



90
Zejeu
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

PROTECCION AL SISTEMA ELECTRICO DE
POTENCIA QUE ALIMENTA A LOS HORNOS
DE ARCO ELECTRICO DE IMEXSA

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA

P R E S E N T A I

GONZALO GUICHARD HERNANDEZ



DIRECTOR: ING. JUAN VICENTE LEDUC RUBIO

DIRECTOR: ING. ALBERTO GUEVARA ORTEGA

MEXICO, D. F.

1995

FALLA DE ORIGEN

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS

A MIS PADRES Y HERMANOS
A LA SRA. CARMEN UGALDE DE TALAVERA
A MI AMADA ESPOSA AURORA

AL ING. SALVADOR MAGALLÓN BARAJAS
AL ING. JESÚS RODRÍGUEZ GARCÍA
AL ING. REYNALDO PABLO GONZÁLEZ
AL ING. ALFREDO LEAL GARCÍA

A TODOS LOS QUE DE UNA U OTRA
FORMA CONTRIBUYERON A
LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO

AL LIC. JORGE REYES NÚÑEZ POR SU APOYO EN LA REDACCION DEL TEXTO

**PROTECCIÓN AL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA QUE ALIMENTA A LOS HORNOS
DE ARCO ELÉCTRICO DE IMEXSA**

CONTENIDO

	PAGINA
I.- GENERALIDADES HISTÓRICAS DE LOS METALES	
1.1 LOS METALES A TRAVÉS DEL TIEMPO	7
1.2 CRONOLOGÍA HISTÓRICA DEL ACERO EN MÉXICO	18
1.2.1 EL ACERO EN LA ÉPOCA MODERNA	19
1.2.2 EL ACERO EN LA ACTUALIDAD	20
II.- PROCESOS DE FABRICACIÓN DEL ACERO	
2.1 RUTA TECNOLÓGICA CONVENCIONAL	22
2.2 RUTA DE REDUCCIÓN DIRECTA	24
2.3 PLANTAS DE LA RUTA DE REDUCCIÓN DIRECTA	27
2.3.1 MINA Y PLANTA CONCENTRADORA	27
2.3.2 PLANTA PELETIZADORA	30
2.3.3 PLANTA DE REDUCCIÓN DIRECTA	32
2.3.4 PLANTA DE ACERÍA ELÉCTRICA	33
2.3.5 PLANTA DE COLADA CONTÍNUA	34
2.3.6. PLANTA DE LAMINACIÓN	36
III.- DIFERENTES TIPOS DE ACEROS	
3.1 CALIDAD DE LOS ACEROS	38
3.2 CLASES DE ACEROS. CLASIFICACIÓN	40
3.3 ELEMENTOS QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL ACERO	43
3.4 ACEROS ALEADOS	44
3.5 ACEROS AL CARBONO	46
3.6 CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS	47

IV.- OPERACIÓN DEL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO

4.1	FUNCIONAMIENTO DEL HORNO DE ARCO	48
4.2	ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO	
4.2.1	INTRODUCCIÓN	53
4.2.2	IMPEDANCIA DE LA LÍNEA DE ENTRADA	54
4.2.3	IMPEDANCIA DE LOS TRANSFORMADORES REDUCTORES	55
4.2.4	IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR DE ALTA IMPEDANCIA	57
4.2.5	IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR DEL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO	58
4.2.6	IMPEDANCIA DEL HORNO DE OLLA	58
4.2.7	IMPEDANCIA DEL CABLE DE 69 KV	58
4.2.8	IMPEDANCIA DE LOS CABLES QUE SALEN DEL BUS DE 69 KV	59
4.2.9	IMPEDANCIA DE LOS REACTORES DE LOS FILTROS	62
4.2.10	IMPED. DEL CONDUCT. DEL SEC. DEL TRANSF. HORNOS DE ARCO	63
4.2.11	IMPED. DEL CONDUCT. DEL SEC. DEL TRANSF. HORNOS DE OLLA	64
4.2.12	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 1	65
4.2.13	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 2	65
4.2.14	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 3	70
4.2.15	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 4	76
4.2.16	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 5	77
4.2.17	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 6	79
4.2.18	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 7	80
4.2.19	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 8	82
4.2.20	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 9	83
4.2.21	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 10	84
4.2.22	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 11	86
4.2.23	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 12	87
4.2.24	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 13	89
4.2.25	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 14	90
4.2.26	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 15	92
4.2.27	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 16	93
4.2.28	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 17	95
4.2.29	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 18	96
4.2.30	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 19	98
4.2.31	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 20	99
4.2.32	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 21	101
4.2.33	CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE FALLA EN EL PUNTO # 22	102
4.3	APLICACIONES DEL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO	
4.3.1	TEORÍA GENERAL	104
4.3.2	LAS FUENTES DE LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO	108
4.3.3	ELEMENTOS LIMITADORES DE CORRIENTE	108
4.3.4	EL ESFUERZO DE INTERRUPCIÓN	109
4.3.5	SELECCIÓN Y COORDINACIÓN DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN	109
	CONCLUSIONES	117
	BIBLIOGRAFÍA	118

CAPÍTULO I
GENERALIDADES
HISTÓRICAS DE
LOS METALES

1.1. HISTORIA DE LOS METALES A TRAVÉS DEL TIEMPO

EL MEDALLISTA FUE UNO DE LOS PRIMEROS ESPECIALISTAS QUE EMERGIERON DE LAS TINIEBLAS DE LA PREHISTORIA. ESTE HOMBRE, YA DESDE EL PRINCIPIO, TUVO UN CURIOSO LUGAR EN LA ESCALA SOCIAL. A VECES FUE TENIDO EN ALTA ESTIMA, PERO TAMBIÉN FUE DESPRECIADO EN OTRAS OCASIONES, Y TODO ELLO POR RAZONES EVIDENTES. TRABAJABA DURAMENTE, POR LO QUE PRESENTABA UN ASPECTO DEPLORABLE: SU CARA ESTABA ENNEGRECIDA Y SUS ROPAS QUEMADAS POR EL HUMO Y EL CALOR DEL FUEGO. POR OTRA PARTE, LOS OBJETOS QUE FABRICABA ERAN ÚTILES Y BELLOS. ADEMÁS, POSEÍA LA HABILIDAD APARENTEMENTE DIVINA DE PODER ALTERAR LA NATURALEZA REAL DE LA MATERIA. PODÍA CONVERTIR UNA ROCA INERTE EN UN METAL BRILLANTE.

LOS METALES LLEGARON A SER ALGO A LA VEZ FASCINANTE Y MISTERIOSO. LOS FILÓSOFOS GRIEGOS, POR EJEMPLO, AL INTENTAR EXPLICAR EL FENÓMENO DE LA ALEACIÓN DE LOS METALES, CONCIBIERON SUS IDEAS SOBRE EL ÁTOMO Y LA ESTRUCTURA ELEMENTAL DE LA MATERIA. OTROS, MENOS INTERESADOS EN FILOSOFÍA, SE CONTENTARON SIMPLEMENTE CON ADMIRAR Y EXPLOTAR LOS METALES, Y, MEDIANTE SU UTILIZACIÓN, ACELERAR LO QUE SE LLAMA CIVILIZACIÓN. AL PRINCIPIO MODELARON LOS METALES A SEMEJANZA DE OBJETOS CONOCIDOS; DESPUÉS LES ATRIBUYERON NUEVAS FUNCIONES, COMO ÚTILES PARA EL AGRICULTOR, UTENSILIOS DE COCINA, ARMAS PARA EL GUERRERO O JOYAS PARA LAS MUJERES DE LA CORTE.

LAS CONSECUENCIAS DE ESTOS PROGRESOS MATERIALES FUERON CONSIDERABLES. PERO CON FRECUENCIA SE HA OLVIDADO EL PAPEL DE LA TECNOLOGÍA EN EL CAMBIO DE LA VIDA DE LOS SERES HUMANOS. LA RAZÓN ES SIMPLE: EL TESTIMONIO DE LOS LOGROS TECNOLÓGICOS DEL HOMBRE NO ESTA ESCRITO EN PALABRAS, SINO QUE PERMANECE OCULTO EN LOS OBJETOS Y, COMO EL TESTIMONIO ES DIFÍCIL DE IDENTIFICAR, NO SIEMPRE HA SIDO CONSERVADO.

LA HISTORIA DE LOS METALES EN LAS MANOS DEL HOMBRE REVIVE ALEGRÍA Y DOLOR, TRIUNFOS Y FRUSTRACIONES. ES UNA HISTORIA DE HOMBRES EXTRAÑOS Y CREATIVOS QUE A TRAVÉS DE MILES DE AÑOS, SE ENFRENTARON DURAMENTE CON MATERIALES TAN MISTERIOSOS QUE SU OFICIO FUE OBSERVADO CON TEMOR SUPERSTICIOSO. PERO AL FINAL, AL CABO DE UNOS DIEZ MILENIOS, LOS

HOMBRES QUE FUNDIERON Y MARTILLARON SUS VIDAS EN UN CALOR SOFOCANTE APRENDIERON A CONQUISTAR EL METAL FUNDIDO Y, CON ELLO, ABRIERON EL CAMINO DEL MUNDO MODERNO. ACTUALMENTE LAS ESTRUCTURAS EN QUE VIVIMOS Y TRABAJAMOS, LAS MAQUINAS CON LAS QUE MULTIPLICAMOS NUESTRAS FUERZAS Y LAS HERRAMIENTAS CON LAS QUE CREAMOS DEPENDEN DEL METAL.

SIN EMBARGO, HUBO UNA ÉPOCA RELATIVAMENTE RECIENTE COMPARADA CON LA HISTORIA HUMANA EN LA QUE EL HOMBRE LO IGNORABA TODO SOBRE EL METAL. HABÍA MOLIDO ALGUNOS MINERALES COLOREADOS, COMO LA MALAQUITA VERDE ESMERALDA Y LA EMATITES AMARILLENTO, UTILIZADOS COMO PIGMENTOS PARA PINTAR SU CARA Y SU CUERPO O PARA DECORAR LAS PAREDES DE LAS CUEVAS DONDE VIVÍA. ACTUALMENTE SABEMOS QUE EL CALOR INTENSO TRANSFORMA LA MALAQUITA EN COBRE Y QUE LA HEMATITES ES UNO DE LOS PRINCIPALES MINERALES DE HIERRO; PERO DURANTE SIGLOS, EL HOMBRE DE LA EDAD DE PIEDRA ÚNICAMENTE USO ESTOS MINERALES POR MOTIVOS DECORATIVOS.

NO OBSTANTE, SIN LA AYUDA DE LOS METALES, EL HOMBRE HABÍA EVOLUCIONADO YA CONSIDERABLEMENTE. EN EL PRÓXIMO ORIENTE, DONDE NACIÓ LA METALURGIA HACE MAS DE 10 000 AÑOS, EL HOMBRE DE LA EDAD DE PIEDRA ESTABA MUY PRÓXIMO A ESTABLECER LAS PRIMERAS CIVILIZACIONES URBANAS. ALREDEDOR DEL CRECIENTE FÉRTIL, EN LAS COLINAS DEL MEDITERRÁNEO ORIENTAL Y DEL VALLE DE MESOPOTAMIA, HABÍA EMPEZADO A VIVIR SEDENTARIAMENTE Y A ESTABLECER LAS PRIMERAS COMUNIDADES AGRÍCOLAS. PLANTABA Y COSECHABA TRIGO Y CEBADA Y SE DEDICABA AL PASTOREO. USABA ÚTILES DE PIEDRA, DE HUESO Y DE MADERA EXTREMADAMENTE EFICACES QUE SERVÍAN PARA LO QUE ESTABAN HECHOS. INCLUSO EL CUCHILLO DE ACERO MAS FINAMENTE AFILADO, POR EJEMPLO, NO ES MAS AGUDO QUE UN CUCHILLO DE OBSIDIANA, UNA ROCA DURA DE ORIGEN VOLCÁNICO.

EN CONSECUENCIA, LOS METALES ENTRARON EN LA VIDA HUMANA POR LA PUERTA DE ATRÁS. SOLO DESPUÉS DE MUCHOS SIGLOS SE HIZO PATENTE SU UTILIDAD POTENCIAL, GRACIAS A UN PROCESO EVOLUTIVO ANÁLOGO AL PROPIO DESARROLLO DEL HOMBRE.

CASI TODAS LAS PROPIEDADES DE LA MATERIA INDUSTRIALMENTE ÚTILES Y LOS SISTEMAS DE MODELAR LOS MATERIALES TUVIERON SUS ORÍGENES EN LAS ARTES DECORATIVAS. LA CREACIÓN DE HORNOS DE COBRE Y HIERRO PRECEDE A SU UTILIZACIÓN EN CUANTO A ARMAS, DE LA MISMA MANERA QUE LAS FIGURAS DE

ARCILLA COCIDA PRECEDEN A LOS CUENCOS DE USO DOMÉSTICO. EL ARTESANO, ESTIMULADO POR UNA CURIOSIDAD ESTÉTICA, EMPIEZA A UTILIZAR LOS METALES PARA UN FIN PRECISO. EL ES EL PRECURSOR DE LOS HERREROS, DE LOS PUDELADORES DEL HIERRO Y DE LOS TEMPLADORES DE ACERO.

NADIE SABE CON SEGURIDAD EL LUGAR EN QUE LOS PRIMEROS METALISTAS EMPEZARON SU ACTIVIDAD. GENERALMENTE EL METAL FUE, EN UN PRINCIPIO, TRABAJADO EN FRIÓ POR MARTILLADO, CON LA AYUDA DE UN MARTILLO DE PIEDRA, PROCESO QUE NO DEJO NINGUNA PRUEBA. PASARON MILES DE AÑOS ANTES DE QUE EL FUEGO FUERA ASOCIADO CON EL REBLANDECIMIENTO Y MODULACIÓN DE LOS METALES.

LOS ARQUEÓLOGOS NO PUEDEN NI SIQUIERA ASEGURAR QUE LOS LUGARES DONDE SE HALLARON LOS ARTEFACTOS MAS ANTIGUOS COINCIDEN CON LOS DE SU FABRICACIÓN.

LOS METALES PRONTO LLEGARON A SER TAN INTRIGANTES Y TAN VALIOSOS QUE SE CONVIRTIERON EN ARTÍCULOS DE CAMBIO, POR LO QUE VIAJARON AMPLIAMENTE. ADEMÁS, LOS METALISTAS NO SIEMPRE DISPONÍAN DE MINERAL EN LAS INMEDIACIONES, POR LO QUE LA MATERIA PRIMA TENÍA QUE SER IMPORTADA. SUMER, CIVILIZACIÓN QUE FLORECIÓ ENTRE EL 3500 Y EL 1800 ANTES DE NUESTRA ERA EN LA AMPLIA LLANURA QUE SEPARAN LOS RÍOS TIGRIS Y EUFRATES, TRAJÓ SUS METALES DE LAS TIERRAS ALTAS QUE RODEAN LA LLANURA: LOS MONTES ZAGROS Y LAS MONTAÑAS DEL TAURO. EGIPTO, POR SU PARTE, AUNQUE DISPONÍA DE RICOS DEPÓSITOS DE ORO, TENÍA QUE IMPORTAR EL COBRE Y LA PLATA. EL DESEO DE ADQUIRIR METAL PUDO, DE HECHO, HABER ESTIMULADO EN LOS ANTIGUOS EGIPCIOS EL DESARROLLO DEL ARTE DE LA NAVEGACIÓN; SU PLATA PUDO VENIR DE SIRIA Y SU COBRE VINO DE LA ISLA DE CHIPRE.

