hipotético de varias zonas de operación

Protección de motores eléctricos contra cortocircuitos mediante interruptores automáticos

Para la protección de los motores eléctricos de baja tensión (440 V) de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa, se proponen en esta tesis los interruptores automáticos por las ventajas que éstos ofrecen a diferencia de los fusibles. Los interruptores

tienen además características magneto-térmicas, por lo que pueden actuar también para sobrecargas.

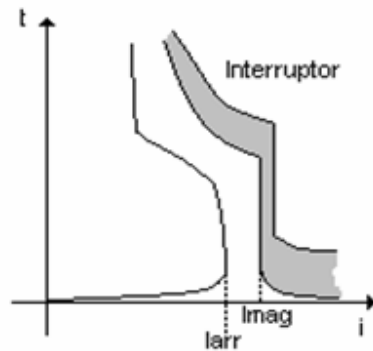


Figura 1.2d Proceso Transitorio de arranque de un motor protegido por un interruptor

Es importante que los interruptores no operen en el proceso transitorio de arranque del motor (figura 1.2d) y es por eso que se selecciona su corriente de acción magnética mayor (I_{mag}) que la corriente de arranque del motor (I_{arr}). A la vez que la corriente de acción térmica debe estar por encima de la corriente nominal de la máquina.

Durante el arranque no solo debe cumplirse que la corriente del motor sea menor que la corriente de acción magnética del interruptor, sino además que el tiempo de arranque sea inferior al tiempo de acción térmica del interruptor.

La sensibilidad se comprueba como el cociente entre la corriente de cortocircuito multifásico mínimo y la corriente de acción magnética del interruptor; y debe ser mayor o igual que dos (2). En ocasiones cuando la red es aterrada los cortocircuitos monofásicos con similares que los multifásicos, por lo que el mismo interruptor que protege contra los multifásicos también lo puede hacer para los monofásicos. Pero es necesario calcular también el coeficiente de sensibilidad entre el cortocircuito monofásico mínimo y la corriente de acción magnética. De no cumplirse con la sensibilidad es necesario utilizar otro método para la protección contra los cortocircuitos monofásicos.

1.3- Las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en redes eléctricas industriales de bajo voltaje

El interruptor es el dispositivo eficaz para la industria por su rápida recuperación en caso de apertura y más aún por la facilidad en sus ajustes, en caso de que posean. A diferencia de

los fusibles, poseen unas características combinadas de tiempo definido y tiempo inverso, y estos pueden ser: total o parcialmente ajustables así como no ajustables.

Contra las fallas multifásicas se suelen utilizar Interruptores Automáticos (sobrecorriente RMS) de Caja Moldeada o de Aire, en dependencia del nivel de tensión a que se esté trabajando.

Por lo general, los primeros interruptores se encuentran protegiendo a los motores y otras cargas. Lo que interesa ahora es la selección y coordinación de los que les siguen (figura 1.3a) y que estarán protegiendo tramos de líneas o que se utilizarán como interruptores totalizadores.

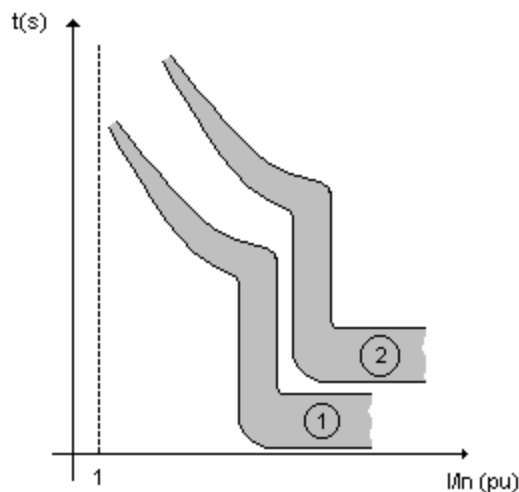


Figura 1.3a Características fundamentales para la selección de Interruptores Automáticos de Sobrecorriente.

En la figura 1.3a se muestran dos interruptores, el número 1 (adyacente) representa el que protege directamente la carga (puede ser un motor), y el interruptor número 2 (principal) protege la línea que está entre ambos interruptores y además sirve de respaldo por si el interruptor 1 no opera.

En la selección de los interruptores principales para proteger las redes industriales contra cortocircuitos se deben tomar en cuenta los siguientes aspectos:

- La corriente de acción térmica no debe ser menor que la corriente de servicio máxima.

- La corriente de acción magnética debe ser mayor que la corriente transitoria máxima.
- Verificar que exista solapamiento con las características de temporización de los interruptores adyacentes.

Muchas veces estos mismos interruptores ofrecen una adecuada protección contra las fallas monofásicas, fundamentalmente en sistemas con neutro aterrado y redes con conductores de pequeña longitud. Cuando las fallas monofásicas disminuyen considerablemente, los interruptores de sobrecorrientes que utilizan el valor eficaz de las mismas (RMS) no cumplen las normas de sensibilidad requeridas y se hace necesario instalar otros con características de Sobrecorriente de Secuencia Cero.

Conclusiones del capítulo 1

- Las protecciones eléctricas tienen como misión desconectar tan rápido como sea posible, la parte del sistema eléctrico que esté averiada, su importancia está en evitar daños mayores en el elemento averiado y la propagación de estos daños a otros elementos del sistema eléctrico de potencia; y la sensibilidad, la selectividad, la velocidad de respuesta y la optimización económica son requisitos que las protecciones deben cumplir.
- Para la protección de motores eléctricos contra cortocircuitos con interruptores automáticos es necesario considerar: que la corriente de acción térmica del interruptor sea mayor que la corriente nominal del motor, que la corriente de acción magnética del interruptor sea mayor que la corriente de arranque del motor y sensible a los cortocircuitos y que el tiempo de acción térmica del interruptor sea mayor que el tiempo de arranque del motor.
- En la selección de los interruptores principales para proteger las redes industriales contra cortocircuitos se deben tomar en cuenta que la corriente de acción térmica no debe ser menor que la corriente de servicio máxima, que la corriente de acción magnética debe ser mayor que la corriente transitoria máxima y se debe verificar que exista solapamiento con las características de temporización de los interruptores adyacentes.

Capítulo 2. Caracterización de las protecciones eléctricas contra cortocircuitos de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa

En este capítulo se caracteriza la red eléctrica de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa, prestando atención a las protecciones eléctricas contra cortocircuitos que se encuentran instaladas. Primeramente se describe el sistema eléctrico general, luego se determinan los niveles de cortocircuitos que las protecciones deben contrarrestar y finalmente se identifican las insuficiencias del sistema de protecciones eléctricas contra cortocircuitos instalado.

2.1- Descripción de la red eléctrica de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto de Moa

Subestación de amoníaco de la Empresa Puerto Moa

La función fundamental de la subestación de amoníaco (figura 2.1a) de la Empresa Puerto Moa, es alimentar a cuatro Centros de Control de Motores (CCM) encargados de la preparación de la rebaja de amoníaco y el bombeo de materia prima para la producción de níquel de la empresa Ernesto Che Guevara; así como, suministrar la energía necesaria para el alumbrado de la Planta.



Figura 2.1a Lugar donde se encuentra la subestación de amoníaco de la
Empresa Puerto Moa

La subestación de amoníaco se encuentra bajo techo, por lo que no está expuesta a la contaminación ambiental directa. No obstante, la cercanía del mar y los gases que se desprenden en el proceso de rebaja del amoníaco, ejercen influencia en el proceso de desgaste y corrosión de la subestación. La iluminación en algunas zonas de la subestación es pobre, por lo que el operador debe esforzarse para ver los valores de las mediciones a tomar.

La subestación está compuesta de una entrada y cinco líneas de salidas (figura 2.1b). La entrada, así como las barras están diseñadas para soportar sobrecargas en régimen de avería de hasta el 30% por encima de la corriente nominal (I_n) del transformador durante 3h y un 40% durante 2h, esto es si la carga de trabajo del transformador es menor o igual al 70% de su I_n en régimen normal.



Figura 2.1b Subestación de amoníaco de la Empresa Puerto Moa

Las barras de la subestación (figura 2.1c), así como sus ramificaciones hacia los interruptores tipo ABM-10CBT son estables para soportar los efectos dinámicos de la corriente de cortocircuito (I_{cc}) hasta 60kA RMS y térmicos 30kA durante 1seg. Las ramificaciones desde las barras colectoras permiten una carga igual al 70% de la sumatoria de las corrientes nominales de los interruptores en ellas instalados, pero nunca mayor que las corrientes nominales de las barras.



21



Figura 2.1d Interruptor de entrada en la PGD de la subestación de amoníaco

El circuito de fuerza cuenta con una sección de barra la cual se alimenta a través de un interruptor del tipo ABM-20CBT de 1500 A. Ver figura 2.1d.

Esta subestación cuenta con un transformador de potencial 440/220 V para el control general de la pizarra de alumbrado. Además cuenta de 4 interruptores alimentadores del tipo ABM-10CBT de donde se alimentan los CCM: 1W1 (Casa bomba Solución), 1W2 (Compresores), 1W6 (Casa bomba) y Torre de Enfriamiento. Cada uno de estos CCM tiene un conjunto de interruptores (figura 2.1e) para alimentar a los diferentes motores (Tabla 2.1a) de la Planta.