NADIE SABE CON CERTEZA EN QUE REGIÓN EXPLOTÓ EL HOMBRE EL METAL POR PRIMERA VEZ, Y NADIE CONOCE TAMPOCO CUAL FUE AQUEL METAL. ALGUNOS ARQUEÓLOGOS CREEN QUE FUE EL COBRE, DEBIDO A SU ABUNDANCIA EN LAS REGIONES CERCANAS A LOS ENCLAVES DE LOS MAS ANTIGUOS ARTÍFICES. OTROS SUPONEN QUE FUE EL ORO A CAUSA DE LA ATRACCIÓN QUE EJERCE.

TANTO SI FUE EL ORO O EL COBRE EL PRIMER METAL UTILIZADO POR EL HOMBRE, NO CABE DUDA DE QUE EL ETERNO BRILLO DEL ORO LO HIZO EL MAS DESEABLE PARA

FINES ORNAMENTALES. LOS EGIPCIOS LO VALORARON DE UN MODO PARTICULAR. LO CONSIDERABAN COMO EL CUERPO DE LOS DIOS Y NO ESCATIMARON NINGÚN ESFUERZO PARA OBTENERLO.

EN EL MUNDO ANTIGUO EL ORO MANTUVO UNA FUNCIÓN PURAMENTE DECORATIVA. POR EL CONTRARIO, EL COBRE FUE APLICADO A FINES MAS PRÁCTICOS. ESTA ES LA RAZÓN DE QUE LOS ARQUEÓLOGOS HAYAN IDENTIFICADO LA PRIMERA EDAD DE LOS METALES, QUE COMIENZA HACIA EL 6000 ANTES DE NUESTRA ERA, COMO LA EDAD DEL COBRE. ESTA DENOMINACIÓN ES BASTANTE CÓMODA DE UTILIZAR, PERO TIENE SUS LIMITACIONES, LO MISMO QUE OCURRE CON LOS TÉRMINOS DE EDAD DE PIEDRA, EDAD DEL BRONCE, EDAD DEL HIERRO. ESTAS TÉRMINOS PARECE QUE TIENDEN A DIVIDIR LA HISTORIA EN PERIODOS CRONOLÓGICOS PUROS, CADA UNO IDENTIFICADO POR EL MATERIAL PREDOMINANTE UTILIZADO PARA LA FABRICACIÓN DE ÚTILES.

EN REALIDAD, LOS ARTÍFICES DEL METAL NO CAMBIARON DE UN LUGAR A OTRO DE UNA MANERA TAN ORDENADA. EN UN LUGAR Y EN UNA ÉPOCA DETERMINADOS LA GENTE PODÍA ESTAR TRABAJANDO CON ÚTILES DE PIEDRA, MIENTRAS QUE, EN OTRO LUGAR, EL MATERIAL QUE SE USABA GENERALMENTE PODÍA SER EL BRONCE. EN ALGUNOS LUGARES LOS HOMBRES NO AVANZARON PROGRESIVAMENTE A TRAVÉS DE CADA UNA DE LAS DISTINTAS ETAPAS: CHINA, POR EJEMPLO, NUNCA TUVO LO QUE PODRÍA SER LLAMADA LA EDAD DEL COBRE, SINO QUE PASO CASI DIRECTAMENTE DE LA PIEDRA AL BRONCE. LO MISMO ES VALIDO PARA GRAN BRETAÑA. EN JAPÓN EL BRONCE Y EL HIERRO APARECIERON CASI SIMULTÁNEAMENTE, Y ALGUNOS EXPERTOS CREEN QUE EN AQUELLA REGIÓN EL HIERRO PUDO INCLUSO HABER SIDO ANTERIOR AL BRONCE. EN EL NUEVO MUNDO, SIN EMBARGO, EL MATERIAL DOMINANTE EN LA FABRICACIÓN DE ÚTILES CONTINUO SIENDO LA PIEDRA HASTA LA LLEGADA DE LOS ESPAÑOLES EN EL SIGLO XVI, AUNQUE LOS PUEBLOS NATIVOS DE MÉXICO Y AMÉRICA CENTRAL Y MERIDIONAL NO LO ESTABAN FAMILIARIZADOS CON EL METAL SINO QUE EN REALIDAD ERAN EXCELENTES ORFEBRES.

EN LA HISTORIA DE LOS ORÍGENES DEL HOMBRE EL ARTÍFICE DEL METAL ES UNA DE LAS FIGURAS MAS ADMIRABLES. PACIENTEMENTE, CON TENACIDAD, APRENDIERON CON LA PRÁCTICA Y TRANSMITIERON SU CONOCIMIENTO SOLO POR LA VÍA ORAL HASTA QUE, EN LA ÉPOCA DEL RENACIMIENTO, LA TOTALIDAD DE SU SABER FUE SUFICIENTE PARA HACER UN LIBRO.

EL PRIMER VOLUMEN IMPRESO SOBRE LA METALURGIA FUE UN LIBRO DE NOMBRE PIROTECNIA, EL CUAL FUE ESCRITO POR UN SIENÉS LLAMADO VANNOCCIO BIRINGUCCIO Y PUBLICADO EN 1540. BIRINGUCCIO, ANTIGUO OBRERO EN LA FUNDICIÓN, DESCRIBIÓ TODOS LOS MINERALES Y LOS LUGARES DONDE SE PODÍAN ENCONTRAR. EXPLICÓ CON GRAN DETALLE LAS TÉCNICAS DE FUNDICIÓN, ALEACIÓN Y MOLDEADO.

POR OTRA PARTE, CONSIDERANDO QUE EL HOMBRE YA HABÍA ESTADO EN CONTACTO CON LOS METALES DURANTE UNOS 7000 AÑOS, PUEDE PARECER EXTRAÑO QUE EN TODO AQUEL TIEMPO NO HUBIERAN EXPLOTADO EL HIERRO. PERO ESTO ES FÁCIL DE EXPLICAR. LOS CONOCIMIENTOS TÉCNICOS QUE DURANTE AÑOS SE HABÍAN APLICADO AL COBRE Y AL BRONCE NO SERVÍAN PARA EL HIERRO. EL COBRE POR EJEMPLO, PODÍA SER FÁCILMENTE FUNDIDO Y LICUADO INCLUSO EN UN HORNO PRIMARIO; EL HIERRO, POR EL CONTRARIO, NECESITABA UNA TEMPERATURA DE FUSIÓN DE 2000 GRADOS CENTÍGRADOS. EL COBRE PODÍA SER MARTILLADO EN FRIÓ PARA DARLE FORMA; EL HIERRO TENÍA QUE ESTAR AL ROJO VIVO PARA QUE FUERA MALEABLE. EL COBRE, UNA VEZ FUNDIDO, DEJABA FLOTAR SOBRE LA SUPERFICIE LAS IMPUREZAS DEL MINERAL EN FORMA DE ESCORIA EXTRAÍBLE; PERO LAS IMPUREZAS DEL HIERRO TENÍAN QUE SACARSE POR MARTILLADO MIENTRAS EL METAL ESTABA TODAVÍA INCANDESCENTE.

POR LO TANTO, LA EXPLOTACIÓN DEL HIERRO ESTABA BASTANTE CONDICIONADA POR LO QUE SE PODRÍA LLAMAR UNA REVOLUCIÓN TECNOLÓGICA. EN UN SENTIDO PURAMENTE PRÁCTICO, DEPENDÍA TAMBIÉN DE LA INVENCION DE NUEVOS ÚTILES.

FINALMENTE, ANTE LA PREGUNTA DE POR QUÉ ESTE METAL APARECIÓ EN ESCENA TAN TARDE, HAY QUE PRECISAR QUE, A DIFERENCIA DEL COBRE, EL HIERRO NATIVO ES MUY ESCASO. SE ENCUENTRA PRINCIPALMENTE EN METEORITOS Y LOS METEORITOS QUE ALCANZAN LA SUPERFICIE TERRESTRE SON POCOS Y MUY ALEJADOS ENTRE SÍ Y ADEMÁS, NO TODOS CONTIENEN HIERRO DE UNA FORMA FÁCILMENTE UTILIZABLE. ALGUNOS DE ENTRE ELLOS, LOS AEROLITOS, SOLO CONTIENEN PIEDRA; OTROS, LOS SIDEROLITOS, CONTIENEN UNA MEZCLA DE PIEDRA Y HIERRO, Y EL HIERRO ESTA INCRUSTADO EN LA PIEDRA COMO LO ESTÁN LAS PASAS EN UN PASTEL SOLO LAS SIDERITAS ESTÁN CASI COMPLETAMENTE FORMADAS DE HIERRO.

LAS SIDERITAS SON DE VARIADOS TAMAÑOS, DESDE LAS BOLITAS QUE PESAN ALGUNOS GRAMOS HASTA ENORMES MASAS QUE PESAN CIENTOS DE TONELADAS. EN 1894, EL EXPLORADOR ROBERT PEARY ENCONTRÓ TRES GRANDES METEORITOS EN LA BAHIA DE MELVILLE, GROENLANDIA, QUE LOS ESQUIMALES UTILIZABAN COMO FUENTE PARA LA OBTENCIÓN DEL HIERRO. UNO DE ESTOS GIGANTESCOS METEORITOS, QUE LOS ESQUIMALES LLAMABAN LA TIENDA, PESABA CERCA DE 36 TONELADAS; LOS OTROS DOS, QUE HABÍAN BAUTIZADO CON LOS NOMBRES DE LA MUJER Y EL PERRO, PESABAN UNAS TRES TONELADAS Y MEDIA TONELADA RESPECTIVAMENTE.

DURANTE GENERACIONES, LOS FABRICANTES DE ÚTILES ESQUIMALES HABÍAN ESTADO EXTRAYENDO PEQUEÑOS TROZOS DE HIERRO DE LOS TRES METEORITOS MARTILLANDO REPETIDAMENTE SUS BORDES CON PERCUTORES DE PIEDRA. MAS AL SUR LOS INDÍGENAS AMERICANOS TRABAJARON APARENTEMENTE LOS METEORITOS DE UN MODO SIMILAR, INTRODUCIENDO CINCELES DE COBRE EN LAS HENDIDURAS PARA PODER DESPRENDER TROZOS DE METAL. EN EL NORTE DE MÉXICO, EN EL FAMOSO METEORITO DESCUBRIDORA, QUE PESA UNOS TRES QUINTOS DE UNA TONELADA, SE DESCUBRIÓ LA HOJA ROTA DE UN CINCEL DE COBRE CLAVADA EN EL, PRUEBA DE UNA EXPEDICIÓN EN BUSCA DE HIERRO QUE ACABÓ DE FORMA PRECIPITADA Y QUIZÁS TRÁGICAMENTE, HACE MUCHO TIEMPO.

CUANDO EL HOMBRE EMPEZÓ A FUNDIR EL HIERRO A PARTIR DE MINERALES EN VEZ DE DESMENUZAR EL METAL DE LOS METEORITOS, TODO CAMBIÓ. LOS MINERALES DE HIERRO SON DE LOS QUE MAS ABUNDAN EN LA TIERRA Y MUCHOS ESTÁN TAN CERCA DE LA SUPERFICIE QUE SON FÁCILES DE OBTENER. EL HIERRO AL SER TAN ABUNDANTE Y TAN FÁCIL DE EXTRAER, ACABÓ REEMPLAZANDO AL COBRE Y AL BRONCE COMO MATERIAL PARA LA FABRICACIÓN DE ÚTILES. PERO ESTO NO SUCEDIÓ DE REPENTE. PRIMERO HACÍA FALTA DESCUBRIR LA MANERA DE FUNDIR EL HIERRO A PARTIR DE SU MINERAL, Y DESPUÉS APRENDER A CONVERTIR EL HIERRO FUNDIDO EN UN INSTRUMENTO FUNCIONAL. NADA DE ESTO DEBIÓ SER SENCILLO, PUESTO QUE LA CONVERSIÓN DEL MINERAL DE HIERRO EN METAL Y DESPUÉS EN UN OBJETO ÚTIL ES MUY COMPLICADA TÉCNICAMENTE.

MUY PROBABLEMENTE EL DESCUBRIMIENTO DE QUE ERA FACTIBLE OBTENER HIERRO A PARTIR DE CIERTOS TIPOS DE MINERAL SOBREVINO POR CASUALIDAD. LOS ÓXIDOS DE HIERRO COMUNES - HEMATITES, LIMONITA Y MAGNETITA - ERAN YA AMPLIAMENTE UTILIZADOS EN TODO EL MUNDO ANTIGUO. LA HEMATITES, POR

EJEMPLO, EN FORMA DE OCRE ROJO, SERVÍA DE PIGMENTO UTILIZADO PARA DAR COLOR A LAS CERÁMICAS Y PARA APLICAR A LOS CUERPOS DE LOS MUERTOS, DEVOLVIÉNDOLES EL COLOR DE LA VIDA. EL ÓXIDO DE HIERRO ERA COMÚNMENTE UTILIZADO EN LA FUNDICIÓN DEL PLOMO Y DEL COBRE.

RECORDEMOS COMO LOS HOMBRES LLEGARON AL MÉTODO DE FUNDIR MINERALES DE HIERRO DE UN MODO DELIBERADO Y SISTEMÁTICO. DE IGUAL FORMA QUE LOS MINERALES DE COBRE ESTOS REQUERÍAN UNA TEMPERATURA ELEVADA Y LA PRESENCIA DE CARBONO PARA EXTRAER EL OXÍGENO COMBINADO CON EL HIERRO EN EL MINERAL. PERO LA FUNDICIÓN DEL HIERRO REQUERÍA UNA MAYOR PRECISIÓN QUE LA DEL COBRE. EL FUEGO TENÍA QUE ESTAR ALIMENTADO POR UNA VENTILACIÓN APROPIADA Y EL MINERAL TENÍA QUE ESTAR COMPLETAMENTE RODEADO DE CARBÓN DE LEÑA. SI SE LE SOMETÍA A UNA CANTIDAD DE CARBONO DEMASIADO GRANDE, EL HIERRO SE HACÍA DURO Y QUEBRADIZO; EXPONIÉNDOLO AL AIRE SE PODÍA REOXIDAR. INCLUSO CUANDO EL PROCESO IBA BIEN, EL HIERRO ERA POROSO Y TENÍA QUE SER MARTILLADO PARA UNIR LAS PARTÍCULAS DE METAL Y OBTENER UN TROZO DE HIERRO UTILIZABLE.

EN UN HORNO PRIMITIVO, LA OBTENCIÓN DE UNA TEMPERATURA ELEVADA Y DE UN VOLUMEN DE MONÓXIDO DE CARBONO APROPIADO SOLO PODÍA CONSEGUIRSE USANDO GRANDES CANTIDADES DE COMBUSTIBLE.

LOS PRIMEROS HORNOS PARA FUNDIR EL HIERRO, INEFICACES EN CUANTO A DISEÑO, PROBABLEMENTE REQUERÍAN 4 KG. DE CARBÓN DE LEÑA PARA OBTENER 1 KG. DE HIERRO FUNDIDO.

LO MISMO QUE SUCEDE CON EL COBRE, ES DIFÍCIL PRECISAR DONDE FUE FUNDIDO EL HIERRO POR PRIMERA VEZ. EL PRIMER MODELO DE HORNO PARA FUNDIR EL HIERRO DATA APROXIMADAMENTE DEL AÑO 500 ANTES DE NUESTRA ERA, NO PROCEDE DEL PRÓXIMO ORIENTE, SINO DE EUROPA, DE UN LUGAR DE LOS ALPES AUSTRÍACOS LLAMADO HUTTENBERG. LOS HORNOS DE HUTTENBERG SON SIMPLEMENTE UNA SERIE DE CUENCOS DE ARCILLA ALINEADOS, COLOCADOS SOBRE UN SUELO PAVIMENTADO CON PIEDRA. LOS RESTOS DE CARBÓN DE LEÑA Y DE ESCORIA DENTRO DE ELLOS Y A SU ALREDEDOR HACEN ENTREVER COMO PUDIERON SER UTILIZADOS. ESTÁN COLOCADOS POR PARES; QUIZÁ UNO DE ELLOS FUE EMPLEADO PARA PRECALENTAR EL MATERIAL CON LA FINALIDAD DE EXTRAER ALGUNAS DE SUS IMPUREZAS ANTES DE QUE FUERA FUNDIDO, O QUIZÁ UN HORNO

ERA UTILIZADO PARA FUNDIR EL MINERAL Y EL SEGUNDO PARA RECALENTAR EL MINERAL FUNDIDO CON EL PROPÓSITO DE HABLANDARLO PARA EL POSTERIOR MARTILLO.

EL PRODUCTO FINAL ERA UN BLOQUE ESPONJOSO, CALCINADO Y NEGRUZO. TÉCNICAMENTE ESTOS HORNOS CORRESPONDEN A LOS PRIMEROS MODELOS CONOCIDOS CON EL NOMBRE DE HORNOS DE ZAMARRAS, UNO DE LOS DOS TIPOS CLÁSICOS UTILIZADOS PARA LA OBTENCIÓN DEL HIERRO A PARTIR DEL MINERAL. DE HECHO ES EL ÚNICO MODELO DE QUE HABRÍAN PODIDO DISPONER LOS ANTIGUOS FUNDIDORES, TANTO DEL PRÓXIMO ORIENTE COMO DE EUROPA. EL SEGUNDO TIPO, EL ALTO HORNO, NO APARECIÓ EN EUROPA HASTA EL SIGLO XIV. UN ALTO HORNO DERRITE EL MINERAL, DESPRENDE ALGUNAS IMPUREZAS, COMO LA ESCORIA, Y PRODUCE HIERRO IMPURO, FUNDIDO, QUE DEBE SOMETERSE A UN TRATAMIENTO POSTERIOR PARA QUE SEA UTILIZABLE. EL PRODUCTO DEL HORNO DE ZAMARRAS, LA MASA ESPONJOSA MENCIONADA, TIENE QUE CONSERVARSE CALIENTE Y HAY QUE GOLPEARLA REPETIDAMENTE PARA EXTRAER LAS IMPUREZAS; PERO AL FINAL, DESPUÉS DE UN LARGO RATO DE VIGOROSO MARTILLO EL FUNDIDOR OBTIENE UNA BARRA DE HIERRO FORJADO RESISTENTE Y MALEABLE.

GRAN BRETAÑA, EN EL CONTINENTE EUROPEO Y EN EL PRÓXIMO ORIENTE, DONDE COMENZÓ LA REVOLUCIÓN DE LOS METALES, EL FORJADOR HABÍA ADQUIRIDO TAL DOMINIO SOBRE ELLOS QUE, DURANTE SIGLOS, NO HABÍA CASI NADA QUE ÉL PUDIERA APRENDER. HABRÍA QUE ESPERAR A QUE LA QUÍMICA DEVELARA LOS MISTERIOS DE LA COMPOSICIÓN Y DE LA ESTRUCTURA INTERNA DE LOS METALES UNOS 1800 AÑOS MAS TARDE PARA QUE EL HOMBRE DESCUBRIERA NUEVAS PROPIEDADES EN LOS MATERIALES QUE CONOCÍA TAN BIEN.

SIN TEMOR A EQUIVOCARNOS PODEMOS AFIRMAR QUE VIVIMOS EN LA EDAD DEL HIERRO, AUNQUE QUIZÁ LOS HISTORIADORES DE LOS PRÓXIMOS MILENIOS NOS SITÚEN EN EL PRINCIPIO DE LA EDAD DEL ÁTOMO O DE LA ELECTRICIDAD. EL HIERRO CONSTITUYE LA BASE DE LA INDUSTRIA EN TODOS SUS ASPECTOS, PUES INCLUSO AQUELLAS QUE SE DEDICAN A FABRICAR PRODUCTOS QUE PUEDEN FABRICAR CON EL, NECESITAN PARA CONSEGUIRLO, MÁQUINAS DE HIERRO Y ACERO.

DURANTE MUCHOS SIGLOS EL HIERRO SE OBTUVO EN UNA FORMA BASTANTE PRIMITIVA. EL PERFECCIONAMIENTO DE LA INDUSTRIA SIDERÚRGICA SE DEBE A UN ALEMÁN LLAMADO BESSEMER QUE, A MEDIADOS DEL SIGLO PASADO, CONSTRUYÓ

EL PRIMER CONVERTIDOR QUE LLEVA SU NOMBRE. LA CASA KRUPP ADOPTÓ EL SISTEMA EN CUANTO TUVO CONOCIMIENTO DEL MISMO. LOS INCONVENIENTES DEL SISTEMA BESSEMER FUERON SOLUCIONADOS POR MARTIN UNOS, Y OTROS POR THOMAS CON LOS HORNOS QUE LLEVAN SUS NOMBRES. DESPUÉS, AL PASO DEL TIEMPO SE UTILIZÓ EL HORNO ELÉCTRICO, EL CUAL ES UN SISTEMA MAS MODERNO.

DESDE EL PUNTO DE VISTA ECONÓMICO, LOS YACIMIENTOS DE HIERRO RESULTAN MAS RENTABLES CUANDO SE ENCUENTRAN JUNTO A MINAS DE CARBÓN Y EN LUGARES DONDE SE DISPONE DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN GRAN ESCALA. EL HIERRO SUELE ABUNDAR EN TAL FORMA QUE ES RARO EL PAÍS QUE NO POSEA ALGUNA MINA DE CIERTA IMPORTANCIA, SI BIEN LAS NECESIDADES DE LA VIDA MODERNA EXIGEN DE UNA PRODUCCIÓN QUE NO TODAS LAS NACIONES PUEDEN AFRONTAR. EL HIERRO CONSTITUYE APROXIMADAMENTE EL 5 % DE LA CORTEZA TERRESTRE Y SON UNAS 40 LAS ESPECIES MINERALES QUE LO POSEEN. SIN EMBARGO, ÚNICAMENTE SE EXPLOTAN LOS YACIMIENTOS QUE CONTIENEN EL 35 % DEL METAL.

EL HIERRO NO SE EMPLEA CASI NUNCA PURO, SINO COMBINADO CON OTROS ELEMENTOS COMO EL SILICIO, EL AZUFRE, EL FÓSFORO, EL MANGANESO, PERO ESPECIALMENTE, CON EL CARBONO CUYA PROPORCIÓN CARACTERIZA LOS TRES TIPOS FUNDAMENTALES DE HIERROS QUE EXISTEN: FUNDICIÓN, HIERRO DULCE Y ACERO.

EN EL ANTIGUO PROCEDIMIENTO DE LA FORJA, POR LA ACCIÓN DEL CALOR Y DEL CARBÓN, SE OBTENÍA HIERRO MALEABLE O ACERO SEGÚN EL GRADO DE CARBURACIÓN.

LOS ALTOS CRISOLES DE ARCILLA SE CONVIRTIERON EN LOS MODERNOS ALTOS HORNOS, EL CARBÓN VEGETAL FUE SUSTITUIDO POR EL CARBÓN DE PIEDRA, Y LOS FUELLES QUE INSUFLABAN AIRE SE TRANSFORMARON EN COMPLICADOS SISTEMAS DE INYECCIÓN DE AIRE. LA ANTIGUA FORJA DIÓ PASO A LOS ALTOS HORNOS, QUE SON LAS PIEZAS INDUSTRIALES MAS FORMIDABLES QUE EXISTEN.

LOS ALTOS HORNOS SON CONSTRUCCIONES QUE LLEGAN A ALCANZAR MAS DE 20 METROS DE ALTURA, LA PARTE INFERIOR ES CILÍNDRICA DE UNOS 6 METROS DE ALTO Y OTROS TANTOS DE ANCHO. COMO ES LA PARTE QUE HA DE SOPORTAR MAYORES TEMPERATURAS, SE CONSTRUYE DE TAL MODO QUE PUEDA SUSTITUIRSE

FACILMENTE SIN MODIFICAR LA PARTE SUPERIOR. EL TRONCO DE CONO QUE DE ELLA ARRANCA SE DENOMINA ATALAJE Y VA UNIDO A LA CUBA QUE TAMBIÉN TIENE FORMA DE TRONCO DE CONO, (LOS DOS TRONCOS DE CONO ESTÁN UNIDOS POR SU BASE MAYOR). LA BOCA O CARGADERO ESTA EN EL EXTREMO DE LA CUBA.

LAS PAREDES DEL HORNO SE DISEÑAN DE MATERIAL REFRACTARIO Y PARA QUE LA CONSTRUCCIÓN SOPORTE SU PROPIO PESO SE LA RODEA DE UNA TRAMA METÁLICA.

EL HORNO SE CARGA CON CAPAS SUCESIVAS DE COMBUSTIBLE Y MINERAL. SE USA PETRÓLEO PARA ENCENDER EL CARBÓN Y SE INSUFLA AIRE CALIENTE A PRESIÓN POR MEDIO DE TOBEAS.

UNA VEZ ENCENDIDO CONVIENE QUE EL HORNO NO SE APAGUE, PUES SE CORRERÍA EL PELIGRO DE QUE EN SU INTERIOR SE SOLIDIFICASEN LOS MATERIALES. UNAS 18 HORAS DESPUÉS DE HABER ENCENDIDO EL HORNO, EMPIEZA A SALIR LA PRIMERA COLADA QUE SE DENOMINA ARRABIO. MIENTRAS, POR LA BOCA SE HAN INTRODUCIDO CAPAS SUCESIVAS DE MINERAL Y DE COMBUSTIBLE. EL ARRABIO POSEE UN 5 % DE CARBONO, O MAS. EL PROCESO DE OBTENCIÓN DE HIERRO SE PRODUCE A MEDIDA QUE EL MINERAL DESCENDE DE LA BOCA HASTA EL CRISOL Y A MEDIDA QUE BAJA SU TEMPERATURA.

A LOS 400 GRADOS CENTÍGRADOS EL ÓXIDO FÉRRICO LLEGA A CONVERTIRSE EN ÓXIDO FERROSO. A LOS 750 GRADOS EL MINERAL SE TRANSFORMA EN METAL ESPONJOSO, Y A LOS 1300, ALCANZADA LA PARTE MAS ANCHA DEL HORNO, EL HIERRO MEZCLADO CON LA ESCORIA ENTRA EN EL CRISOL DE DONDE SALE POR CONDUCTOS ESPECIALES LLAMADOS PIQUERAS.

SI EL HIERRO ES RICO EN AZUFRE, ESTE ESCAPA EN FORMA DE GAS, (ANHÍDRIDO SULFUROSO), QUE SE APROVECHA COMO PRODUCTO SECUNDARIO, LO MISMO QUE EL PODER CALORÍFICO DE LOS GASES QUE SE DESPRENDEN, EMPLEADO EN CALENTAR EL AIRE QUE SE HA DE INYECTAR EN EL CRISOL.

EL HIERRO COLADO, O SEGUNDA FUNDICIÓN, ES QUEBRADIZO Y MUY DURO, POR LO QUE SE UTILIZA PARA PIEZAS QUE NO TENGAN QUE RESISTIR GRANDES ESFUERZOS, COMO ESTUFAS, RADIADORES, TUBOS, COCINAS, ETC. SU PROPORCIÓN DE CARBONO ES DEL 2 AL 5 % .

EL HIERRO QUE CONTIENE DE 0.1 A 0.4 % DE CARBONO SE LLAMA HIERRO DULCE. SU ESTRUCTURA ES FIBROSA Y SU PUNTO DE FUSIÓN ELEVADO, ASÍ COMO SU ÍNDICE DE TENACIDAD Y RESISTENCIA. SE PUEDE ESTIRAR EN ALAMBRES (DUCTIBILIDAD) O TAMBIÉN SE PUEDE CONVERTIR EN PLANCHAS (MALEABILIDAD).

ES DIFÍCIL DEFINIR EXACTAMENTE LO QUE ES EL ACERO PORQUE ES UN PRODUCTO INTERMEDIO ENTRE LA FUNDICIÓN Y EL HIERRO DULCE, ENTRE LA FUNDICIÓN NEGRA E IMPURA Y EL HIERRO SUAVE Y PURO. EL ACERO ES HIERRO CARBURADO EN DETERMINADA PROPORCIÓN; DEL 0.008 AL 2.0 % SEGÚN LA DIRECCIÓN GENERAL DE NORMAS DE LA SECRETARÍA DE INDUSTRIA Y COMERCIO. ACTUALMENTE, EN LA INDUSTRIA MODERNA, SE LE AGREGAN DETERMINADOS PRODUCTOS QUE HACEN QUE SE MODIFIQUEN SUS CUALIDADES.

LAS SUSTANCIAS QUE SE LE ADICIONAN SON:

FÓSFORO, LO HACE FÁCILMENTE SOLDABLE Y FORJABLE.

SILÍCIO, LE DA MAYOR DUREZA PERO TAMBIÉN MAS FRAGILIDAD.

COBRE, MAS DURO Y MENOS FRÁGIL.

CROMO, TUGSTENO, VANADIO, TITANIO, MANGANESO, NÍQUEL,

ETC., MAYOR DUREZA.