Figura 2.1e Interruptores instalados en 1W2

Tabla 2.1a Datos de los motores que son controlados por cada uno de los CCM

DATOS DE LOS MOTORES DE CADA UNO DE LOS CCM	Cantidad de Motores	Pn (kW)	Un (V)	In (A)	Cos Ø	f (Hz)	Iarr (A)	Tarr (A)
CCM: "1W1 CASA-BOMBA-SOLUCIÓN"								
M-1) BOMBAS DE DISOLUCIÓN DE AMONÍACO + AGUA TRATADA	2	22	440	37	0.91	60	222	3
M-2) ELECTROVÁLVULAS DE CONTROL DEL AMONÍACO	15	1.5	440	3	0.85	60	18	2
CCM: "1W2 CASA-COMPRESORES"								
M-3) COMPRESORES	2	90	440	144	0.91	60	864	4
CCM: "1W6 CASA-BOMBA"								
M-4) BOMBAS DE AMONÍACO HACIA LA EMPRESA CHE GUEVARA	2	100	460	160	0.91	60	960	4.2
CCM: "TORRE DE ENFRIAMIENTO"								
M-5) BOMBAS DE AMONÍACO HACIA LA TORRE DE ENFRIAMIENTO	2	45	440	73	0.91	60	438	3
M-6) VENTILADORES	2	11	440	19	0.85	60	114	2

M-7) COMPRESOR	1	40	440	67	0.91	60	402	2
-----------------------	---	----	-----	----	------	----	-----	---

Tabla 2.1b Características de la protecciones actuales por CCM

CCM	Características de la protecciones actuales por CCM
1W1	Esta compuesta por dos interruptores automáticos de caja moldeada AT-37 de 630 A y quince de 4 A, cada uno con su protección térmica de tecnología soviética.
1W2	Esta compuesta por dos interruptores automáticos de caja moldeada AT-37 de 250 A, cada uno con su protección térmica de tecnología soviética.
1W6	Esta compuesta por 2 interruptores automáticos de caja moldeada AT-31 de 250 A, cada uno con su protección térmica de tecnología soviética.
Torre de Enfriamiento.	Esta compuesta por 2 interruptores automáticos de caja moldeada de 80 A, dos de 30 A y uno de 80 A, cada uno con su protección térmica de tecnología soviética.

2.2- Cálculo de cortocircuitos en la red eléctrica de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto de Moa

Para el cálculo de las corrientes de cortocircuitos en la red eléctrica de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa, fue necesario construir el circuito de la Planta en el software EasyPower (figura 2.2a).

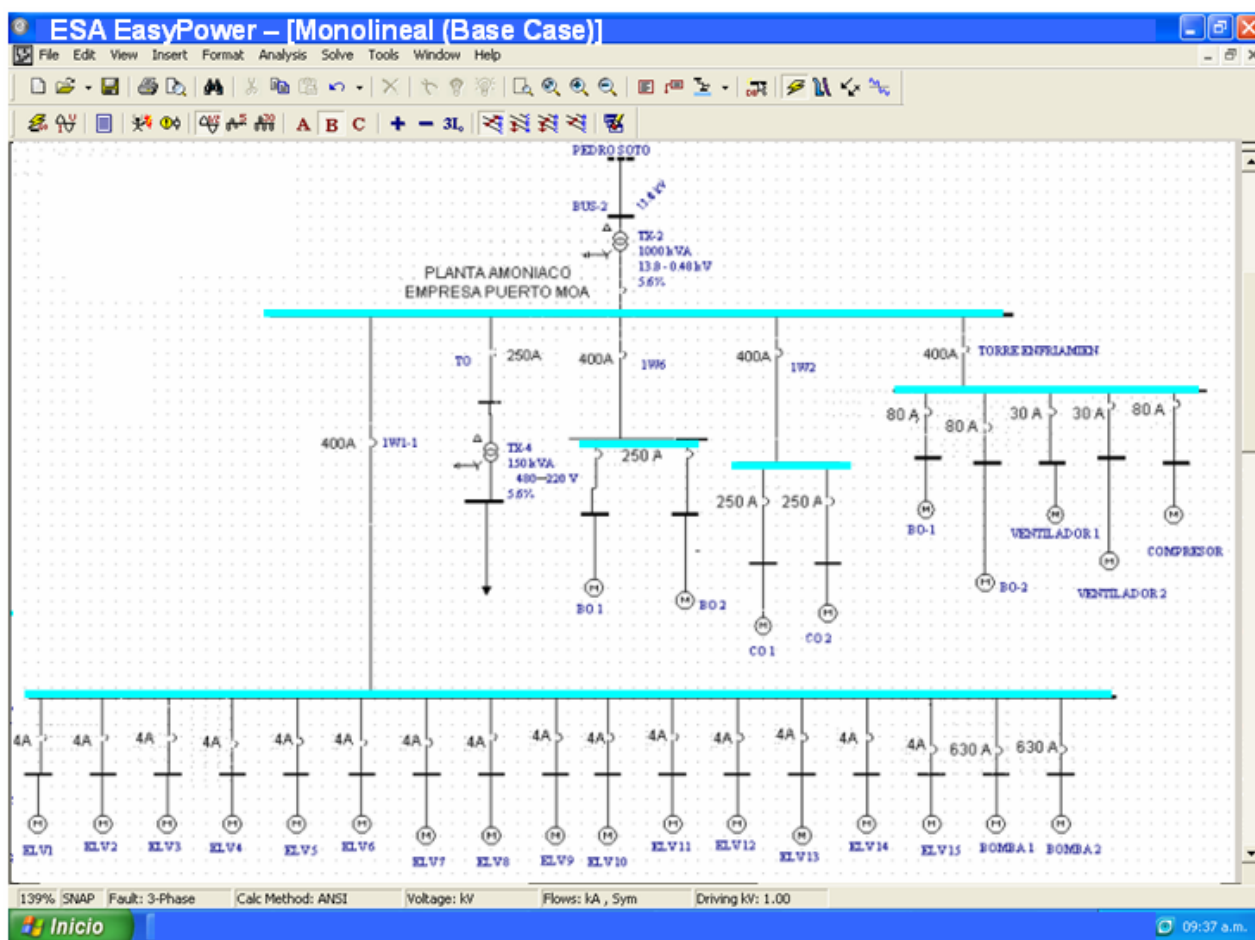


Figura 2.2a Utilización del EasyPower para el cálculo de los cortocircuitos

En la tabla 2.2a se muestran los valores de los cortocircuitos calculados por el software EasyPower

LUGARES DONDE SE CALCULARON LOS CORTOCIRCUITOS	Icc3Ø Máxima (A)	Icc2Ø Máxima (A)	Icc1Ø Máxima (A)	Icc3Ø Mínima (A)	Icc2Ø Mínima (A)	Icc1Ø Mínima (A)
BARRA PRINCIPAL	18410	9205	20247	15168	7584	17501
CCM: "1W1 CASA-BOMBA-SOLUCIÓN"						
BARRA DEL CCM	15784	7892	14530	13426	6713	13191
M-1) BOMBAS DE DISOLUCIÓN DE	2589	1294	1340	2585	1283	1337

AMONÍACO + AGUA TRATADA						
M-2) ELECTROVÁLVULAS DE CONTROL DEL AMONÍACO	5223	263	263	523	261	263
	CCM: "1W2 CASA-COMPRESORES"					
BARRA DEL CCM	16227	8113	15527	13699	6850	13930
M-3) COMPRESORES	5075	2538	2577	5059	2531	2577
	CCM: "1W6 CASA-BOMBA"					
BARRA DEL CCM	15227	8113	15529	13699	6850	13930
M-4) BOMBAS DE AMONÍACO HACIA LA EMPRESA CHE GUEVARA	8524	4262	5521	7858	3929	5345
	CCM: "TORRE DE ENFRIAMIENTO"					
BARRA DEL CCM	8524	4262	5521	7858	3929	5345
M-5) BOMBAS DE AMONÍACO HACIA LA TORRE DE ENFRIAMIENTO	5658	2829	3306	5379	2689	3246
M-6) VENTILADORES	5472	2736	3178	5261	2606	3123
M-7) COMPRESOR	5620	2810	3280	5345	2672	3221

2.3- Identificación de las insuficiencias de las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en la red eléctrica de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto de Moa.

Las actuales protecciones instaladas en la red eléctrica de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa, son de tecnología soviética de más de 25 años de explotación, por lo que en la mayoría de los casos se desconocen los ajustes de los interruptores. También se pudo conocer que las protecciones no reciben mantenimiento desde hace cinco años, estando desatendidas.

Por otro lado, la manipulación con estos interruptores se hace muy insegura ya que generalmente los accionamientos mecánicos para extraerlos de la celda han sufrido desgastes y se trancan dentro de la misma y en ocasiones se necesita de una palanca para desacoplarlos de las barras de energía. Esto puede provocar un accidente con peligro para la vida del operador que realiza estas prácticas; además, de las consecuencias en cuanto a daño del equipamiento, que no tiene piezas de repuesto para ser reparado con la calidad que se desea alcanzar.

Uno de los mayores problemas que presenta la subestación son los equipos encargados de censar y visualizar la mediciones, los que están en mal estado y en ocasiones las mediciones no son reales, esto hace que el operador deba abrir el gabinete para cerciorarse de que la medición es correcta poniendo en riesgo su vida, debido a que las corrientes que se manejan dentro de la subestación son bastantes elevadas. Otra dificultad es para determinar cual es el consumidor averiado. Así mismo el hecho de que los visualizadores sean manuales provoca que en ocasiones los operadores no lo reseteen y no puedan ver la falla cuando ocurra.

Además de las insuficiencias mencionadas anteriormente se añaden las que se expresan a continuación:

- Las unidades electrónicas de los interruptores de salida y la entrada están deterioradas, desatendidas, su mecanismo de operación ha envejecido y muchas están desajustadas.
- Descoordinación de las protecciones instaladas. A veces hay cortocircuitos en los motores que vienen a ser desconectados por un interruptor principal.

- Muchas de las protecciones instaladas en los CCM no cumplen con la sensibilidad establecida.
- Las señalizaciones de averías y estado de los interruptores están defectuosas.

Debido a la presencia de estas insuficiencias es que en esta tesis se realiza una selección y ajuste de las nuevas protecciones contra cortocircuitos que deberán ser instaladas en la red de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa.

Conclusiones del capítulo 2

- La red eléctrica de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa se caracteriza por: poseer veintiséis motores de baja tensión organizados en siete grupos, contar con una subestación en la que al secundario del transformador de 13.8 a 0.48 kV se encuentra conectado un interruptor principal y a este último cinco interruptores que protegen cuatro CCM y la Torre de Alumbrado.
- Mediante el software EasyPower es posible calcular de manera aproximado los valores de los cortocircuitos en lugares determinados de la red eléctrica de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa.
- Las protecciones eléctricas instaladas en la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa no cumplen totalmente con los requisitos de sensibilidad, selectividad y velocidad de respuesta.

Capítulo 3. Selección y ajuste de las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en la red eléctrica de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto de Moa

En el presente capítulo se expone y fundamenta la selección y ajuste de las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en la red eléctrica de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto de Moa. El primer epígrafe se dedica a la selección y ajuste de los interruptores que protegen los motores eléctricos, ya que éstos constituyen la principal carga de toda la Planta. Luego en el segundo epígrafe son abordados los interruptores que alimentan a los CCM, y finalmente en el último epígrafe, la selección y ajuste del interruptor principal de la subestación. Para la selección de todos los interruptores se han realizado los cálculos pertinentes sobre la base de los requisitos que deben cumplir todas las protecciones.

3.1- Selección y ajuste de los interruptores que protegen los motores eléctricos de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa

Expresiones para el cálculo de los parámetros de los interruptores automáticos que protegen los motores:

- 1) Corriente térmica del interruptor:

$$I_{T\acute{e}rm} = (1.5 \div 2) \times I_{n(motor)}$$

- 2) Corriente de acción magnética del interruptor:

$$I_{mag} \geq 1.2 \times I_{arr}$$

- 3) Tiempo de operación en la zona térmica para la corriente de arranque del motor:

$$t_{op.T\acute{e}rm} \geq \frac{4}{3} \times t_{arr}$$

- 4) Coeficiente de sensibilidad para cortocircuitos multifásicos:

$$Ks_{CC.n\Phi} = \frac{I_{cc_{2\phi.min}}}{I_{mag}} \geq 2$$

5) Coeficiente de sensibilidad para cortocircuitos monofásicos:

$$Ks_{CC.1\Phi} = \frac{I_{cc_{1\phi.min}}}{I_{mag}} \geq 2$$

Las ecuaciones anteriores permiten la realización de los cálculos de las condiciones que deben cumplir los interruptores que serán seleccionados (tabla 3.1a).

Tabla 3.1a Condiciones que deben cumplir los interruptores automáticos en cada grupo de motores

GRUPOS DE MOTORES	$I_{Tér.m.1} \div I_{Tér.m.2}$ (A)	$I_{mag} \geq$ (A)	$t_{op.Tér.m} \geq$ (s)
CCM: "1W1 CASA-BOMBA-SOLUCIÓN"			
M-1) BOMBAS DE DISOLUCIÓN DE AMONÍACO + AGUA TRATADA	55.5÷74	266.4	4
M-2) ELECTROVÁLVULAS DE CONTROL DEL AMONÍACO	4.5÷6	21.6	2.67
CCM: "1W2 CASA-COMPRESORES"			
M-3) COMPRESORES	216÷288	1036.8	5.33

CCM: “1W6 CASA-BOMBA”			
M-4) BOMBAS DE AMONÍACO HACIA LA EMPRESA CHE GUEVARA	240÷320	1152	5.6
CCM: “TORRE DE ENFRIAMIENTO”			
M-5) BOMBAS DE AMONÍACO HACIA LA TORRE DE ENFRIAMIENTO	109÷146	525.6	4
M-6) VENTILADORES	28.5÷38	172.8	2.67
M-7) COMPRESOR	105÷134	482.4	2.67

Interruptor Compact NSX

Para la protección de los motores eléctricos de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa son seleccionados en esta tesis los interruptores Compact NSX (figura 3.1a).



Figura 3.1a interruptor Compact NSX

El diseño de los interruptores automáticos Compact NSX ofrece una amplia selección de accesorios (figura 3.1b). La instalación de los accesorios es muy sencilla y puede realizarse con total seguridad.

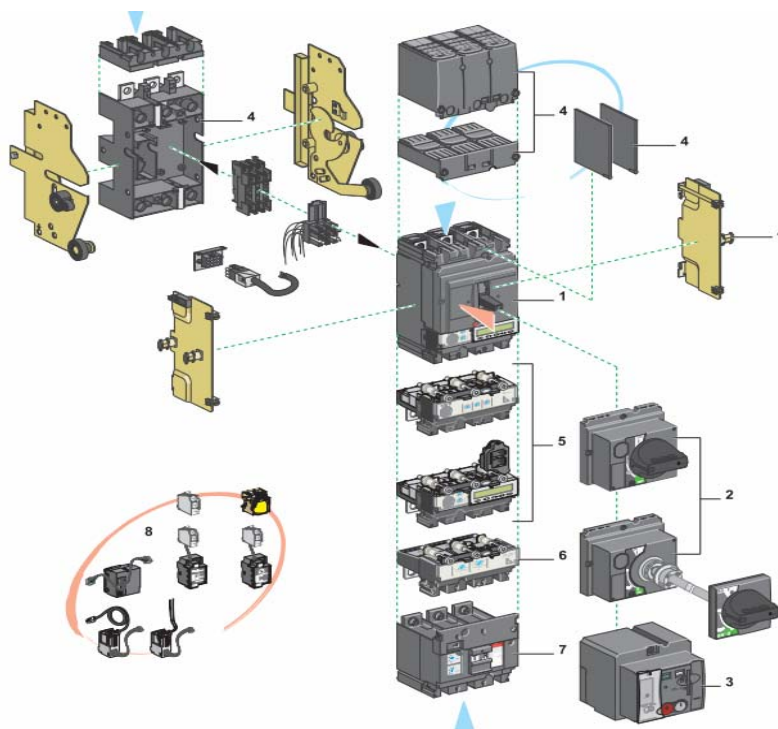
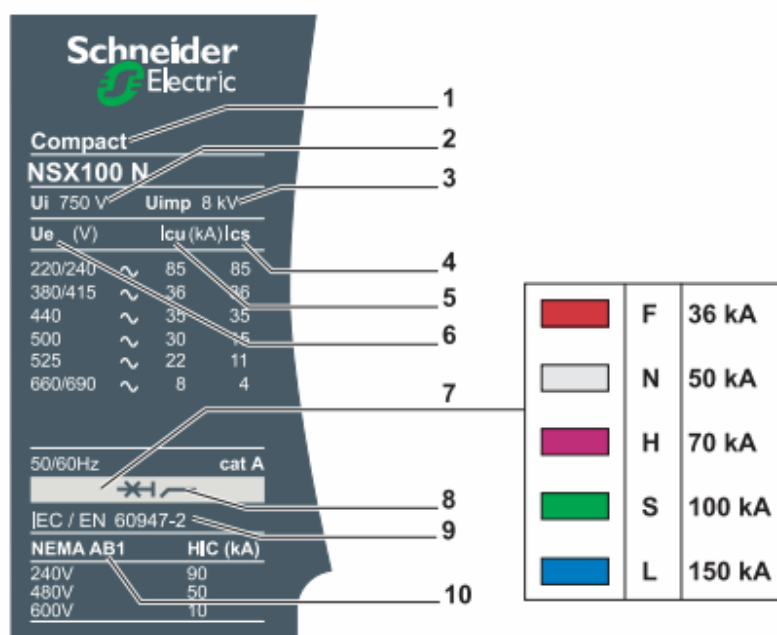


Figura 3. 1b Accesorios del interruptor Compact NSX

En la figura 3.1.c se muestra la placa de características eléctricas situada en la parte frontal de los interruptores automáticos.



- 1 Tipo de interruptor automático: calibre del interruptor y poder de corte
- 2 Ui: Tensión de aislamiento
- 3 Uimp: Tensión soportada al impulso
- 4 Ics: Poder de corte en servicio
- 5 Icu: Poder de corte último
- 6 Ue: Tensión de empleo
- 7 Código de colores indicador del poder de corte
- 8 Símbolo del interruptor automático
- 9 Norma de referencia IEC 60947-2
- 10 Características eléctricas conforme al estándar NEMA

Figura 3. 1c Placa informativa de un interruptor Compact NSX

Los interruptores Compact NSX están equipados además de una unidad de control micrologic (figura 3.1d), que el caso de al 5.2 A, es concebida para desempeñar múltiples funciones:

- a) Protección de distribución eléctrica o de aplicaciones específicas.
- b) Medida de valores instantáneos, medida de los valores medios (demanda) de las magnitudes eléctricas.
- c) Medidas de energía.
- d) Ayuda a la utilización (Maxímetros, alarmas personalizadas, contadores de maniobras.)
- e) Comunicación.

Parte frontal de una unidad de control Micrologic 5.2 A para interruptor automático 3P

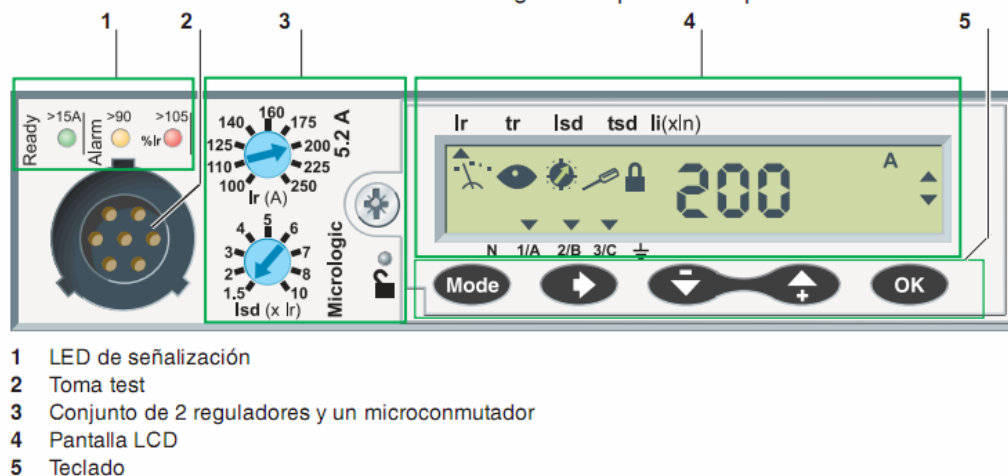


Figura 3.1d Parte frontal de la unidad micrologic 5.2 A.