EL ACERO ES EL METAL MAS DURO, PUES LOS RAYA A TODOS, ES MAGNÉTICO Y SU PROPIEDAD MAS CARACTERÍSTICA ES LA DE ADMITIR EL TEMPLE QUE LO VUELVE CORTANTE COMO EL VIDRIO, FLEXIBLE Y DURO AL MISMO TIEMPO

LOS ACEROS SE CLASIFICAN EN ACEROS AL CARBONO Y ACEROS ALEADOS. LOS PRIMEROS SE DIVIDEN, DE ACUERDO CON SU CONTENIDO DE CARBONO, EN:

SUAVES O DULCES.....	0.2 %
SEMIDUROS, HASTA.....	0.5 %
DUROS, HASTA.....	0.8 %
EXTRADUROS, MAYOR DE.....	0.8 %

LOS SEGUNDOS RECIBEN EL NOMBRE DEL ELEMENTO DE ALEACIÓN MAS IMPORTANTE: AL NÍQUEL, AL CROMO, AL MOLIBDENO, AL TUGSTENO, AL VANADIO. PUEDEN SER, DEPENDIENDO DE SU USO O PROPIEDADES: INOXIDABLES, REFRACTARIOS, DE ALTA VELOCIDAD, DE CORTE FÁCIL, PARA LÁMINAS ELÉCTRICAS,

PARA IMANES, PARA HERRAMIENTAS. LAS CARACTERÍSTICAS QUE ADQUIERE EL ACERO MEDIANTE LAS ALEACIONES O POR LOS PROCESOS TÉRMICOS O MECÁNICOS, PERMITEN ENCONTRAR UNA CLASE ESPECIAL PARA CASI CUALQUIER APLICACIÓN INDUSTRIAL. ESTO EXPLICA LA IMPORTANCIA TAN GRANDE QUE TIENEN PARA LA INDUSTRIA.

1.2 CRONOLOGÍA HISTÓRICA DEL ACERO EN MÉXICO

EN ESTE SIGLO EL ACERO SE HA CONVERTIDO EN UN FACTOR DE VITAL IMPORTANCIA EN LA ECONOMÍA DEL PAÍS POR SUS DIVERSOS USOS QUE VAN, DESDE LA FABRICACIÓN DE UN CLAVO, HASTA LA CONSTRUCCIÓN DE LAS MAS SOFISTICADAS NAVES ESPACIALES. CASI EN SU TOTALIDAD, LOS OBJETOS QUE OBSERVAMOS COTIDIANAMENTE ESTÁN CONSTITUIDOS POR ACERO, YA SEA EN SU FORMA PRIMARIA O COMO COMPONENTE.

AUNQUE MÉXICO NO TIENE GRANDES RESERVAS DE MINERAL DE HIERRO Y SU CARBÓN COQUIZABLE ES DE DIFÍCIL EXPLOTACIÓN, ACTUALMENTE OCUPA EL VIGÉSIMO PRIMER LUGAR COMO PRODUCTOR DE ACERO A NIVEL MUNDIAL, CON EL 1.08 % DEL VOLUMEN GLOBAL Y EL 28.2 % EN RELACIÓN A LATINOAMÉRICA, DEBIDO A QUE SUS INDUSTRIAS SIDERÚRGICAS POSEEN MODERNOS EQUIPOS TÉCNICOS Y HAN SIDO CONSTRUIDAS EN LUGARES CON RECURSOS DE MATERIAS PRIMAS Y ECONÓMICA DISPOSICIÓN DE COMBUSTIBLE, AGUA, ENERGÍA Y VÍAS DE COMUNICACIÓN. ESPERÁNDOSE PARA LA PRESENTE DÉCADA UN NOTABLE CRECIMIENTO EN EL CONSUMO DE ACERO QUE ASCENDERÁ POSIBLEMENTE A LOS 24 MILLONES DE TONELADAS MÉTRICAS ANUALES. A PESAR DE QUE LA SIDERURGIA EN MÉXICO HA TENIDO UN GRAN AVANCE EN LOS ÚLTIMOS VEINTE AÑOS SU HISTORIA SE REMONTA HASTA LOS TIEMPOS DE LA CONQUISTA ESPAÑOLA EN EL NUEVO MUNDO. YA EN EL SIGLO XV SE TRABAJABA CON GRAN CALIDAD EL ORO Y LA PLATA EN MÉXICO, PERO FUE CUANDO LLEGARON LOS CONQUISTADORES, EN TIEMPOS DE LA COLONIA, QUE SE CONOCIÓ EL ACERO. ESPAÑA SE CONVIRTIÓ EN EL PRINCIPAL EXPLOTADOR DE HIERRO Y EL ACERO QUE SE UTILIZÓ EN MÉXICO.

1.2.1 EL ACERO EN LA ÉPOCA MODERNA

EN LA ETAPA DE LA INDEPENDENCIA MEXICANA SE COMENZARON A CONSTRUIR EN EL PAÍS LAS FERRERÍAS Y PEQUEÑOS CUBILETES DE HIERRO EN LOS ESTADOS DE HIDALGO, DURANGO Y JALISCO. EN 1803 SE CONSTRUYÓ EN COALCOMÁN, MICHOACÁN, LA PRIMERA FUNDICIÓN FORMAL DE HIERRO Y ACERO DE AMÉRICA LATINA. PERO ES HASTA PRINCIPIOS DE ESTE SIGLO CUANDO LA SIDERURGIA SIENTA SUS BASES FUNDAMENTALES QUE DARÁN NACIMIENTO A LAS MODERNAS INDUSTRIAS PRODUCTORAS DE ACERO. EN 1900 FUE CREADA EN MONTERREY, NUEVO LEÓN, LA COMPAÑÍA FUNDIDORA DE FIERRO Y ACERO DE MONTERREY, S.A., CONOCIDA COMO FUNDIDORA MONTERREY Y PARA 1903 COMENZÓ A OPERAR EN SUS INSTALACIONES EL PRIMER ALTO HORNO DE LATINOAMÉRICA CON CAPACIDAD PARA PRODUCIR 300 TONELADAS DE ARRABIO, (FIERRO DE PRIMERA FUNDICIÓN), POR DÍA. PARA 1922 NACE EN PIEDRAS NEGRAS, COAHUILA, LA QUE VENDRÍA A SER LA SEGUNDA EMPRESA SIDERÚRGICA CONOCIDA CON EL NOMBRE DE LA CONSOLIDADA, S.A. QUE OPERO CON DOS HORNOS ELÉCTRICOS Y UN ALTO HORNO DE REDUCIDO TAMAÑO.

FUE OCASIONADO POR LA SEGUNDA GUERRA MUNDIAL QUE LOS PAISES MAS IMPORTANTES EN LA FABRICACIÓN DE ACERO COMENZARON A PRODUCIR CASI EN SU TOTALIDAD, ARMAMENTO BÉLICO Y DEJARON DE ABASTECER HIERRO Y ACERO A LOS PAÍSES IMPORTADORES, ENTRE LOS CUALES SE ENCONTRABA MÉXICO.

A PARTIR DE ESTE HECHO LA SIDERÚRGICA NACIONAL EXPERIMENTÓ UN SIGNIFICATIVO INCREMENTO DE PRODUCCIÓN PARA SATISFACER LA DEMANDA DE ACERO EXISTENTE EN EL PAÍS. EL GOBIERNO MEXICANO, IMPULSADO POR LA EXAGERADA DEPENDENCIA EXTRANJERA DE ACERO Y POR EL ALTO ÍNDICE DE FUGAS DE DIVISAS QUE ORIGINABAN LAS IMPORTACIONES DE DICHO MATERIAL, CREA LA LEGISLACIÓN FISCAL PROMOTORA DE LAS INDUSTRIAS NUEVAS Y NECESARIAS. OCURRE ESTE IMPORTANTE PASO EN 1943 Y A INSTANCIA DE LO ANTERIOR NACE EN MONTERREY, HOJALATA Y LÁMINA, S.A., FUNDIDORA MONTERREY SE EXPANDE E INSTALA SU SEGUNDO ALTO HORNO. EL MISMO AÑO, EN MONCLOVA, COAHUILA, SE CREA ALTOS HORNOS DE MÉXICO, S.A. CON TRES UNIDADES DE ESTE TIPO DE HORNOS CON CAPACIDAD CONJUNTA DE 2,670 TONELADAS DIARIAS. LA INDUSTRIA SIDERÚRGICA CRECIÓ NOTABLEMENTE EN EL PAÍS, PRINCIPALMENTE EN TIERRAS DEL NORTE POR LOS NUMEROSOS YACIMIENTOS DE MINERAL DE HIERRO Y CARBÓN

COTIZABLE QUE SE ENCUENTRAN EN AQUELLAS REGIONES. PARA 1960 LAS INSTALACIONES DE PLANTAS SIDERÚRGICAS SEMIINTEGRADAS, (LAS QUE NO PRODUCEN LAS MATERIAS PRIMAS QUE UTILIZAN), Y LAS TRES SIDERÚRGICAS MAS FUERTES ANTES MENCIONADAS, CON SUS YACIMIENTOS DE MINERAL Y CARBÓN PROPIOS, DAN COMO RESULTADO UN GRAN INCREMENTO EN EL DESARROLLO INDUSTRIAL DEL: SECTOR ELÉCTRICO, AUTOMOTRIZ, DE MAQUINARIA, DE CONSTRUCCIÓN, DE EQUIPOS INDUSTRIALES, ETC. POR LA NECESIDAD URGENTE DE EVITAR FUGA DE DIVISAS POR IMPORTACIONES DE ACERO Y PARA TRATAR DE ABASTECER LA DEMANDA DEL MISMO EN EL INTERIOR DEL PAÍS, QUE REQUERÍAN SOBRE TODO LAS EMPRESAS QUE INTEGRABAN EL SECTOR PETROLERO, PETROQUÍMICO Y ELÉCTRICO, COMO PARA ACELERAR EL CRECIMIENTO DE LAS INDUSTRIAS DE BIENES DE CAPITAL, COMO SON LAS DE MAQUINARIAS, EQUIPOS, HERRAMIENTAS, ETC..

1.2.2 EL ACERO EN LA ACTUALIDAD

EL 13 DE AGOSTO DE 1971, EL GOBIERNO APROBÓ EL PROYECTO DONDE SE CREA LA SIDERÚRGICA LÁZARO CÁRDENAS - LAS TRUCHAS, S.A. - (SICARTSA), LA CUAL INICIÓ SUS OPERACIONES A FINES DE 1976 CON UNA CAPACIDAD INSTALADA PARA PRODUCIR 1.3 MILLONES DE TONELADAS DE ACERO LÍQUIDO AL AÑO.

EN FORMA PARALELA A LA CREACIÓN DE SICARTSA, SE APRUEBA EL PROYECTO DEL CONSORCIO MINERO, BENITO JUÁREZ - PEÑA COLORADA, S.A. DE C.V., EN EL ESTADO DE COLIMA, Y SE PONE EN MARCHA TRES AÑOS MAS TARDE, CONSTITUYÉNDOSE EN EL MAS IMPORTANTE PRODUCTOR DE PÉLETS EN MÉXICO.

CON LA CREACIÓN DE LA PRIMERA ETAPA DE SICARTSA SE ABASTECIÓ EN GRAN MEDIDA LA DEMANDA NACIONAL DE PRODUCTOS DE ACERO NO PLANOS, COMO SON: VARILLAS DE DIFERENTES DIÁMETROS, PERFILES LIGEROS, ALAMBRÓN, ETC. SOBRE TODO PARA CUBRIR LAS URGENTES NECESIDADES DE LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCIÓN, MIENTRAS QUE EL DÉFICIT EN LO QUE SE REFIERE AL RAMO DE LOS ACEROS PLANOS, (PLACAS DE DIMENSIONES DIVERSAS), NECESARIOS PARA EL BUEN DESARROLLO ECONÓMICO DEL SECTOR PETROLERO, PETROQUÍMICO Y DE BIENES DE CAPITAL, ENTRE OTROS, CRECÍA A PASOS AGIGANTADOS, EN UN 9 % ANUAL, SIN QUE LAS SIDERÚRGICAS DEL PAÍS PUDIERAN DAR ABASTO AL MERCADO DOMÉSTICO, DANDO COMO RESULTADO UNA ELEVADA FUGA DE DIVISAS POR IMPORTACIONES DE PLANCHAS Y PLACAS DE ACERO.

EN AGOSTO DE 1979 EL GOBIERNO CONCLUYÓ QUE SICARTSA ERA LA MAS INDICADA PARA CONSTRUIR UNA PLANTA QUE PRODUCIRÍA ACEROS PLANOS, INDISPENSABLES PARA EN UN FUTURO ROMPER LA EXCESIVA DEPENDENCIA EXTRANJERA DE ESTE PRODUCTO.

PARA DICHO AÑO YA EL FALTANTE DE PLANOS EN EL PAÍS ERA DE APROXIMADAMENTE 645 MIL TONELADAS, QUE AL RITMO DE CRECIMIENTO INDICADO, SE ELEVARÍA PARA INICIO DE LA DÉCADA DE LOS 90S A 2 MILLONES 515 MIL TONS., DE LAS CUALES, CON LA SEGUNDA ETAPA EN PLENA PRODUCCIÓN, SICARTSA CUBRIRÍA CASI EL 60 % DE ESTA, PARA LO CUAL SERÁ VITAL QUE LA PRODUCCIÓN DE PLANCHA ASIGNADA A LA EXPANSIÓN DE LA EMPRESA ALCANCE UNA CAPACIDAD EFECTIVA DE 1.5 MILLONES DE TONELADAS AL AÑO.

A CONTINUACIÓN SE INSERTA UNA TABLA DONDE PUEDEN OBSERVARSE LAS CIFRAS DEL CONSUMO NACIONAL DE PRODUCTOS DE ACERO, DESDE LAS MATERIAS PRIMAS HASTA PRODUCTOS TERMINADOS, EN LOS ÚLTIMOS AÑOS.

CONSUMO NACIONAL APARENTE DE PRODUCTOS SIDERÚRGICOS 1987-1991
 PRODUCCIÓN + IMPORTACIÓN - EXPORTACIÓN = CONSUMO
 (TONELADAS MÉTRICAS)

	MATERIALES BÁSICOS				
	1987	1988	1989	1990	1991
ARRABIO	3,718,193	3,703,759	3,270,995	3,711,919	2,985,741
FIERRO ESPONJA	1,552,747	1,886,048	2,289,799	2,526,562	2,494,449
FERROALEACIONES	187,139	153,771	193,373	186,396	173,480
	ACEROS NO PLANOS				
	1987	1988	1989	1990	1991
VAR. CORRUGADA	1,411,257	1,407,803	1,319,349	1,737,773	1,730,308
BARRAS	216,893	305,853	314,576	345,678	369,543
BARRAS HUECAS	1,129	1,449	782	3,524	876
ALAMBRON	818,345	825,438	824,469	967,678	1,044,411
PERFILES COMER.	211,129	263,406	213,762	210,403	220,373
PERFILES ESTRUCT.	250,107	174,887	207,306	268,627	335,332
	ACEROS PLANOS				
	1987	1988	1989	1990	1991
PLANCHA	467,485	536,193	193,830	527,063	646,847
LAMINA EN CALIENTE	605,887	768,063	857,591	1,035,052	1,119,991
LAMINA EN FRIÓ	522,655	595,664	717,601	716,448	930,675
HOJALATA	230,131	268,229	276,391	265,263	268,723
	TUBERÍA				
	1987	1988	1989	1990	1991
TUBO SIN COSTURA	169,513	162,429	137,797	120,910	181,553
TUBOS CON COSTURA	176,094	265,808	131,536	392,771	403,209

CAPÍTULO II
PROCESOS
DE FABRICACIÓN
DEL ACERO

CAPITULO II

PROCESOS DE FABRICACIÓN DEL ACERO

II.- PROCESOS DE FABRICACIÓN DEL ACERO

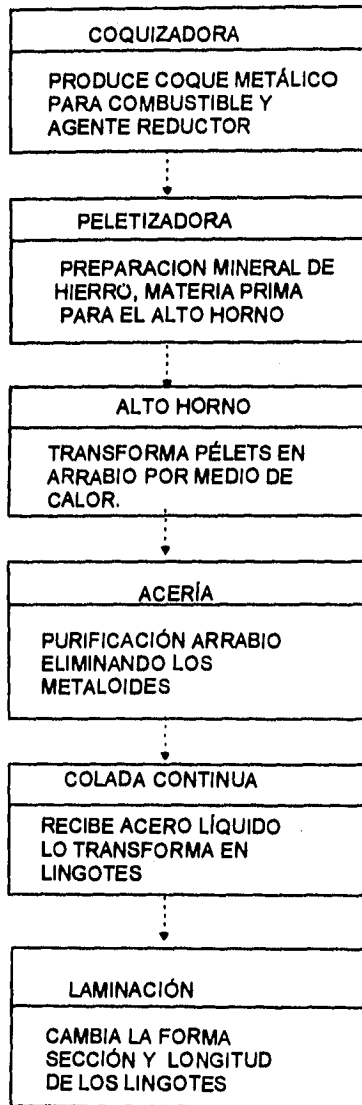
2.1.- RUTA TECNOLÓGICA CONVENCIONAL

SE TIENEN DOS MÉTODOS AMPLIAMENTE CONOCIDOS EN EL MUNDO PARA LA PRODUCCIÓN DE ACERO. EL PRIMERO QUE SE UTILIZÓ FUE EL DENOMINADO RUTA TECNOLÓGICA CONVENCIONAL, EL CUAL CONSTA DE SEIS PLANTAS QUE SE EN LISTAN A CONTINUACIÓN:

COQUIZADORA
PELETIZADORA
ALTO HORNO
ACERÍA
COLADA CONTINUA
LAMINACIÓN

ESTE MÉTODO PARA PRODUCIR ACERO ES EL QUE SE ADOPTÓ EN LA PRIMERA ETAPA DE SICARTSA, COMO PUEDE OBSERVARSE, EN UNA PARTE DEL PROCESO APARECE EL ALTO HORNO, EL CUAL TIENE EL INCONVENIENTE DE SU ELEVADO COSTO, DE LA POCA FLEXIBILIDAD DE SU PRODUCCIÓN, QUE ADEMÁS, EN GENERAL, TIENE QUE SER MUY GRANDE PARA QUE SU MARCHA RESULTE ECONÓMICA. TIENE TAMBIÉN EL INCONVENIENTE DE QUE LOS DEFECTOS QUE SE OBSERVAN EN EL ARRABIO O EN SU FUNCIONAMIENTO EN GENERAL, NO PUEDEN SER CORREGIDOS MAS QUE VARIANDO LAS PROPORCIONES DE LOS ELEMENTOS DE LA CARGA, Y ESTO NO SURTE EFECTO HASTA OCHO O DIEZ HORAS DESPUÉS, POR LO QUE EL MANEJO DE UN ALTO HORNO ES CASI UN ARTE.

VEAMOS EN DIAGRAMA DE BLOQUES LA RUTA TECNOLÓGICA CONVENCIONAL:



PLANTAS PARA PRODUCIR ACERO. RUTA CONVENCIONAL.

2.2.- RUTA DE REDUCCIÓN DIRECTA

PARA LA SEGUNDA ETAPA, LA COMBINACIÓN DE PROCESOS QUE SE SELECCIONARON FUERON EL SISTEMA DE REDUCCIÓN DIRECTA ACERÍA ELÉCTRICA. ESTA VARIACIÓN DE LA RUTA TECNOLÓGICA ESCOGIDA, ENTRE UNA ETAPA Y OTRA, OBEDECIÓ A LAS VENTAJAS QUE ESTA REPRESENTABA SOBRE LA RUTA CONVENCIONAL, FUNDAMENTADAS TALES VENTAJAS EN LAS SIGUIENTES CONSIDERACIONES:

A) A PARTIR DE 1977, CON LOS DESCUBRIMIENTOS DE NUEVOS CAMPOS PETROLÍFEROS QUE AUMENTARON CONSIDERABLEMENTE, LAS RESERVAS DE ESTE ENERGÉTICO, Y CON EL SUBSECUENTE INCREMENTO EN LA PRODUCCIÓN DE CRUDO QUE PARA EL AÑO DE 1981 CONTEMPLABA PLANES DE 2.5 MILLONES DE BARRILES DIARIOS, SIENDO QUE ESTE VOLUMEN DE PETRÓLEO CRUDO SE ESTIMA QUE VENDRÍA ACOMPAÑADO DE UNA GRAN PRODUCCIÓN DE GAS NATURAL CERCANA A LOS 90 MILLONES DE METROS CÚBICOS POR DÍA, DE LOS CUALES LAS 2/3 PARTES ENCONTRARÍAN APROVECHAMIENTO EN EL PAÍS COMO EN LAS VENTAS AL EXTRANJERO, MIENTRAS QUE EL EXCEDENTE APROXIMADAMENTE DE 28 MILLONES DE METROS CÚBICOS DE GAS, UNA PARTE RELATIVAMENTE PEQUEÑA, SERÍA OCUPADO EN EL PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA. COMPARADA ESTA SITUACIÓN CON LAS DIFICULTADES TÉCNICAS Y EL TIEMPO NECESARIO PARA DESARROLLAR LA EXPLOTACIÓN DE LOS MANTOS DE CARBÓN COQUIZABLE LOCALIZADOS EN LA REGIÓN NORTE DEL PAÍS A LA ALTERNATIVA DE IMPORTAR CANTIDADES MASIVAS DE CARBÓN CON LA CONSIGUIENTE FUGA DE DIVISAS, DABAN UN PRIMER PUNTO DE RESPALDO A LA DECISIÓN DE ADOPTAR UN PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA.

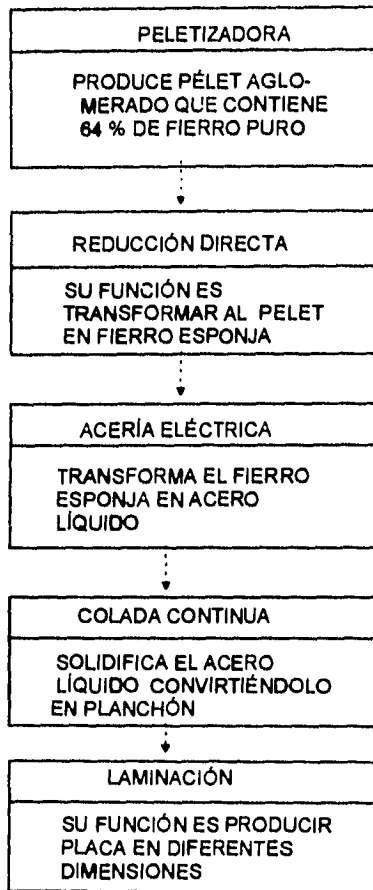
B) UNIDO A LO ANTERIOR, EL SUBSIDIO OTORGADO POR EL GOBIERNO FEDERAL AL GAS INDUSTRIAL COMO A LA ELECTRICIDAD PERMITÍAN QUE LOS COSTOS DE PRODUCCIÓN DEL ACERO OBTENIDO POR MEDIO DE LA REDUCCIÓN DIRECTA HORNO ELÉCTRICO RESULTARA EN 25% INFERIOR A LOS COSTOS CORRESPONDIENTES A LA COMBINACIÓN DE PROCESOS CON EL ALTO HORNO.

C) MÉXICO CUENTA CON TECNOLOGÍA PROPIA PARA UN PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA DESARROLLADO POR LA EMPRESA HOJALATA Y LÁMINA, S.A. MISMO QUE HA SIDO OBJETO DE SUCESIVOS PERFECCIONAMIENTOS LO QUE SE HA TRADUCIDO EN MAYOR PRODUCTIVIDAD Y EFICIENCIA. ES POR ESO QUE SE DECIDIÓ ESCOGER EL PROCESO HYL III QUE ASEGURABA EL APOYO Y LA ASESORÍA DE LOS TÉCNICOS DE ESTA EMPRESA Y SE EVITABA LA DEPENDENCIA EXTRANJERA EN ESTE ASPECTO.

D) LA CALIDAD DEL ACERO QUE SE OBTIENE POR EL PROCEDIMIENTO DE HORNO ELÉCTRICO, ADEMÁS DE LA DIVERSIDAD DE LOS TIPOS DE ACERO, EN BASE A UN CONTROL PRECISO EN CUANTO AL GRADO DE REFINACIÓN.

E) POR ULTIMO DIREMOS QUE COMPARATIVAMENTE, EL HORNO ELÉCTRICO TIENE MAYOR FLEXIBILIDAD OPERACIONAL QUE EL ALTO HORNO. ESTO ES QUE EL PRIMERO PUEDE SER PARALIZADO SIN MAYORES PROBLEMAS EN CUALQUIER FASE DEL PROCESO ANTE UNA SITUACIÓN DE EMERGENCIA, EN CAMBIO, EN EL ALTO HORNO TODA DETENCIÓN DEL PROCESO TRAE RIESGOS DE DERRAME DEL METAL O ESCORIA LÍQUIDOS, Y DE QUE OCURRAN EXPLOSIONES, CON EL CONSIGUIENTE PELIGRO PARA LA SEGURIDAD DEL PERSONAL E INSTALACIONES. POR OTRA PARTE, SI LA DETENCIÓN DEL ALTO HORNO SE PROLONGA POR VARIAS HORAS, AL REANUDAR LAS ACTIVIDADES PRODUCTIVAS SE REQUIERE DE TIEMPO PARA LLEVAR ESTA UNIDAD A RECUPERAR TANTO SU NIVEL DE PRODUCCIÓN COMO EL CONTROL EN LA CALIDAD DEL METAL LÍQUIDO QUE SE VA A OBTENER. A DIFERENCIA, EL HORNO ELÉCTRICO ANTE UNA SITUACIÓN SIMILAR PUEDE SER NORMALIZADO CON RELATIVA FACILIDAD E INDEPENDIENTEMENTE DEL LAPSO QUE ABARQUE SU PARALIZACIÓN.

PARA LA II ETAPA LA COMBINACIÓN DE PROCESOS SELECCIONADOS FUERON EL PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA ACERÍA ELÉCTRICA; LAS PLANTAS QUE INTERVIENEN PUEDEN OBSERVARSE EN EL DIAGRAMA DE BLOQUES SIGUIENTE:



1.3 PLANTAS PARA PRODUCCIÓN DE ACERO. PROCESO REDUCCIÓN DIRECTA.

2.3.- PLANTAS DE LA RUTA DE REDUCCIÓN DIRECTA

2.3.1.- MINA Y PLANTA CONCENTRADORA DEL MINERAL DE HIERRO

PARA LA ELABORACIÓN DEL ACERO, SE DECIDIÓ QUE LA MATERIA PRIMA DEBÍA SER ABASTECIDA DE IGUAL FORMA QUE EN LA I ETAPA, MEDIANTE LA EXPLOTACIÓN DEL YACIMIENTO, DE MINERAL DE HIERRO DE LAS TRUCHAS, SITUADO A 23 KM. DE LA SIDERÚRGICA, EL CUAL CUENTA CON RESERVAS PROBADAS DE 81 MILLONES DE TONS., Y CON POSIBILIDADES DE INCREMENTARSE EN UN 60%, UNOS 50 MILLONES DE TONELADAS MAS. UNA VEZ EXTRAÍDO EL MINERAL DEL YACIMIENTO, DEBE TRITURARSE Y MOLERSE MUY FINAMENTE, MAS AÚN QUE EL TALCO DE TOCADOR, PARA PODER SER CONCENTRADO Y DE ESTA FORMA ELIMINAR PARTE DE LAS IMPUREZAS. ESTE CONCENTRADO FORMA UNA ESPECIE EN SUSPENSIÓN (MATERIAL METÁLICO PROVECHABLE) EL CUAL ES BOMBEADO HASTA LA SIDERÚRGICA, Y CUBRE UNA DISTANCIA MAYOR A LOS 20 KM., POR UNA TUBERÍA DE ACERO DENOMINADA FERRODUCTO.

DESPUÉS DE QUE EL MINERAL HA SIDO EXTRAÍDO, ESTA LISTO PARA INICIAR EL PROCESO DE TRITURACIÓN PRIMARIA QUE CONSISTE EN QUEBRAR EL MINERAL RECIBIDO, DE TAMAÑO MENOR A 1000 mm., DE LA MINA POR UN TRITURADOR GIRATORIO A UN TAMAÑO MENOR A 200 mm.

LA CAPACIDAD DE ESTA PLANTA ES DE 1000 TONELADAS POR HORA, UNA VEZ TRITURADO EL MATERIAL ES TRANSPORTADO POR BANDAS REVERSIBLES FORMANDO DOS PILAS DE 9000 TONELADAS; POSTERIORMENTE SE RECOGE POR MEDIO DE UN TRASCABO Y ES ENVIADO A LA PLANTA DE TRITURACIÓN SECUNDARIA POR MEDIO DE CAMIONES.

ESTA PLANTA RECIBE EL MATERIAL EN CUALQUIERA DE LAS DOS TOLVAS QUE POSEE, CADA UNA CON CAPACIDAD DE 300 TON.; ESTAS CONDUCEN EL MINERAL A SUS RESPECTIVAS TRITURADORAS, CONSTITUYENDO ASÍ DOS LÍNEAS DE FLUJO; PREVIAMENTE A LAS TRITURADORAS SE ENCUENTRAN LAS CRIBAS QUE SON ALIMENTADAS POR MEDIO DE ALIMENTADORES DE PLACAS CON CAPACIDAD DE 1000 TONS. POR HORA; LA CRIBA TIENE UNA MALLA QUE PERMITE EL PASO DE MINERAL DE TAMAÑO MENOR A 60 mm. Y ES CONDUCIDO A UNA BANDA COMÚN; EL MINERAL NO CRIBADO ES ENVIADO A LA TRITURADORA SECUNDARIA PARA REDUCIRSE A UN TAMAÑO MENOR A 60 mm.; DE AQUÍ ES CONDUCIDO A UNA BANDA COMÚN QUE JUNTO

CON EL MINERAL CRIBADO SON PESADOS POR ESTA BANDA PARA CONTROL DEL MATERIAL PROCESADO Y CONDUcido A LOS PATIOS DE HOMOGENEIZACIÓN.