Estas facilidades que ofrece el interruptor Compact NSX permiten ajustarlo a las condiciones específicas del motor que se esté protegiendo. Cuenta con una unidad de control magnetotérmica donde se pueden regular las corrientes de largo retardo y la instantánea (figura 3.1e).

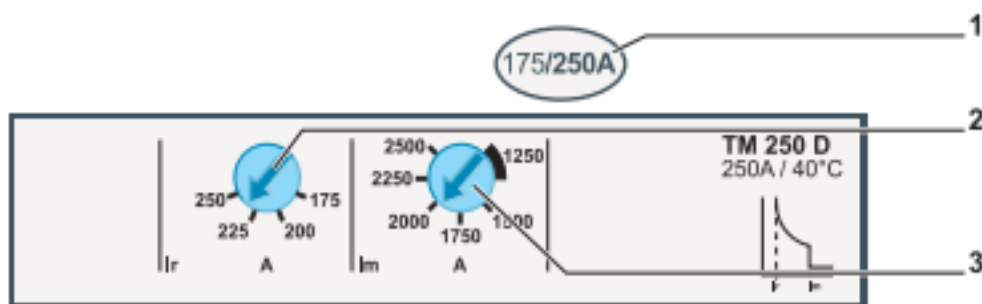


Figura 3.1e Unidad de control magnetotérmica TM-D de un interruptor Compact NSX

Ajuste de los interruptores:

En la tabla 3.1b se muestra el ajuste de los interruptores Compact NSX para la protección contra cortocircuitos de los motores de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa. Para la realización de los ajustes se consideraron las condiciones anteriormente calculadas así como las posibilidades de ajuste de estos interruptores (*Anexos: 3.1a, 3.1b, 3.1c, 3.1d, 3.1e, 3.1f, 3.1g*).

Tabla 3.1b Ajuste de los interruptores Compact NSX para la protección de los motores

GRUPOS DE MOTORES	$I_{T\acute{e}rm}$	I_{mag}	$t_{op.T\acute{e}rm}$	Ks nΦ	Ks 1Φ
CCM: "1W1 CASA-BOMBA-SOLUCIÓN"					
M-1) BOMBAS DE DISOLUCIÓN DE AMONÍACO + AGUA TRATADA	In=63 A Ir=57 A	In=63 A Imag=500 A	larr.pu=3.9 Top.Térm=6 s	2.566	2.674
M-2) ELECTROVÁLVULAS DE CONTROL DEL AMONÍACO	In=6.3 A Ir=6.3 A	In=6.3 A Imag=38 A	larr.pu=2.86 Top.Térm=6.7 s	6.87	6.92
CCM: "1W2 CASA-COMPRESORES"					
M-3) COMPRESORES	In=250 A Ir=225 A	In=250 A Imag=1250 A	larr.pu=3.84 Top.Térm=6.2 s	2.02	2.06
CCM: "1W6 CASA-BOMBA"					
M-4) BOMBAS DE AMONÍACO HACIA LA EMPRESA CHE GUEVARA	In=250 A Ir=250 A	In=250 A Imag=1250 A	larr.pu=3.84 Top.Térm=6.2 s	3.14	4.28
CCM: "TORRE DE ENFRIAMIENTO"					

M-5) BOMBAS DE AMONÍACO HACIA LA TORRE DE ENFRIAMIENTO	In=125 A Ir=113 A	In=125 A Imag=1250 A	Iarr.pu=3.88 Top.Térm=6.1 s	2.15	2.6
M-6) VENTILADORES	In=32 A Ir=29 A	In=32 A Imag=400 A	Iarr.pu=3.93 Top.Térm=5.9 s	6.52	7.81
M-7) COMPRESOR	In=100 A Ir=100 A	In=100 A Im=800 A	Iarr.pu=4.02 Top.Térm=5.8 s	3.34	4.03

3.2- Selección y ajuste de los interruptores principales que protegen los Centros de Control de Motores de la Planta de Amoníaco de la Empresa Portuaria de Moa

Expresiones para el cálculo de las condiciones que deben cumplir los interruptores automáticos que alimentan los CCM (PGD):

1) Corriente de inicio de la zona de largo retardo:

$$I_r = (1.5 \div 2) \times \sum_{i=1}^n I_{n.motor.i} \quad n: \text{número de motores}$$

2) Corriente de inicio de la zona de corto retardo:

$$I_{sd} \geq 1.2 \times I_{tm}$$

$$I_{tm} = \sum_{i=1}^n I_{arr.motor.i} \quad n: \text{número de motores}$$

3) Tiempo de operación en la zona de largo retardo:

$$t_r \geq \frac{4}{3} \times t_{op.Term.(mayor)} + \Delta T \text{ para la corriente transitoria máxima } I_{tm}$$

4) Tiempo de operación en la zona de corto retardo:

$$t_{sd} \geq t_{op.mag.(mayor)} + \Delta T$$

5) Corriente de inicio de la zona instantánea:

$$I_i = \infty$$

6) Coeficiente de sensibilidad para cortocircuitos multifásicos:

$$K_{S_{CC.n\Phi}} = \frac{I_{cc_{2\phi.min}}}{I_{sd}} \geq 2$$

7) Coeficiente de sensibilidad para cortocircuitos monofásicos:

$$K_{S_{CC.1\Phi}} = \frac{I_{cc_{1\phi.min}}}{I_{sd}} \geq 2$$

Tabla 3.2a Condiciones que deben cumplir los interruptores automáticos que alimentan los CCM

CCM	$I_{r.1} \div I_{r.2}$ (A)	$t_r \geq$ (s)	$I_{sd} \geq$ (A)	$t_{sd} \geq$ (s)
“1W1 CASA-BOMBA-SOLUCIÓN”	178.5÷238	9.43	856.8	0.4
“1W2 CASA-COMPRESORES”	432÷576	8.77	2073.6	0.4
“1W6 CASA-BOMBA”	480÷640	8.77	2304	0.4

“TORRE DE ENFRIAMIENTO”	DE	376÷502	8.63	1056	0.4
--------------------------------	-----------	---------	------	------	-----

Interruptor MASTERPACT NT

Para la protección de los CCM se han seleccionado en esta tesis los interruptores automáticos MASTERPACT NT (figura 3.2b), ya que éste puede ser ajustado atendiendo a las condiciones expresadas en la tabla 3.2a.



Figura 3.2b Interruptor automático MASTERPACT NT

El interruptor MASTERPACT NT tiene tres zonas de operación ajustables (figura 3.2c)

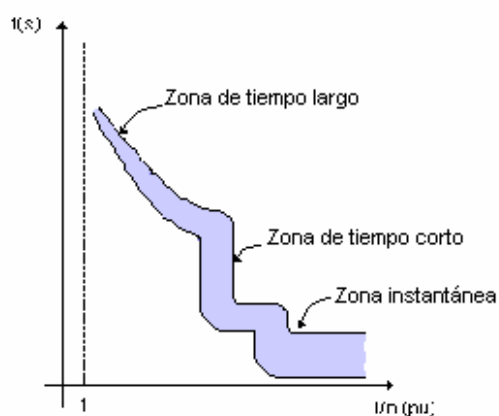


Figura 3.2c Zonas de operación del interruptor MASTERPACT NT

Las corrientes que definen las zonas de operación tal y como aparecen en la figura 3.2d, son:

- I_r : corriente de largo retardo

- I_{sd} : corriente de corto retardo
- I_i : corriente instantánea

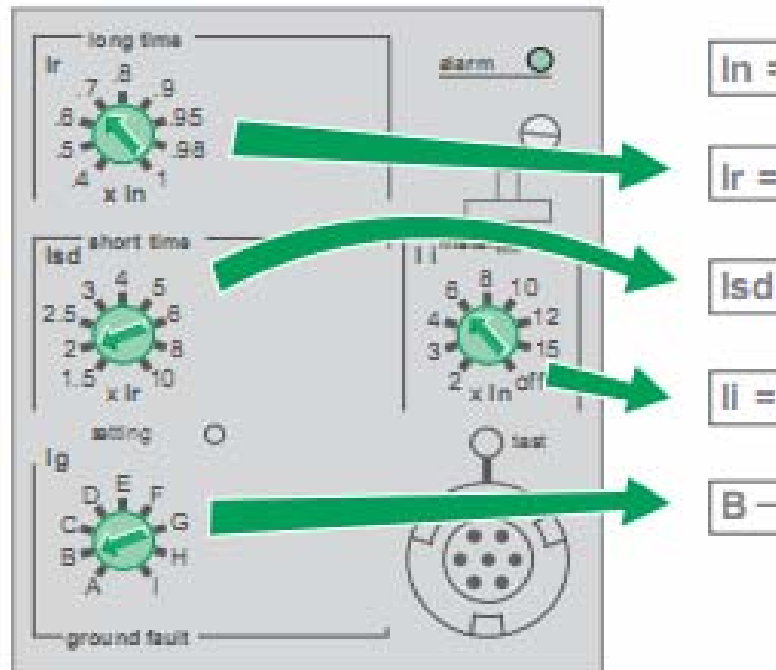


Figura 3.2d Corrientes que definen las zonas de operación del MASTERPACT NT

Para ajustar este interruptor es necesario además considerar los tiempos de operación ajustables para cada zona de operación (figura 3.2e).

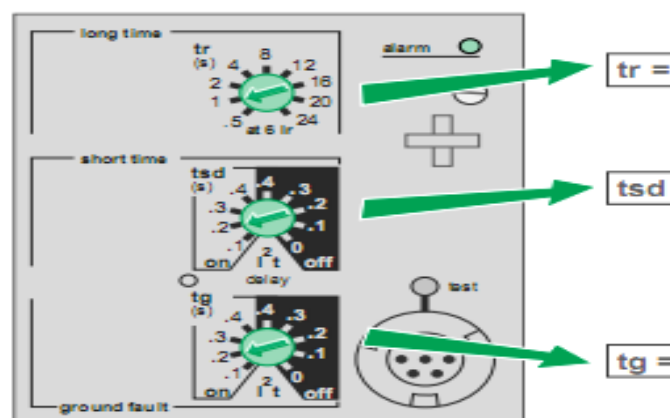


Figura 3.2e Tiempos característicos de las zonas de operación del MASTERPACT NT

Protección largo retardo:

- Protege los cables contra las sobrecargas.
- La medida es de tipo verdadero valor eficaz (RMS).

Umbral $I_r = I_n \times \dots$ (*) Intervalos: 0.4 / 0.5 / 0.6 / 0.7 / 0.8 / 0.9 / 0.95 / 0.98 / 1

Temporización (s) T_r a $6 \times I_r$ Intervalos: 0.5 / 1 / 2 / 4 / 8 / 12 / 16 / 20 / 24

Protección corto retardo:

- a) Protege la red contra los cortocircuitos imperantes.
- b) La parametrización de la temporización corto retardo permite mejorar la selectividad con un interruptor automático aguas abajo.
- c) La medida es de tipo verdadero valor eficaz (RMS).
- d) La elección I^2t ON y I^2t OFF permite mejorar la selectividad con las protecciones situadas aguas abajo.
 - I^2t ON seleccionada: La protección es a tiempo inverso hasta $10 I_r$. Por encima de este valor es a tiempo constante.
 - I^2t OFF seleccionada: La protección es a tiempo constante.

Umbral $I_{sd} = I_r \times \dots$ (*) Intervalos: 1.5 / 2 / 2.5 / 3 / 4 / 5 / 8 / 10

Temporización (ms) T_{sd} I^2t ON: Intervalos: 0.1 / 0.2 / 0.3 / 0.4

I^2t OFF Intervalos: 0 / 0.1 / 0.2 / 0.3 / 0.4

Protección instantánea:

- a) Protege la red contra los cortocircuitos francos. La orden de apertura se transmite al interruptor automático cuando la corriente pasa el umbral parametrizado, después de una temporización fija de 20 ms.
- b) La medida es de tipo verdadero valor eficaz (RMS)

Umbral $I_i = I_n \times \dots$ (*) Intervalos: 2 / 3 / 4 / 6 / 8 / 10 / 12 / 15 / OFF

Protección a tierra:

- a) La protección tierra comporta dos variantes.
 - Residual: Determina la intensidad homopolar, es decir, la suma vectorial de las intensidades de fase y de neutro (según el tipo de red)
 - Toroidal: Mide directamente por un captador externo específico, la intensidad de defecto que retorna al transformador por tierra.

Umbral $I_g = I_n \times \dots (*)$ Intervalos: A B C D E F G H J

0.3 / 0.3 / 0.4 / 0.5 / 0.6 / 0.7 / 0.8 / 0.9 / 1

Temporización (ms) I^2t ON: Intervalos: 0.1 / 0.2 / 0.3 / 0.4

I^2t OFF Intervalos: 0 / 0.1 / 0.2 / 0.3 / 0.

Otras protecciones:

La unidad micrologic 6.0P nos brinda además otras protecciones, las cuales son configurables a través del botón menú. Estas pueden ser ajustadas como disparo, alarmas o simplemente desactivadas.

- a) Protección en mínimo de tensión $U_{\min}$.
- b) Protección en máximo de tensión $U_{\max}$.
- c) Protección en desequilibrio de tensión U_{deseq} .
- d) Protección en retorno de potencia $rP_{\max}$.
- e) Protección en mínimo o máximo de frecuencia $F_{\min}$ o $F_{\max}$.
- f) Protección del sentido de rotación de las fases.

La versión de micrologic que se usará para los interruptores que alimentan los CCM, es la 6.0 A (figura 3.2f).

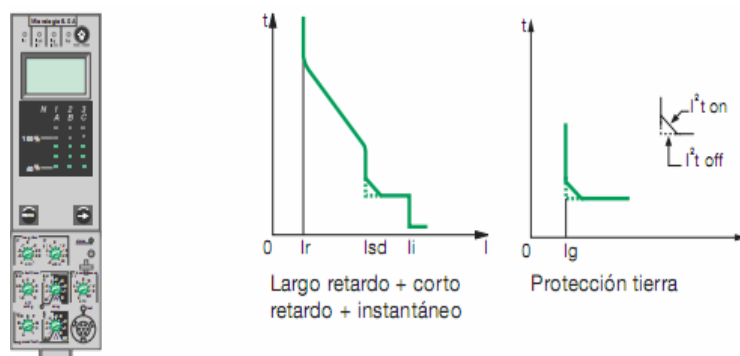


Figura 3.2f Unidad Micrologic 6.0 A

Para los ajustes de los interruptores fueron útiles los Anexos: 3.2a y 3.2b.

Tabla 3.2b Ajustes de los interruptores automáticos que alimentan los CCM

CCM	I_r	t_r	I_{sd}	t_{sd}	Ks nΦ	Ks 1Φ
“1W1 CASA- BOMBA- SOLUCIÓN”	In= 220 A Ir= 198 A	ltm.pu=3.6 tr = 13.2 s Curva de: 4 s para 6 x Ir.	Isd = 990 A	Isd.pu=5 tsd = 0.4 s	6.78	13.32
“1W2 CASA- COMPRESOR ES”	In= 500 A Ir = 450 A	ltm.pu=3.84 tr = 11.3 s Curva de: 4 s para 6 x Ir	Isd=2250 A	Isd.pu=5 tsd = 0.4 s	3.04	6.19
“1W6 CASA- BOMBA”	In= 500 A Ir = 490 A	ltm.pu=3.92 tr = 10.8 s Curva de: 4 s para 6 x Ir	Isd=2450 A	Isd.pu=5 tsd = 0.4 s	2.8	5.69
“TORRE DE ENFRIAMIENTO”	In= 500 A Ir = 400 A	ltm.pu=3.76 5 tr =12 s Curva de: 4 s para 6 x Ir	Isd=1200 A	Isd.pu=3 tsd = 0.4 s	3.27	4.45

Expresiones para el cálculo de las condiciones que debe cumplir el interruptor que alimenta la torre de alumbrado:

1) Corriente de inicio de la zona de largo retardo:

$$I_r = (1.5 \div 2) \times I_{n(Transformer)}$$

$$I_{n(Transformer)} = \frac{\sqrt{3}}{3} \times \frac{S_n}{V_n}$$

$$I_{n(Transformer)} = \frac{\sqrt{3}}{3} \times \frac{150kVA}{440V} = 196.824A$$

$$I_r = (1.5 \times 196.824A \div 2 \times 196.824A)$$

$$I_r = (295.24A \div 393.65A)$$

2) Tiempo de operación en la zona de largo retardo:

$$t_r \geq \Delta T$$

$$t_r \geq 0.4s$$

3) Corriente de inicio de la zona de corto retardo:

$$I_{sd} \geq I_r$$

$$I_{sd} \geq 324A$$

4) Tiempo de operación en la zona de corto retardo:

$$t_{sd} \geq t_{op.mag.(mayor)} + \Delta T$$

$$t_{sd} \geq 0.4s$$

5) Corriente de inicio de la zona instantánea:

$$I_i = OFF$$

6) Coeficiente de sensibilidad para cortocircuitos multifásicos:

$$K_{S_{CC.n\Phi}} = \frac{I_{cc_{2\phi.min}}}{I_{sd}} \geq 2$$

7) Coeficiente de sensibilidad para cortocircuitos monofásicos:

$$K_{S_{CC.1\Phi}} = \frac{I_{cc_{1\phi.min}}}{I_{sd}} \geq 2$$

Tabla 3.2c Condiciones que debe cumplir el interruptor que alimenta la torre de alumbrado

$I_{r.1} \div I_{r.2} \text{ (A)}$	$t_r \geq \text{(s)}$	$I_{sd} \geq \text{(A)}$	$t_{sd} \geq \text{(s)}$
295.24÷393.65	0.4	I _r	0.4

Selección y ajuste del interruptor que alimenta la Torre de Alumbrado

El interruptor que alimenta la Torre de Alumbrado es del mismo tipo que los que alimentan los CCM, o sea un MASTERPACT NT.

Tabla 3.2d Ajuste del interruptor que alimenta la torre de alumbrado

I_r	t_r	I_{sd}	t_{sd}
324 A In=360 A	15 s Curva de: 0.5 s en 6 x I _r	486 A	0.4 s

3.3- Selección y ajuste del interruptor principal de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa

Expresiones para el cálculo de las condiciones que debe cumplir el interruptor principal:

1) Corriente de inicio de la zona de largo retardo:

$$I_r \geq 1.07 \times \sum_{i=1}^n I_{r.i} \quad n: \text{número de interruptores adyacentes}$$

$$I_r \geq 1.07 \times 1862 A$$

$$I_r \geq 1992.34 A$$

2) Corriente de inicio de la zona de corto retardo:

$$I_{sd} \geq 1.11 \times Itm$$

$$Itm = \sum_{i=1}^n Itm_{\substack{\text{Interruptores} \\ \text{que..a limentan..} \\ \text{a..los..CCM)}}} + Ism_{\substack{\text{Interruptor..que} \\ \text{a limenta..la..torre..} \\ \text{de..alumbrado}}}$$

$$Itm = 5868 A + 196.824 A = 6064.824 A$$

n: número de interruptores adyacentes

$$Isd \geq 1.11 \times 6024.824 A$$

$$Isd \geq 6731.955 A$$

3) Tiempo de operación en la zona de largo retardo:

$$t_r \geq \frac{4}{3} \times t_{ri.(mayor)} + \Delta T \quad \text{para la corriente transitoria máxima Itm de tri.(mayor)}$$

$$t_r \geq \frac{4}{3} \times t_{ri.(mayor)} + \Delta T$$

$$t_r \geq \frac{4}{3} \times 13.2 s + 0.5 s$$

$$t_r \geq 18.1 s$$

4) Tiempo de operación en la zona de corto retardo:

$$t_{sd} \geq t_{sd.(mayor)} + \Delta T$$

$$t_{sd} \geq 0.4s + 0.3s$$

$$t_{sd} \geq 0.7s$$

5) Corriente de inicio de la zona instantánea:

$$I_i = OFF$$

6) Coeficiente de sensibilidad para cortocircuitos multifásicos:

$$Ks_{CC.n\Phi} = \frac{I_{cc_{2\phi.min}}}{I_{sd}} \geq 1.3$$

7) Coeficiente de sensibilidad para cortocircuitos monofásicos:

$$Ks_{CC.1\Phi} = \frac{I_{cc_{1\phi.min}}}{I_{sd}} \geq 1.3$$

Tabla 3.3a Condiciones que debe cumplir el interruptor principal

$I_r \geq$ (A)	$t_r \geq$ (s)	$I_{sd} \geq$ (A)	$t_{sd} \geq$ (s)
1992.34	18.1	6731.955	0.7

Para el ajuste del interruptor principal de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa se utilizará el mismo interruptor MASTERPACT NT pero con unidad Micrologic 6.0 P (figura 3.3a). Para los ajustes se consultaron los umbrales que se reflejan en los *Anexos: 3.3a, 3.3b, 3.3c, 3.3, 3.3e y 3.3f*.