EN LA PLANTA DE TRITURACIÓN TERCIARIA EL MINERAL HOMOGENEIZADO SE RECIBE EN BANDA TRANSPORTADORA DE LA PLANTA DE HOMOGENEIZACIÓN Y SE DEPOSITA EN TOLVAS ALMACENADORAS PREVIAS A LAS CRIBAS. LA ALIMENTACIÓN A ESTAS SE HACE POR MEDIO DE ALIMENTADORES DE PLACAS QUE REGULAN LA CANTIDAD DE MINERAL ALIMENTADO; LAS CRIBAS TIENEN UNA MALLA QUE PERMITE EL PASO AL MINERAL DE TAMAÑO MENOR A 15 mm. Y CAE A UNA BANDA COMÚN; EL MINERAL NO CRIBADO ES ENVIADO A LA TRITURADORA TERCIARIA EN DONDE ES REDUCIDO A UN TAMAÑO MENOR AL ESPECIFICADO; EL MINERAL QUE SALE DE LA TRITURADORA ES CONDUcido POR UNA BANDA COMÚN (CON SISTEMA DE PESAJE) HASTA LAS TOLVAS ALMACENADORAS CON CAPACIDAD DE 1,500 TONS., DE LA PLANTA CONCENTRADORA.

LA PLANTA CONCENTRADORA RECIBE EL MATERIAL Y LO PASA A LOS ALIMENTADORES Y A LA BANDA TRANSPORTADORA, CUYA FUNCIONES ALIMENTAR AL MOLINO DE BARRAS. EL MINERAL PASA AL ALIMENTADOR DEL MOLINO Y SE MEZCLA CON AGUA, DE MODO TAL QUE SE MANTENGAN LOS LODOS EN UNA CONCENTRACIÓN DEL 70 % DE SÓLIDOS, HASTA ESTE PUNTO, EL MINERAL SE ENCUENTRA LISTO PARA SER INTRODUCIDO AL MOLINO. DESPUÉS DE LA MOLIENDA SALDRÁ UNA PULPA CON PARTÍCULAS MENORES A 1 mm., POSTERIORMENTE SE LE AGREGA AGUA HASTA OBTENER UNA PULPA CONTENIENDO UN 35 % DE SÓLIDOS Y SE BOMBEA A LOS SEPARADORES MAGNÉTICOS PRIMARIOS.

LA PULPA ES ALIMENTADA POR DISTRIBUIDORES AGITADORES A LOS SEPARADORES MAGNÉTICOS PRIMARIOS, CADA UNO, CON DOS TAMBORES TRABAJANDO EN PARALELO; DE ESTA SEPARACIÓN RESULTA POR UNA PARTE LOS SEDIMENTOS (TIERRA, PIEDRA Y MINERALES NO MAGNÉTICOS) QUE SE DESCARGAN POR GRAVEDAD A LOS CONOS DE ARENA Y POSTERIORMENTE AL SISTEMA DE TRATAMIENTO DE COLAS, Y LA OTRA PARTE ES EL CONCENTRADO MAGNÉTICO QUE SE DESCARGA POR GRAVEDAD EN FORMA DE PULPA, CONTENIENDO CERCA DE UN 80 % DE SÓLIDOS A LA ENTRADA DEL ALIMENTADOR DEL MOLINO DE BOLAS.

EN EL MOLINO DE BOLAS SE REGULA LA GRANULOMETRÍA DEL CONCENTRADO A 47 MICRAS; DESPUÉS DE REALIZADA LA MOLIENDA SE BOMBEA A LOS HIDROCICLONES, ESTOS TIENEN LA FUNCIÓN DE SEPARAR LAS PARTÍCULAS GRUESAS DE LAS FINAS.

ESTAS ÚLTIMAS SERÁN ARRASTRADAS POR EL FLUIDO QUE SE DERRAMA DE LOS HIDROCICLONES Y SON ENVIADAS CON UN 30 % DE SÓLIDOS A LOS DISTRIBUIDORES.

LAS PARTÍCULAS GRUESAS SE VAN AL FONDO DE LOS HIDROCICLONES Y SON CONDUCIDAS POR GRAVEDAD AL ALIMENTADOR DEL MOLINO DE BOLAS PARA SER REFINADAS.

LA PULPA RECIBIDA ES ENVIADA A LOS SEPARADORES MAGNÉTICOS SECUNDARIOS, CADA UNO DE ELLOS CON DOS TAMBORES TRABAJANDO EN PARALELO, LOS SEDIMENTOS DE LOS SEPARADORES SE DESCARGAN POR GRAVEDAD A LOS CONOS DE COLAS. LOS CONCENTRADOS DE LOS SEPARADORES SE BOMBAN A LAS CRIBAS DE FINOS.

EN LAS CRIBAS DE FINOS SE PROCEDE A CRIBAR LAS PARTÍCULAS HASTA TAMAÑOS DE 104 MICRAS, LAS PARTÍCULAS CON DIMENSIONES MAYORES RETORNAN AL MOLINO DE BOLAS PARA SER PROCESADAS DE NUEVO. LAS PARTÍCULAS MENORES DE 104 MICRAS PASAN AL ESPESADOR DE CONCENTRADO.

EL ESPESADOR DE CONCENTRADO TIENE UN REGULADOR AUTOMÁTICO DE DENSIDAD DE PULPA, CAPAZ DE OBTENER SEDIMENTOS CON 60 % DE SÓLIDOS.

HASTA ESTE PUNTO EL MATERIAL ESTA LISTO PARA SER BOMBEADO AL FERRODUCTO QUE TRANSPORTA EL MINERAL DE HIERRO EN FORMA DE SUSPENSIÓN HASTA LA PLANTA PELETIZADORA.

2.3.2.- PLANTA PELETIZADORA

ESTA PLANTA RECIBE EL LODO POR MEDIO DEL FERRODUCTO Y LE ELIMINA EL AGUA MEDIANTE LA APLICACIÓN DE CALOR EN UN PROCESO EN EL QUE SE ANEXAN PEQUEÑAS CANTIDADES DE FUNDENTES (CALIZA Y CAL HIDRATADA) Y SE CONFORMAN PEQUEÑAS BOLAS O ESFERAS DE 12 A 16 MILÍMETROS DE DIÁMETRO QUE SON DESPUÉS CALENTADOS SOBRE UNA CINTA METÁLICA MÓVIL PARA LOGRAR SU ENDURECIMIENTO DEJÁNDOLAS APTAS PARA LA SIGUIENTE ETAPA DEL PROCESO.

ESTA PLANTA TIENE POR OBJETO FILTRAR EL CONCENTRADO DE MINERAL, MEZCLARLO CON MATERIALES DE RETORNO, AGLOMERAR LA MEZCLA Y ENDURECERLA COMO PÉLET. CON EL FIN DE QUE SEA UTILIZADA COMO CARGA PRINCIPAL DE LOS HORNOS DE ARCO ELÉCTRICO.

LA PULPA DE CONCENTRADO QUE LLEGA A LA PLANTA POR MEDIO DEL FERRODUCTO PASA POR UN DISTRIBUIDOR, EL CUAL LA ENVÍA AL ESPESADOR; ESTA UNIDAD TIENE POR OBJETO ELIMINAR PARTE DEL AGUA CONTENIDA EN LA PULPA HASTA OBTENER UN 70 % DE SÓLIDOS.

POSTERIORMENTE EL CONCENTRADO ES ENVIADO A LOS TANQUES AGITADORES POR MEDIO DE UN DISTRIBUIDOR MÓVIL; MIENTRAS UN TANQUE ESTE HOMOGENEIZANDO LA PULPA, EL OTRO ESTA EN ESPERA.

LA PULPA HOMOGENEIZADA ES ENVIADA A TRES DISCOS FILTRADORES PARA ELIMINAR GRAN PARTE DEL AGUA QUE CONTIENE, RESULTANDO UNA TORTA CON UN 9 % A 10 % DE AGUA.

LA TORTA ES ALIMENTADA A UNA BANDA QUE PASA POR DEBAJO DE LAS TOLVAS DE ADITIVOS Y DE CAL HIDRATADA, LAS CUALES ADICIONAN LOS MATERIALES A LA TORTA; LA MEZCLA SERÁ ENTREGADA A UN MEZCLADOR PARA HOMOGENEIZARLA, UNA VEZ HECHA LA HOMOGENEIZACIÓN SE ENVÍA A LAS TOLVAS ALMACENADORAS Y POSTERIORMENTE SE DOSIFICA A LOS DISCOS PELETIZADORES.

EN EL PRINCIPIO DE LA BOLA DE NIEVE SE BASA EL PROCESO DE PELETIZACION YA QUE LOS DISCOS PELETIZADORES ESTÁN GIRANDO Y AL CAER LA MEZCLA EN ELLOS SE VAN FORMANDO LOS PÉLETS, LOS CUALES, AL ADQUIRIR CIERTO PESO DEJAN EL DISCO DEBIDO A LA FUERZA CENTRÍFUGA. LA CAL HIDRATADA CONTENIDA EN LA MEZCLA HACE LA FUNCIÓN DE AGLUTINANTE FORMANDO UNA PELÍCULA ALREDEDOR DE CADA PARTÍCULA, PRODUCIENDO UN MEDIO DE AGLUTINACIÓN ENTRE UNA Y OTRA.

LOS PÉLETS PRODUCIDOS AQUÍ CAEN A UNA BANDA COLECTORA EN DONDE SON SEPARADOS AQUELLOS QUE ESTÁN FUERA DE LAS ESPECIFICACIONES Y ENVIADOS A LOS PATIOS DE HOMOGENEIZACIÓN; LOS PÉLETS QUE TIENEN DIMENSIONES CORRECTAS SON ENVIADOS A UNA CRIBA DE RODILLOS CUYA FUNCIÓN ES

CLASIFICAR EL PÉLET, SEPARANDO EL DE BAJO TAMAÑO PARA ENVIARSE A LOS MEZCLADORES; AL PÉLET BUENO LE MODIFICA SU APARIENCIA SUPERFICIAL DESDE LA FORMA RUGOSA HASTA LA MAS FINA QUE AYUDA A SOPORTAR LOS MOVIMIENTOS Y CAMBIOS DE TEMPERATURA; DE AQUÍ PASA A UNA BANDA ASCENDENTE QUE ALIMENTA A LA MÁQUINA DE ENDURECIMIENTO.

EL PÉLET QUE ENTRA A LA MÁQUINA DE ENDURECIMIENTO ES SECADO MEDIANTE UN FLUJO ASCENDENTE DE AIRE CALIENTE, DESPUÉS PASA A LA ZONA DE PRECALENTADO EN DONDE SE LE HACE PASAR UN FLUJO DESCENDENTE ANTES DE PASAR A LA ZONA DE CALENTADO DONDE ENTRA A FUNCIONAR UN SISTEMA DE QUEMADORES, EL FLUJO ES EN FORMA DESCENDENTE.

EN LA ZONA DE CALENTADO, LOS PÉLETS ALCANZAN UNA TEMPERATURA DE 1250 GRADOS CENTÍGRADOS PARA DESPUÉS PASAR A LA ZONA DE ENFRIAMIENTO EN DONDE SE HACE BAJAR LA TEMPERATURA POR MEDIO DE AIRE FRÍO, ESTE ÚLTIMO SE CALIENTA Y SE APROVECHA PARTE PARA SECAR LOS PÉLETS Y COMO AIRE DE COMBUSTIÓN EN LOS QUEMADORES.

EL PÉLET SALE DEL HORNO A UNA TEMPERATURA DE 100 GRADOS CENTÍGRADOS APROXIMADAMENTE, ESTOS PASAN A UNA CRIBA ALIMENTADORA Y POSTERIORMENTE A UNA BANDA ASCENDENTE QUE LOS CONDUCEN A LA CRIBA VIBRATORIA. LOS FINOS DE PÉLETS DEL HORNO DE ENDURECIMIENTO CAEN A UNA TOLVA DE FINOS, PASANDO MAS TARDE A LA BANDA ASCENDENTE PARA CONDUCIRLOS A LA CRIBA VIBRATORIA.

EN LA CRIBA VIBRATORIA SON SEPARADOS LOS PÉLETS DE TAMAÑO COMPRENDIDO ENTRE 8 mm. Y 20 mm. QUE SERÁN USADOS EN LOS HORNOS DE ARCO ELÉCTRICO; LOS PÉLETS QUE TIENEN DIMENSIONES MENORES SON RETORNADOS PARA SER USADOS COMO CAMA DE PROTECCIÓN Y LOS FINOS SON ENVIADOS A LA SECCIÓN DE MOLIENDA PARA SER ADICIONADOS A LA MEZCLA DE ADITIVOS.

EL CALOR QUE SE REQUIERE EN EL PROCESO ES SUMINISTRADO POR LA COMBUSTIÓN DE GAS DE COQUE Y GAS DE ALTO HORNO, PRODUCIÉNDOSE POR LO TANTO GASES DE COMBUSTIÓN QUE SON EXPULSADOS A LA ATMÓSFERA.

2.3.3.- PLANTA DE REDUCCIÓN DIRECTA

EL PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA CONSISTE EN ELIMINAR LA MAYOR PARTE DEL OXÍGENO HASTA UN 90%, CONTENIDO EN EL PÉLET OXIDADO. TODO PROCESO DE ELIMINACIÓN DE OXÍGENO RECIBE EL NOMBRE GENÉRICO DE "REDUCCIÓN" Y DEBE REALIZARSE EMPLEANDO UN AGENTE QUÍMICO QUE SE LE DESIGNA COMO "REDUCTOR". EN ESTE CASO, EL REDUCTOR EMPLEADO EN LOS MÓDULOS CORRESPONDIENTES ES EL GAS NATURAL O METANO, ESTE CAPTA EL OXÍGENO DE LOS PÉLETS SIN MODIFICAR SU FORMA Y TAMAÑO EXTERNO, SI NO QUE DEJA HUECOS O POROS EN LA MASA INTERNA PERDIENDO EL EQUIVALENTE EN PESO AL OXÍGENO REMOVIDO.

ESTA PLANTA TRABAJA CON EL PROCESO MEXICANO DE PRODUCCIÓN DE ACERO H Y L III DE REDUCCIÓN DE PÉLETS Y/O MINERAL, EL CUAL PUEDE SER CHATARRA.

LA PLANTA ESTÁ COMPUESTA POR DOS MÓDULOS CON DOS REACTORES CADA UNO, SU CAPACIDAD DE DISEÑO ES DE 2 000 000 DE TONELADAS MÉTRICAS POR AÑO. LA CARGA DE PÉLET ES PROCESADA CON GAS REFORMADO EN EL INTERIOR DE LOS REACTORES, PRODUCIENDO FIERRO ESPONJA CON UNA METALIZACION QUE VA DEL 88 % AL 95 % Y EL CONTENIDO DE CARBONO DE 1.5 A 3.0 POR CIENTO.

EL GAS REDUCTOR SE PREPARA EN UN REFORMADOR CATALÍTICO CON GAS NATURAL Y VAPOR DE AGUA; SE COMPONE DE 75 % DE H₂, 14 % DE CO, 8 % DE CO₂ Y 3 % DE CH₄.