Micrologic 6.0 P

Protección selectiva + Idmtl + Tierra,
medida de potencia y protecciones suplementarias.

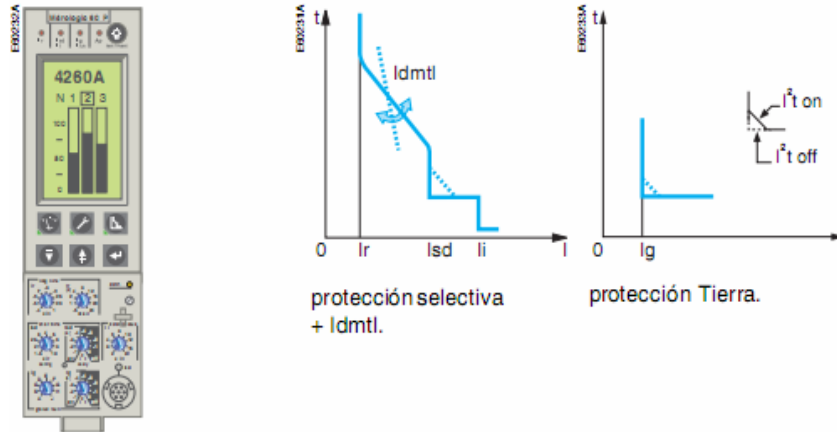


Figura 3.3a Unidad Micrologic 6.0 P

Tabla 3.3b Ajustes del interruptor principal

I_r (A)	t_r (s)	I_{sd} (A)	t_{sd} (s)
In=2000 A Ir=2000A	20	8000 A	0.4

En la figura 3.3b se muestra la propuesta de PGD para la Planta de Amoníaco de la EPM.



Figura 3.3b Propuesta – PGD Planta de Amoníaco. Empresa Puerto Moa.

Descripción de la pizarra.

1. Lámparas de señalización.
 - a) Lámpara de color rojo: Interruptor conectado.
 - b) Lámpara de color verde: Interruptor desconectado
 - c) Lámpara de color blanco: Interruptor en modo de prueba.
2. Llave de mando (Conexión – Desconexión)
3. Analizador de redes.
4. Unidad de disparo micrologic. (6.0 P para la entrada y 6.0 A para las salidas)
5. Interruptor masterpact
6. Filtro.
7. Ducto de barras - Entrada desde el transformador.

Conclusiones del capítulo 3

- Los interruptores de la familia Compact NSX pueden ser seleccionados y ajustados para proteger los motores de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa, contra cortocircuitos multifásicos y monofásicos.
- Los interruptores de la familia MASTERPACT NT con unidad micrologic 6.0A pueden ser seleccionados y ajustados para proteger los Centros de Control de Motores y la Torre de Alumbrado de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa, contra cortocircuitos multifásicos y monofásicos. Y de este mismo tipo pero con la unidad micrologic 6.0P puede ser ajustado como interruptor principal de la Empresa.

Capítulo 4. Valoración técnico-económica de la propuesta de modernización de las protecciones eléctricas en la Planta de Amoníaco en la Empresa Puerto de Moa

En este capítulo se realizará una breve valoración técnica de la pizarra actual (desventajas) así como una breve valoración técnica de la propuesta de modernización desarrollada en la tesis (ventajas y prestaciones). Además se hará una valoración del precio de la pizarra y equipamientos.

4.1- Desventajas de la pizarra actual

La pizarra principal de la subestación transformadora de la Planta de Amoníaco, presenta una serie de desventajas técnicas que conllevaron a la propuesta de modernización de la misma:

- Envejecimiento moral
- Ausencia de equipamientos y piezas de repuesto
- Alto riesgo de peligrosidad.
- Falta de mediciones.



Envejecimiento Moral

Esta planta de fabricación soviética tiene más de 25 años de vida útil, lo que es superior a la vida útil establecida de 20 años. Al comparar la pizarra actual con la de la modernización propuesta, nos demuestra que sus prestaciones y alcance la han hecho envejecer moralmente.

Ausencia de equipamientos y piezas de repuesto

En la actualidad podemos decir que esta planta se encuentra prácticamente desatendida, pues no existen piezas ni equipamientos que les permitan a los técnicos y especialistas de la Empresa, realizar un mantenimiento efectivo. Muchas de las protecciones eléctricas están rígidas, desajustadas, rotas o desinstaladas provocando esto una mala selectividad y operación durante un cortocircuito.

Alto riesgo de peligrosidad

Como las protecciones eléctricas se encuentran desatendidas y que el estado de los interruptores es defectuoso, aumentan los riesgos de peligrosidad.

Al ocurrir un cortocircuito si no se desconecta la parte averiada ya sea por un mal ajuste o por defecto en el circuito de disparo del interruptor, podría provocarse una explosión, ocasionando esto graves afectaciones en la planta, producto a los gases desprendidos en proceso de rebaja del amoníaco.

Por otro lado, la manipulación con estos interruptores se hace muy insegura ya que generalmente los accionamientos mecánicos para extraerlos de la celda han sufrido desgastes y se trancan dentro de la misma, y en ocasiones se necesita de una palanca para desacoplarlos de las barras de energía. Esto puede provocar un accidente con peligro para la vida del operador que realiza estas prácticas; además, de las consecuencias en cuanto a daño del equipamiento, no contándose con piezas de repuesto para ser reparado con la calidad que se desea alcanzar.

Falta de mediciones

Ante la necesidad de mantenimiento y reparación de un interruptor o de una unidad de disparo, existiría mayor flexibilidad de haber un interruptor de reserva equipado con la unidad disparadora.

Ante cualquier avería que pueda presentarse juegan un papel muy importante las señalizaciones, ya que nos agilizarían la operación. Esto hoy no es posible pues tanto los instrumentos de medición (Amperímetros y Voltímetro) como las luminarias de señalización del estado del interruptor y banderolas, están en mal estado, creando esto un mayor tiempo de demora a la hora de operar o resolver una avería.

4.2- Prestaciones y ventajas de la propuesta de modernización de las protecciones

La pizarra propuesta para la Planta de Amoníaco presenta una serie de prestaciones y ventajas técnicas con respecto a la implementada en la actualidad. Algunas de ellas se mencionan a continuación:

1. Sencillez de la instalación.

2. Seguridad de operación para los operadores.
3. Reducción de los costos de mantenimiento.
4. Protecciones de altas prestaciones.
5. Mayor flexibilidad y seguridad de los procesos.
6. Comunicación
7. Visualización y calidad de medidas y señalización.
8. Respeto por el medio ambiente.

A continuación detallamos tres de ellas las cuales estimamos como de gran importancia.

Protecciones de altas prestaciones

- Amplio margen de ajuste.
- Unificación de las protecciones.
- Puertos de comunicación.
- Parametrización local y a distancia.
- Señalización y visualización de defectos.
- Históricos de medidas y eventos.

Comunicación

Los interruptores masterpact y las unidades micrologic brindan la opción de comunicarse mediante Modbus para ser integrados en un sistema de supervisión.

Respeto por el medio ambiente

- Uso de materiales no peligrosos para el medio ambiente.
- Proceso de fabricación no polucionante, conforme con la norma ISO 14001.
- Minimización del efecto del corte en el exterior del aparato.
- Baja energía disipada por polo logrando la mínima pérdida de energía.
- Materiales reciclables al final de su vida útil.

4.3- Costo estimado de los dispositivos de protección

Tabla 4.3a Costo estimado de los dispositivos de protección

Tipo de interruptor	Precio	Cantidad	Precio Total
Compact NSX	2000€	26	52000€
Masterpact NT 630 Micrologic 6.0A	9200 €	5	46000 €
Masterpact NT 630 Micrologic 6.0 P	10000 €	1	10000 €
Total			106000 €
Precio Pizarra – Conjunto		160.000 €	

No se pueden poner los costos de mantenimiento porque como fue mencionado en el capítulo dos esta planta se encuentra desatendida, formada por un equipamiento obsoleto y desactualizado totalmente, con problemas en la sensibilidad ante un cortocircuito, trayendo consigo malas operaciones en las protecciones, atrasando el proceso de rebaja del amoníaco y el bombeo para la Empresa Ernesto Che Guevara.

Hasta ahora el suministro de amoníaco hacia la Empresa Ernesto Che Guevara nunca ha sido afectado gracias a los grandes envases de almacenamiento, que permiten soportar hasta 10 días sin recibir este producto; pero si ocurriera una avería de gran magnitud por ejemplo la explosión de un interruptor o un motor, no solamente afectaría la producción o

traería pérdidas de materiales sino que esto provocaría daños severos para la vida humana, dado a las consecuencias negativas que provoca esta sustancia y el cuidado que se debe tener a la hora de operar en esta planta. La EPM es el único lugar de Moa donde se maneja amoníaco a un 100% de pureza. A los operadores y técnicos del área se les dificulta el trabajo porque tienen que usar los medios de protección.

Una mala operación de las protecciones eléctricas en la Planta de Amoníaco de la EPM puede conducir a un incendio y a un escape de amoníaco de este nivel de concentración, que afectaría a miles de personas en el municipio de Moa. De esta manera, se demuestra la importancia económica, social y ambiental de realizar la modernización del sistema de protecciones eléctricas que se propone en esta tesis.

Conclusiones del capítulo 4

- Las actuales protecciones contra cortocircuitos en la Planta de Amoníaco de la EPM presenta numerosas desventajas debido al envejecimiento del equipamiento.
- La propuesta realizada en esta tesis de modernización de las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en la Planta de Amoníaco de la EPM utilizando interruptores modernos, resultó tener verdaderas ventajas técnicas y económicas que la hacen ser viable e importante desde el punto de vista técnico, económico, social y ambiental.

CONCLUSIONES GENERALES

- Las protecciones eléctricas tienen como misión desconectar tan rápido como sea posible, la parte del sistema eléctrico que esté averiada, su importancia está en evitar daños mayores en el elemento averiado y la propagación de estos daños a otros elementos del sistema eléctrico de potencia; y la sensibilidad, la selectividad, la velocidad de respuesta y la optimización económica son requisitos que las protecciones deben cumplir.
- Las protecciones eléctricas instaladas en la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa no cumplen totalmente con los requisitos de sensibilidad, selectividad y velocidad de respuesta.
- Los interruptores de la familia Compact NSX pueden ser seleccionados y ajustados para proteger los motores de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa, contra cortocircuitos multifásicos y monofásicos.
- Los interruptores de la familia MASTERPACT NT con unidad micrologic 6.0A pueden ser seleccionados y ajustados para proteger los Centros de Control de Motores y la Torre de Alumbrado de la Planta de Amoníaco de la Empresa Puerto Moa, contra cortocircuitos multifásicos y monofásicos. Y de este mismo tipo pero con la unidad micrologic 6.0P puede ser ajustado como interruptor principal de la Empresa.
- La propuesta realizada en esta tesis de modernización de las protecciones eléctricas contra cortocircuitos en la Planta de Amoníaco de la EPM utilizando interruptores modernos, resultó tener verdaderas ventajas técnicas y económicas que la hacen ser viable e importante desde el punto de vista técnico, económico, social y ambiental.

RECOMENDACIONES

- Analizar la posibilidad de utilizar protección diferencial de barra en la PGD de la Empresa Puerto Moa.
- Modernizar las demás protecciones eléctricas instaladas en todas las subestaciones de la Empresa Puerto Moa.

BIBLIOGRAFÍA

- Altuve Ferrer Hector. Protección de Redes Eléctricas_ Santa Clara: Universidad de las Villas_ 1990, 254p.
- Chernobrovov N. Protective Relaying. _ Moscow: Mir, 1974_ 1789p.
- Fabricant V. L. Protección De Distancia / V. L. Fabricant _ Moscow:[sn], 1986_ 249p.
- Fedoseev A. M. Protección por Relés de los Sistemas Eléctricos_ Moscow: [sn], 1984_743p.

Torres Breffe Orllys Ernesto. Laboratorio virtual de Protecciones Eléctricas Universidad de Camagüey_ 1999_ 133p.Tutor: Luis Corrales barrios

- SCHNEIDER ELETRIC (España)_ SEPAM
- Catalogo Masterpact NT.
- Catalogo de lá unida de control micrologic 6.0P.
- Catalogo de lá unida de control micrologic 6.0A.
- Catalogo Compax NSX.
- Catalogo de lá unida de control micrologic 5.2 A
- Disponible en: [ttp://www.geindustrial.com/pm/pr/history.pdf](http://www.geindustrial.com/pm/pr/history.pdf).
Revista Powerengineer
- De la Incera, Carlos... [et al]. Problemas Resueltos y Propuestos De Protecciones De Sistemas Eléctricos_ La Habana: ISPJAE, 1989 _ 236p.
- Donald Beeman...[et al]. Industrial Power Systems. Handbook_La Habana: Instituto Del Libro, 1969 _971p.
- Line Material Company. Distribution System Protection and Apparatus Coordination. USA. 1962, 89p.

ANEXOS

ANEXO 3.1a

La siguiente tabla indica, para todos los calibres de unidad de control, los valores del umbral de disparo I_r (en amperios) de la protección térmica (valores indicados en el regulador) en función de la posición del regulador I_r :

Calibre de la unidad de control I_n (A)											
16	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250
Umbral de disparo I_r (A)											
11	18	22	28	35	44	56	70	88	112	140	175
13	20	26	32	40	50	64	80	100	128	160	200
14	23	29	36	45	57	72	90	113	144	180	225
16	25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250

ANEXO 3.1b

La siguiente tabla indica los valores del umbral de disparo I_r (en amperios) de la protección largo retardo (directamente legible en el regulador) para todos los calibres de unidad de control:

Calibre de la unidad de control I_n (A)						
25	50	100	150	220	320	500
Umbral de disparo I_r (A)						
12	25	50	70	100	160	250
14	30	60	80	120	180	280
16	32	70	90	140	200	320
18	36	75	100	155	220	350
20	40	80	110	170	240	380
22	42	85	120	185	260	400
23	45	90	130	200	280	440
24	47	95	140	210	300	470
25	50	100	150	220	320	500

ANEXO 3.1c

Para las unidades de control de calibres inferiores a 200 A, el umbral de disparo de la protección magnética es fijo e igual al valor indicado a continuación:

Para cualquier tipo de caja	Calibre de la unidad de control In (A)									
	16	25	32	40	50	63	80	100	125	160
Umbral Im (A)	190	300	400	500	500	500	640	800	1.250	1.250

El rango de precisión es de +/- 20%.

ANEXO 3.1d

El umbral de disparo Im de la protección magnética es fijo e igual al valor indicado a continuación:

	Calibre de la unidad de control In (A)			
	16	25	40	63
Umbral Im (A)	64	80	80	125

El rango de precisión es de +/- 20%.

ANEXO 3.1e

La siguiente tabla indica, para todos los calibres de unidad de control, los valores del umbral de disparo Im (en amperios) de la protección magnética (valores indicados en el regulador) en función de la posición del regulador Im:

Calibre de la unidad de control In (A)							
2,5	6,3	12,5	25	50	100	150	220
Umbral de disparo Im (A)							
15	38	75	150	300	–	–	–
18	44	88	175	350	–	–	–
20	50	100	200	400	–	–	–
23	57	113	225	450	900	1.350	1.980
25	63	125	250	500	1.000	1.500	2.200
28	69	138	275	550	1.100	1.650	2.420
30	76	150	300	600	1.200	1.800	2.640
33	82	163	325	650	1.300	1.950	2.860
35	88	175	350	700	1.400	2.100	3.080

El rango de precisión es de +/- 20%.

ANEXO 3.1f

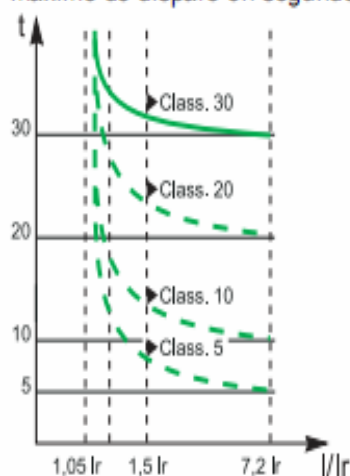
La siguiente tabla indica los valores del umbral de disparo I_m (en amperios) de la protección magnética (valores indicados en el regulador) en función de la posición del regulador I_m :

Calibre de la unidad de control I_n (A)	
200	250
Umbral I_m (A)	
1.000	1.250
1.200	1.500
1.400	1.750
1.600	2.000
1.800	2.250
2.000	2.500

El rango de precisión es de $\pm 20\%$.

ANEXO 3.1g

Las 4 clases de disparos de un relé térmico son 5, 10, 20 y 30, valores que corresponden al tiempo máximo de disparo en segundos del relé a $7,2 I_n$.



Valores normalizados de los tiempos de disparo

Clase	$1,05 I_n$	$1,2 I_n$	$1,5 I_n$	$7,2 I_n$
5	$t > 2 \text{ h}$	$t < 2 \text{ h}$	$t < 2 \text{ min}$	$0,5 \text{ s} \leq t \leq 5 \text{ s}$
10	$t > 2 \text{ h}$	$t < 2 \text{ h}$	$t < 4 \text{ min}$	$4 \text{ s} \leq t \leq 10 \text{ s}$
20	$t > 2 \text{ h}$	$t < 2 \text{ h}$	$t < 8 \text{ min}$	$6 \text{ s} \leq t \leq 20 \text{ s}$
30	$t > 2 \text{ h}$	$t < 2 \text{ h}$	$t < 12 \text{ min}$	$9 \text{ s} \leq t \leq 30 \text{ s}$