EN EL PROCESO DE REDUCCIÓN DIRECTA SE UTILIZAN CUATRO REACTORES, DE LOS CUALES TRES ESTÁN EN MARCHA Y UNO EN DESCARGA. CADA REACTOR ESTÁ PRECEDIDO DE UN CALENTADOR Y SEGUIDO DE UN ENFRIADOR, EN CONTACTO CON AGUA EN DONDE EL GAS SE ENFRÍA Y SE DESHIDRATA, PARA VOLVER A CALENTARSE EN EL CALENTADOR QUE PRECEDE AL REACTOR SIGUIENTE, Y ASÍ SE REPITE EL CICLO EN LOS TRES REACTORES EN QUE SE DESARROLLA EL PROCESO. LA TEMPERATURA A LA QUE SE DESARROLLA ESTA OPERACIÓN VARIA ENTRE 870 Y 1050 GRADOS CENTÍGRADOS.

LA OPERACIÓN DE LA PLANTA ES COORDINADA POR UN SISTEMA DE CONTROL DE PROCESO TOTALMENTE AUTOMATIZADA. DEBIDO A ESTE SISTEMA, LOS PROCESOS METALÚRGICOS Y QUÍMICOS SON TOTALMENTE MONITOREADOS Y CONTROLADOS,

PRODUCIENDO LA MAS ALTA CALIDAD DE FIERRO ESPONJA REQUERIDO POR EL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO.

2.3.4.- PLANTA DE ACERÍA ELÉCTRICA

LA PLANTA DE ACERÍA, PILAR EN EL PROCESO DE REDUCCIÓN DE LA II ETAPA, PODRÍAMOS COMPARARLA SIN TEMOR A EQUIVOCARNOS CON EL CUERPO HUMANO, TOMANDO COMO CORAZÓN LOS CUATRO HORNOS ELÉCTRICOS, LOS INSUMOS COMO SANGRE Y EL CONTROL DE LAS COMPUTADORAS COMO CEREBRO. ACERÍA CUENTA CON CUATRO HORNOS DE ARCO Y DOS DE OLLA. ESTOS HORNOS FUNDEN LA CARGA QUE ES FUNDAMENTALMENTE DE PÉLETS, ENTREGANDO ACERO LÍQUIDO.

ESTOS HORNOS DE ARCO ELÉCTRICO CUENTAN CON INTERIORES REVESTIDOS DE MATERIAL REFRACTARIO, ESTÁN DISEÑADOS DE TAL FORMA QUE LA ALIMENTACIÓN DEL FIERRO ESPONJA PUEDE SER EFECTUADA DE MANERA CONTINUA SIN QUE HAYA NECESIDAD DE ABRIR LA PARTE SUPERIOR DURANTE EL PROCESO DE ACERACIÓN. ESTO HACE, EN PARTE, QUE SE MANTENGA UN BAJO NIVEL DE NITRÓGENO EN LA FUNDICIÓN, ASÍ COMO A TENER UN MEJOR CONTROL DEL PROCESO.

CUANDO POR NECESIDADES DE USO SE REQUIERE UN ACERO CON CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS, EL ACERO LÍQUIDO, QUE HAN PROCESADO LOS HORNOS DE ARCO ELÉCTRICO, PUEDE SER SOMETIDO A UN TRATAMIENTO ADICIONAL QUE SE LLEVA A CABO EN DOS HORNOS DE ARCO ELÉCTRICO ESPECIALES, DENOMINADOS HORNOS DE OLLA. ESTOS HORNOS, CUYO FUNCIONAMIENTO ES SIMILAR AL DE LOS HORNOS DE ARCO YA MENCIONADOS, CUENTAN CON UN EQUIPO ESPECÍFICO QUE LOS HABILITA PARA REPROCESAR EL ACERO FUNDIDO, ADICIONANDO ALGUNOS ELEMENTOS EN SU COMPOSICIÓN QUÍMICA COMO CALCIO Y ARGÓN. ESTO SE REALIZA POR MEDIO DE UNA DESGASADORA AL VACÍO Y UN INYECTOR.

LAS ADICIONES HECHAS AL HORNO DE OLLA SON REALIZADAS VÍA CONVOCES QUE FACILITAN EL PESAJE OPERADO ELECTRÓNICAMENTE. ESTE SISTEMA DE CONTROL DE ADICIONES HACEN POSIBLE MANTENER UN ALTO NIVEL DE CONSISTENCIA DE TEMPERATURA PRODUCIENDO EL ACERO DE CARACTERÍSTICAS DESEADAS.

EL DESGASADOR AL VACÍO HA SIDO DISEÑADO PARA ADICIONAR ALEACIONES DE FIERRO; MEDICION DE TEMPERATURA Y OBTENCIÓN DE MUESTRAS SIN ROMPER EL VACÍO.

EL CONTROL DE PROCESOS EN TIEMPO REAL ES REALIZADO POR UN SISTEMA DE CONTROL COMPUTARIZADO. EL MONITOREO Y OPERACIÓN DEL CONTROL SE LLEVAN A CABO POR MEDIO DE UN SISTEMA DE CONTROL DISTRIBUIDO QUE OPERA A BASE DE MICROPROCESADORES. ESTE SISTEMA MANEJA LOS PARÁMETROS DE LOS ELEMENTOS ADICIONADOS EN LA FUNDICIÓN DENTRO DEL HORNO. REFINANDO, CALCULANDO Y CONTROLANDO LAS ADICIONES DE FIERRO.

2.3.5.- PLANTA DE COLADA CONTINUA

UNA VEZ QUE EL ACERO LÍQUIDO PROVIENE DE LA PLANTA DE ACERÍA ELÉCTRICA, LLEGA EN OLLAS A COLADA CONTINUA, ESTA SERÁ ENCARGADA DE RECIBIRLO CON LA FINALIDAD DE SOLIDIFICARLO Y CONVERTIRLO EN PLANCHONES PARA PRODUCIR ACERO PROCESADO.

LA PLANTA DE COLADA CONTINUA ESTÁ EQUIPADA CON UN SISTEMA DE CÓMPUTO, EL CUAL, UTILIZANDO LA INFORMACIÓN PLANEADA, CONJUNTAMENTE CON DATOS DINÁMICOS SOBRE EL TIEMPO REAL, CONTROLA LAS ACCIONES QUE SE REQUIEREN.

SE CUENTA CON MODELOS MATEMÁTICOS PARA LA OPTIMIZACIÓN DEL ENFRIAMIENTO SECUNDARIO. SE DISPONE DE UNA RED DE CÓMPUTO QUE ESTABLECE LA COMUNICACIÓN COMPUTARIZADA ENTRE LAS ACCIONES PROPIAS DEL PROCESO Y EL LABORATORIO DE CONTROL DE CALIDAD.

EL SISTEMA DE CÓMPUTO TIENE LA CAPACIDAD DE REGULAR LA VELOCIDAD DE LA COLADA Y LAS PRESIONES DE LOS RODILLOS DE LAMINACIÓN.

DESDE EL INICIO DE LAS ACCIONES DEL PROCESO SE MANTIENE UN ESTRICTO CONTROL DE LOS MATERIALES QUE INTERVIENEN Y SE CUENTA CON UN RIGUROSO CONTROL DE CALIDAD DEL PRODUCTO.

ESTA PLANTA, COMO EN LAS ANTERIORES, TIENE SU PROPIO LABORATORIO ESPECIALIZADO, EL CUAL, ADEMÁS DE DESEMPEÑAR COMPLETAMENTE SUS

FUNCIONES DE CONTROL DE CALIDAD, PERMITEN LA INVESTIGACIÓN TECNOLÓGICA EN LÍNEA, (EN EL LUGAR), DURANTE LA OPERACIÓN NORMAL.

EL TRABAJO REALIZADO EN LOS LABORATORIOS, CONJUNTAMENTE CON VERIFICACIONES EXHAUSTIVAS Y EL ESTRICTO CONTROL DEL PROCESO, SON LAS BASES QUE ASEGURAN QUE LA CALIDAD PLANEADA DEL PRODUCTO ES LA MAS ALTA.

LOS CRITERIOS DE DISEÑO USADOS HACEN QUE LA PLANTA SEA CAPAZ DE PRODUCIR UNA GRAN VARIEDAD DE ACEROS:

ACEROS AL CARBÓN
ACEROS AL CARBÓN ULTRA BAJOS
ACEROS MICRO-ALEADOS
ACEROS CON ALEACIÓN BAJA Y MEDIA

LOS PLANCHONES DE COLADA CONTINUA SE PRODUCEN CON CONTENIDOS DE CARBÓN EQUIVALENTES A SAE 1006, HASTA SAE 1065, TRATADOS CON CALCIO; CON ADICIONES DE BORO PARA APLICACIONES ESPECIALES, EN GRADOS ULTRABAJOS DE CARBÓN; ADICIONADOS CON CROMO MOLIBDENO Y VANADIO, INDIVIDUALMENTE Y COMBINADO.

SIN EMBARGO, LA PLANTA DE COLADA CONTINUA ES CAPAZ DE COLAR ACEROS COMO: AISI 1010, A-36 API X42, HASTA API X75. MICROALEACIONES Y ACEROS DE BAJA ALEACIÓN.

LAS PLACAS PRODUCIDAS POR ESTA PLANTA HAN APOYADO FUERTEMENTE A LA INDUSTRIA AUTOMOTRIZ, DE LA CONSTRUCCIÓN Y LA PETROLERA, ENTRE OTRAS, PARA SER USADA EN ESTRUCTURAS, RECIPIENTES A PRESIÓN Y LÍNEAS DE TUBERÍA; TODA LA PRODUCCIÓN SE HACE DE ACUERDO A LAS NORMAS INTERNACIONALES. LOS ELEMENTOS QUÍMICOS QUE SE ADICIONAN SON AJUSTADOS A LAS NECESIDADES DEL CLIENTE.

LOS ESPESORES DISPONIBLES DE LAS PLACAS SON: 250 mm., 200 mm., 170 mm. Y 152.4 mm. CON ANCHOS DESDE 965.2 mm. HASTA 1900 mm.

CON EL FIN DE TENER UN ESTRICTO SEGUIMIENTO DE CADA OPERACIÓN DE LA PLANTA SE DISEÑO UN SISTEMA DINÁMICO DE ADMINISTRACIÓN DE PROCESOS, EL

CUAL FUE DESARROLLADO DE MANERA QUE SE INTEGRARA EL CONTROL DEL EQUIPO, LOS PROGRAMAS DE METALURGIA, LA ADMINISTRACIÓN DE LAS OPERACIONES, LAS EVALUACIONES DE LOS COSTOS, LOS MODELOS MATEMÁTICOS, OPTIMIZACIÓN DE LA ENERGÍA, EL DISEÑO DE NUEVOS PRODUCTOS, PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN, DE LOS EMBARQUES, DEL ALMACENAMIENTO, Y LA COMUNICACIÓN INTERACTIVA EN TODOS LOS NIVELES.

LAS PRINCIPALES FUNCIONES SON: MANEJO DE ORDENES DE COMPRA, CONTABILIDAD DE COSTOS, PROGRAMACIÓN DE LA PRODUCCIÓN, ANÁLISIS DE LOS DATOS DE OPERACIÓN, ASEGURAMIENTO DE LA CALIDAD, INVENTARIOS, ALMACENAMIENTO DE PRODUCTOS, Y PLANEACIÓN DE LOS EMBARQUES.

2.3.6.-PLANTA DE LAMINACIÓN

LOS PLANCHONES QUE LLEGAN DE LA PLANTA DE COLADA CONTINUA SON DEPOSITADOS EN EL INTERIOR DE UN HORNO QUE LES ELEVA LA TEMPERATURA, ES DECIR, LES PROPORCIONA UN RECALENTAMIENTO. AQUÍ SE CALIENTA EL PLANCHÓN HASTA UNA TEMPERATURA APROXIMADA DE 1250 C, CON LO CUAL QUEDA EN CONDICIONES DE SER LAMINADO; PROCESO QUE CONSISTE EN CAMBIAR LAS DIMENSIONES DEL MATERIAL DEFORMÁNDOLO POR COMPRESIÓN ENTRE LOS RODILLOS DEL LAMINADOR HASTA ALCANZAR, CON EXACTITUD MILIMÉTRICA, EL TAMAÑO FINAL DEL PRODUCTO, EN ESTE CASO, LA LÁMINA.

LAS ACCIONES ANTERIORES SON A GROSSO MODO LA EXPLICACIÓN DEL PROCESO QUE ESTA PLANTA DEBERÁ DE TENER EN UN FUTURO PRÓXIMO, YA QUE EN ESTE MOMENTO, SU CONSTRUCCIÓN ESTÁ SUSPENDIDA Y AUNQUE EXTRAOFICIALMENTE SE HA INFORMADO QUE EN LOS PLANES DE LA ACTUAL ADMINISTRACIÓN ESTÁ SU OPERACIÓN A MEDIANO PLAZO AÚN NO SE TIENE FECHA PROBABLE PARA CONTINUAR SU CONSTRUCCIÓN.

POR OTRA PARTE, LA CRISIS ECONÓMICA QUE SUFRIÓ MÉXICO EN LA DÉCADA DE LOS OCHENTAS OBLIGÓ AL GOBIERNO A RECONSIDERAR SU POSICIÓN DE RECTOR DE LA ECONOMÍA DEL PAÍS Y ABRIÓ ESPACIOS A LA INICIATIVA PRIVADA EN DIVERSOS SECTORES, CON ESTO SE PROPICIO LA COMPETENCIA DEL LIBRE MERCADO, PARA TENER UNA ECONOMÍA MAS SANA Y MAS INTEGRADA CON LA ECONOMÍA INTERNACIONAL. LO ANTERIOR INCIDIÓ DIRECTAMENTE EN LA INDUSTRIA SIDERÚRGICA DEL PAÍS, YA QUE GRANDES ACERERAS ESTUVIERON A LA VENTA AL

INICIO DE LA DÉCADA DE LOS NOVENTAS. ASÍ FUE COMO A FINALES DE 1991 SE ESTABLECIÓ LA COMPRA-VENTA DE LO QUE SE CONOCIÓ COMO LA PRIMERA Y LA SEGUNDA ETAPA DE SICARTSA. LA PRIMERA ETAPA FUE ADQUIRIDA POR EL GRUPO INDUSTRIAL VILLACERO DE MONTERREY, NUEVO LEÓN. DE IGUAL FORMA, EL GRUPO INDUSTRIAL ISPAT DE LA INDIA, ADQUIRIÓ LOS DERECHOS DE LO QUE FUE LA II ETAPA DE SICARTSA. EN LA ACTUALIDAD ESTA ACERÍA SE LLAMA IMEXSA.



CAPÍTULO III
DIFERENTES
TIPOS DE ACEROS

III.- DIFERENTES TIPOS DE ACEROS

3.1 - CALIDAD DE LOS ACEROS

DEBIDO A QUE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGÍA HAN EXPERIMENTADO UN GRAN DESARROLLO, ACTUALMENTE ES POSIBLE PRODUCIR UNA GRAN VARIEDAD DE ACEROS, CADA UNO CON UNA SERIE DE CARACTERÍSTICAS ESPECIFICAS QUE LOS DIFERENCIAN Y LOS HACEN ÚTILES EN LOS DIFERENTES CAMPOS DE LA INDUSTRIA.