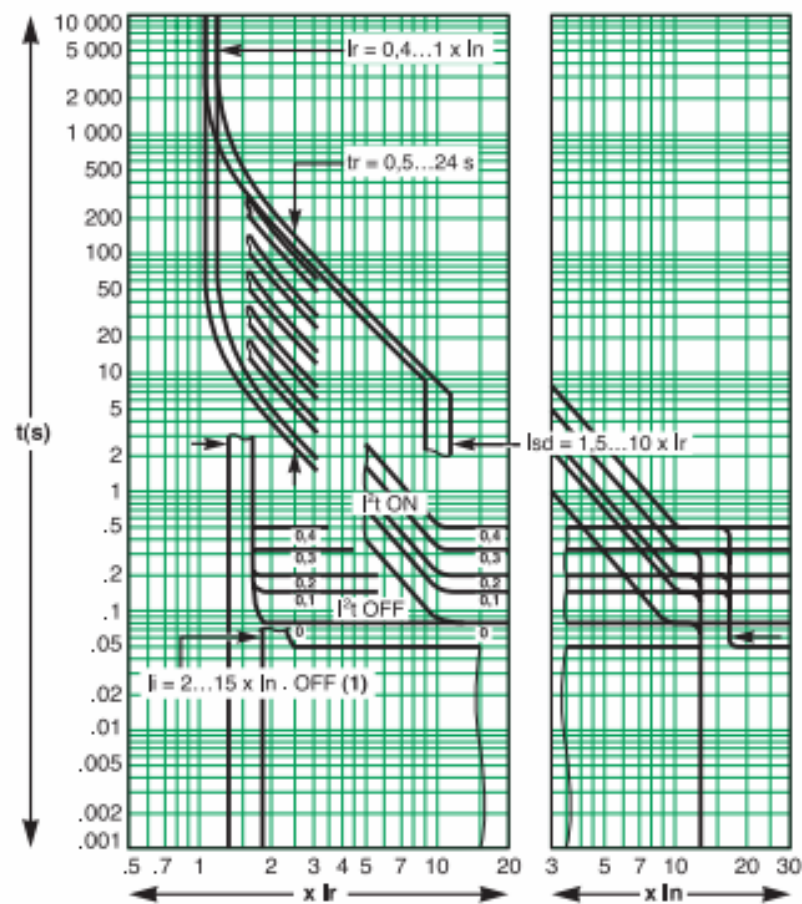
Los tipos 5 y 10 son los más utilizados. Los tipos 20 y 30 corresponden a aplicaciones que precisan de arranques motores difíciles.

ANEXO 3.2a

Unidad de control Micrologic		6.0 A									
umbral	$I_g = I_n \times \dots (*)$	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
precisión	$I_n \leq 400 \text{ A}$	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
$\pm 10 \%$	$400 \text{ A} < I_n \leq 1200 \text{ A}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
	$I_n > 1200 \text{ A}$	500 A	640 A	720 A	800 A	880 A	960 A	1040 A	1120 A	1200 A	
temporización (ms)	esc. de regulación	$I^2t \text{ OFF}$									
a $10 I_n (*)$		0	0,1	0,2	0,3	0,4					
$I^2t \text{ ON o}$	$I^2t \text{ ON}$		0,1	0,2	0,3	0,4					
$I^2t \text{ OFF}$	tg (no disparo)	20	80	140	230	350					
	tg (máx. de corte)	80	140	200	320	500					

* I_n : calibre del interruptor automático

ANEXO 3.2b

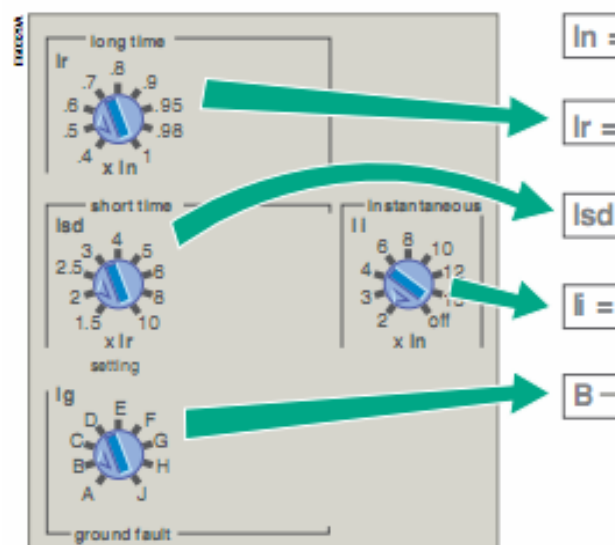


ANEXO 3.3a

Unidad de control Micrologic		6.0 P									
umbral	$I_g = I_n \times \dots$	A	B	C	D	E	F	G	H	I	
precisión $\pm 10\%$	$I_n \leq 400\text{ A}$	0,3	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
	$400\text{ A} < I_n \leq 1200\text{ A}$	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1	
	$I_n > 1200\text{ A}$	500 A	640 A	720 A	800 A	880 A	960 A	1040 A	1120 A	1200 A	
temporización (ms)	escalonos de I^2t Off	0	0,1	0,2	0,3	0,4					
	regulación I^2t On		0,1	0,2	0,3	0,4					
a $10 I_n$											
I^2t On o	tg (sin disparo)	20	80	140	230	350					
I^2t Off	tg (max. de corte)	80	140	200	320	500					

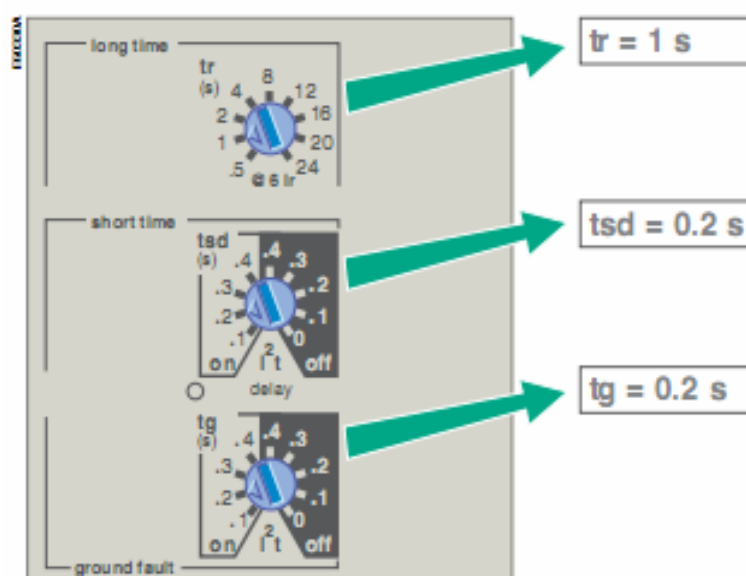
ANEXO 3.3b

Regular los umbrales



ANEXO 3.3c

Regular las temporizaciones

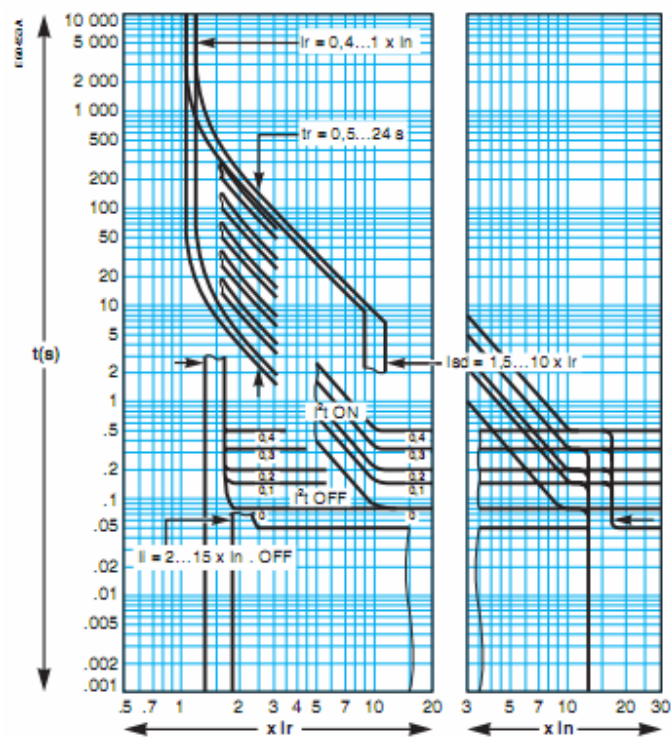


ANEXO 3.3d

Umbral Ir y temporización tr Idmtl.

Unidad de control Micrologic		Precisión	5.0 P, 6.0 P y 7.0 P									
umbral	$I_r = I_n \times \dots (*)$		0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	0,95	0,98	1	
disparo entre 1,05 y 1,20 I _r			otros intervalos o inhibición por cambio de regulador									
DT												
temporización (s)	tra 1,5 x I _r	0 a - 20%	0,5	1	2	4	8	12	16	20	24	
	tra 6 x I _r	0 a - 20%	0,5	1	2	4	8	12	16	20	24	
	tra 7,2 x I _r	0 a - 20%	0,5	1	2	4	8	12	16	20	24	
SIT												
temporización (s)	tra 1,5 x I _r	0 a - 30%	1,9	3,8	7,6	15,2	30,4	45,5	60,7	75,8	91	
	tra 6 x I _r	0 a - 20%	0,5	1	2	4	8	12	16	20	24	
	tra 7,2 x I _r	0 a - 20%	0,44	0,88	1,77	3,54	7,08	10,6	14,16	17,7	21,2	
VIT												
temporización (s)	tra 1,5 x I _r	0 a - 30%	3,6	7,2	14,4	28,8	57,7	86,5	115,4	144,2	173,1	
	tra 6 x I _r	0 a - 20%	0,5	1	2	4	8	12	16	20	24	
	tra 7,2 x I _r	0 a - 20%	0,4	0,81	1,63	3,26	6,52	9,8	13,1	16,34	19,61	
EIT												
temporización (s)	tra 1,5 x I _r	0 a - 30%	12,5	25	50	100	200	300	400	500	600	
	tra 6 x I _r	0 a - 20%	0,5	1	2	4	8	12	16	20	24	
	tra 7,2 x I _r	0 a - 20%	0,34	0,69	1,38	2,7	5,5	8,3	11	13,8	16,6	
HVF												
temporización (s)	tra 1,5 x I _r	0 a - 30%	164,5	329	658	1316	2632	3950	5265	6581	7900	
	tra 6 x I _r	0 a - 20%	0,5	1	2	4	8	12	16	20	24	
	tra 7,2 x I _r	0 a - 20%	0,24	0,48	0,96	1,42	3,85	5,78	7,71	9,64	11,57	

ANEXO 3.3e



ANEXO 3.3f