HABLAR DE LA CALIDAD DE UN ACERO QUIERE DECIR QUE EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN DE ESTE SE HAYAN OBSERVADO LAS NORMAS INTERNACIONALES Y QUE SE HAYA TENIDO UN ESTRICTO CONTROL DE CALIDAD POR PARTE DE LA EMPRESA QUE LO PRODUJO.

LA CALIDAD DE UN ACERO ES DETERMINADA POR LAS CARACTERÍSTICAS QUE PRESENTA PARA SU USO, Y ESTAS CARACTERÍSTICAS SE OBTIENEN EN BASE AL PORCENTAJE DE LOS ELEMENTOS QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN.

PARA DETERMINAR LA CALIDAD DE UN ACERO TIENE QUE HACERSE UN ESTUDIO QUE COMPRENDA LAS SIGUIENTES FASES:

COMPOSICIÓN QUÍMICA

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

DEFORMABILIDAD

SOLDABILIDAD

ENVEJECIMIENTO

LA COMPOSICIÓN QUÍMICA ES UNO DE LOS FACTORES QUE MAS INCIDEN EN LA CALIDAD DE UN ACERO, PERO NO MENOS IMPORTANTES SON SUS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS, QUE SON LAS QUE CUENTAN PARA SU SELECCIÓN; SU DEFORMABILIDAD, QUE IMPORTA PARA SU CONFORMACIÓN, Y SU ENVEJECIMIENTO, QUE IMPORTA PARA SU RESULTADO EN USO.

COMPOSICIÓN QUÍMICA

ES DE VITAL IMPORTANCIA DOSIFICAR EL PORCENTAJE EXACTO DE CARBONO, MANGANESO, FÓSFORO Y AZUFRE; ADEMÁS DE CONTROLAR CON PRECISIÓN EL OXÍGENO, EL NITRÓGENO Y EL HIDRÓGENO QUE ESTARÁN PRESENTES DURANTE EL PROCESO DE FABRICACIÓN.

CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

EL PROCESO DE ELABORACIÓN DEL ACERO TIENE GRAN INFLUENCIA EN LAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS, ESPECÍFICAMENTE EN LO QUE SE REFIERE A SU RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, SU DUREZA Y SU TENACIDAD. LOS PEORES ACEROS EN LO QUE A CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS SE REFIERE SON LOS QUE TIENEN MAS NITRÓGENO, FÓSFORO Y AZUFRE.

DEFORMABILIDAD

OCURRE ALGO SIMILAR PARA LA DEFORMABILIDAD, PUES ESTA RESULTA DISMINUÍDA POR EL ALTO CONTENIDO DE NITRÓGENO Y FÓSFORO.

SOLDABILIDAD

ESTA PROPIEDAD DISMINUYE EN PROPORCIÓN INVERSA CON EL CONTENIDO DE CARBONO, AL DE FÓSFORO Y AL DE NITRÓGENO, DISMINUYENDO CUANDO DISMINUYE LA RELACIÓN MN/C, Y, SOBRE TODO, CUANTO MENOR ES EL GRADO DE DESOXIDACIÓN DEL ACERO.

ENVEJECIMIENTO

EL ENVEJECIMIENTO DE UN ACERO OCURRE CUANDO EXPERIMENTA UN AUMENTO DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, LÍMITE ELÁSTICO Y DUREZA Y DISMINUCIÓN DE LA DUCTILIDAD Y TENACIDAD, QUE SE PRODUCE EN LOS ACEROS DEFORMADOS EN FRIÓ AL CABO DE CIERTO TIEMPO, SE ATRIBUYE A LA PRESENCIA DE NITRÓGENO NO COMBINADO.

LO ANTERIOR NO TIENE UN VALOR ABSOLUTO, PUES LA CALIDAD FINAL DE LOS ACEROS DEPENDE DE MUCHOS FACTORES, Y POR ESO SU SELECCIÓN EN BASE A SUS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS DE UTILIZACIÓN, SIN HACER CASO DEL PROCEDIMIENTO EMPLEADO PARA SU FABRICACIÓN.

3.2 CLASES DE ACEROS. CLASIFICACION

CLASIFICACIÓN EN FUNCIÓN DE LOS ELEMENTOS DE ADICIÓN

SE LE LLAMA FUNDICIÓN A TODA ALEACIÓN HIERRO-CARBONO NO FORJABLE Y CUYO CONTENIDO DE CARBONO ES GENERALMENTE DE 2.5 A 4 % . DE IGUAL FORMA, SE DENOMINA ACERO A TODA ALEACIÓN DE HIERRO-CARBONO FORJABLE CUYO CONTENIDO DE CARBONO OSCILA GENERALMENTE ENTRE EL 0.10 Y EL 1.76 % . LAS DEFINICIONES ANTERIORES NO SON ABSOLUTAS PORQUE EXISTEN ACEROS QUE CONTIENEN HASTA UN 2.5 % DE CARBONO Y TAMBIÉN HAY FUNDICIONES QUE SON FORJABLES.

CLASIFICACIÓN POR EL PORCENTAJE DE CARBONO

SE DENOMINAN ACEROS HIPOEUTECTOIDES A LOS ACEROS CUYO PORCENTAJE DE CARBONO ES INFERIOR AL DEL PUNTO ESPECÍFICO S (EUTECTOIDE); SE DENOMINAN EUTECTOIDES, SI SU PORCENTAJE DE CARBONO ES IGUAL AL PUNTO S, Y SE DENOMINAN HIPEREUTECTOIDES SI SU PORCENTAJE DE CARBONO ES SUPERIOR AL PUNTO S. EL PUNTO S CORRESPONDE PARA LOS ACEROS AL CARBONO A UN PORCENTAJE DE 1.76 % DE CARBONO, PERO PUEDE VARIAR EN LOS ACEROS ALEADOS.

CLASIFICACIÓN DE ACUERDO AL GRADO DE DESOXIDACIÓN.

LOS ACEROS CALMADOS SON LOS QUE SE HAN DESOXIDADO POR COMPLETO Y AL SOLIDIFICARSE NO DESPRENDEN GASES. LOS ACEROS EFERVESCENTES SON LOS QUE SE HAN DESOXIDADO INCOMPLETAMENTE Y AL SOLIDIFICARSE DESPRENDEN ABUNDANTES GASES.

CLASIFICACIÓN ATENDIENDO A SU CONSTITUCIÓN.

LOS ACEROS TAMBIÉN PUEDEN CLASIFICARSE ATENDIENDO A LA CONSTITUCIÓN QUE PRESENTAN DESPUÉS DE ENFRIARSE AL AIRE TRAS UN CALENTAMIENTO A ELEVADA TEMPERATURA. ESTOS ACEROS PUEDEN SER:

ACEROS PERLÍTICOS.- SE CARACTERIZAN POR ESTAR CONSTITUIDOS A LA TEMPERATURA AMBIENTE, DESPUÉS DE UN ENFRIAMIENTO NORMAL DESDE EL ESTADO AUSTENÍTICO, POR PERLITA Y FERRITA, O PERLITA Y CEMENTITA, SEGÚN QUE SU PORCENTAJE DE CARBONO SEA INFERIOR O SUPERIOR AL EUTECTOIDE. SON LOS ACEROS QUE PUDIÉRAMOS DENOMINAR NORMALES. PERTENECEN A ESTE GRUPO LOS ACEROS AL CARBONO Y LOS ACEROS DE BAJA Y MEDIA ALEACIÓN.

ACEROS MARTENSÍTICOS.- ESTOS ACEROS QUEDAN CONSTITUIDOS DESPUÉS DE SU ENFRIAMIENTO AL AIRE LIBRE DESDE SU ESTADO AUSTENÍTICO, EN SU MAYOR PARTE POR MARTENSITA. REALMENTE SE TRATA DE ACEROS PERLÍTICOS CUYA VELOCIDAD DE TEMPLE ES MUY LENTA. TAMBIÉN SE LES DENOMINA ACEROS DE AUTOTEMPLE. A ESTE GRUPO PERTENECEN LOS ACEROS CROMO-NIQUEL Y CROMO-NIQUEL-MOLIBDENO. ACEROS AUSTENÍTICOS.- SON LOS QUE ENFRIADOS DESDE ELEVADA TEMPERATURA, GENERALMENTE SUPERIOR A LOS 900 GRADOS CENTÍGRADOS, QUEDAN CONSTITUIDOS EN SU MAYOR PARTE POR AUSTENITA A LA TEMPERATURA AMBIENTE. SE ENCUENTRAN EN ESTE GRUPO LOS ACEROS CROMO-NIQUEL, INOXIDABLES, ETC.

ACEROS FERRÍTICOS.- SON LOS QUE ESTÁN FORMADOS POR FERRITA A CUALQUIER TEMPERATURA. ES DECIR QUE ESTOS ACEROS NO PUEDEN TEMPLARSE PORQUE NO ALCANZAN EL ESTADO AUSTENÍTICO POR CALENTAMIENTO Y, POR LO TANTO,

TAMPOCO EL ESTADO MARTENSÍTICO EN EL ENFRIAMIENTO. PERTENECEN A ESTE GRUPO LOS ACEROS CON BAJO CONTENIDO DE CARBONO Y ELEVADO CONTENIDO DE CROMO.

ACEROS CON CARBUROS.- ESTOS ACEROS SE CARACTERIZAN POR TENER UN PORCENTAJE DE CARBUROS DE ELEMENTOS DE ALEACIÓN MUCHO MAYOR AL QUE SE CONSIDERA COMO NORMAL EN LOS ACEROS AL CARBONO. PERTENECEN A ESTE GRUPO LOS ACEROS RÁPIDOS, LOS ACEROS INDEFORMABLES, ETC.

CLASIFICACIÓN ATENDIENDO A SU COMPOSICIÓN.

DE ACUERDO A SU COMPOSICIÓN, SE PUEDEN DIVIDIR LOS ACEROS EN DOS CLASES FUNDAMENTALES: ACEROS AL CARBONO Y ACEROS ALEADOS.

POR ACUERDO INTERNACIONAL, SE DESIGNAN COMO ACEROS AL CARBONO AQUELLOS QUE ESTÁN FORMADOS FUNDAMENTALMENTE POR HIERRO Y CARBONO, SIEMPRE QUE LOS PORCENTAJES DE OTROS ELEMENTOS NO EXCEDAN A LOS LÍMITES SIGUIENTES:

MANGANESO.....	1.20 %
SILICIO.....	1.00 %
NÍQUEL.....	0.50 %
CROMO.....	0.25 %
MOLIBDENO.....	0.10 %
VANADIO.....	0.05 %
WOLFRAMIO.....	0.30 %
COBALTO.....	0.30 %
TITANIO.....	0.30 %
ALUMINIO.....	0.30 %
COBRE.....	0.30 %
AZUFRE + FÓSFORO.....	0.12 %
OTROS ELEMENTOS INDIVIDUALMENTE.....	0.10 %

LOS ACEROS ALEADOS SON LOS QUE CONTIENEN, ADEMÁS DEL CARBONO E IMPUREZAS, ELEMENTOS DE ALEACIÓN VOLUNTARIA, COMO CROMO, NÍQUEL,

MOLIBDENO, VANADIO, WOLFRAMIO, ETC. ESTOS ELEMENTOS INFLUYEN DIRECTAMENTE EN LAS PROPIEDADES DEL ACERO, VARIANDO LA TEMPLABILIDAD, LA DUREZA, LA MAQUINABILIDAD, ETC. LOS ELEMENTOS QUE PUEDEN BENEFICIAR AL ACERO SON: ALUMINIO, AZUFRE, CERIO, CIRCONIO, COBALTO, COBRE, CROMO, FÓSFORO, MANGANESO, BORO, ETC.

LOS ELEMENTOS QUE PUEDEN PERJUDICAR AL ACERO SON: ANTIMONIO, ESTAÑO, ARSÉNICO, HIDRÓGENO Y OXÍGENO.

3.3.- ELEMENTOS QUE INFLUYEN EN LA CALIDAD DEL ACERO

INFLUENCIA DEL ALUMINIO.- EN EL ESTADO METÁLICO, EL ALUMINIO SE USA PARA DESOXIDAR EL ACERO DURANTE EL AFINO; DEPENDIENDO DEL PORCENTAJE, HACE VARIAR LA TEMPLABILIDAD. EL ALUMINIO MEJORA MUCHO LA RESISTENCIA DEL ACERO A LA CORROSIÓN EN EL MEDIO AMBIENTE Y EN EL AGUA DE MAR.

INFLUENCIA DEL AZUFRE.- ESTE ELEMENTO ES PERJUDICIAL PARA LA GENERALIDAD DE LOS ACEROS PORQUE SU PRESENCIA EN FORMA DE SULFURO DE HIERRO DE BAJO PUNTO DE FUSIÓN, CREA ZONAS DÉBILES EN LOS TRATAMIENTOS Y PRODUCE GRIETAS Y FISURAS.

INFLUENCIA DEL BORO.- APLICADO EN PEQUEÑAS PROPORCIONES INCREMENTA NOTABLEMENTE LA TEMPLABILIDAD DEL ACERO.

INFLUENCIA DEL COBALTO.- EL COBALTO AUMENTA LA DUREZA DEL ACERO AL COMBINARSE CON LA FERRITA, MANTENIENDO ESTA DUREZA A TEMPERATURAS ALTAS. UNA DE LAS APLICACIONES DE ESTE ACERO ES LA FABRICACIÓN DE HERRAMIENTAS DE CORTE.

INFLUENCIA DEL COBRE.- AUMENTA LA TEMPLABILIDAD DEL ACERO, SU RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y EL LÍMITE ELÁSTICO. ELEVA TAMBIÉN SU RESISTENCIA CONTRA LA CORROSIÓN EN LOS ACEROS EXPUESTOS AL AIRE HÚMEDO.

INFLUENCIA DEL CROMO.- EL CROMO AUMENTA LA DUREZA DEL ACERO Y DEPENDIENDO DE SU PORCENTAJE LE PROPORCIONA UNA GRAN RESISTENCIA A

LA CORROSIÓN. ESTE ELEMENTO ES INDISPENSABLE EN LA FABRICACIÓN DE ACEROS INOXIDABLES.

INFLUENCIA DEL FÓSFORO.- SIEMPRE SE HA CONSIDERADO AL FÓSFORO COMO EL ELEMENTO MAS PERJUDICIAL EN LA FABRICACIÓN DEL ACERO PORQUE PRODUCE FRAGILIDAD. SIN EMBARGO, INVESTIGACIONES RECIENTES HAN DEMOSTRADO QUE AUMENTA SU DUREZA APLICADO EN CIERTOS PORCENTAJES.

INFLUENCIA DEL MANGANESO.- HACE QUE EL ACERO ADQUIERA RESISTENCIA AL DESGASTE, AUMENTA SU RESISTENCIA A LA TRACCIÓN Y ELEVA EL LÍMITE ELÁSTICO. MEJORA SU TEMPLABILIDAD. TIENE APLICACION EN LA FABRICACIÓN DE ACEROS INDEFORMABLES.

INFLUENCIA DEL MOLIBDENO.- ESTE METAL AUMENTA LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN, EL LÍMITE ELÁSTICO Y LA DUREZA DE LOS ACEROS, MANTENIENDO LOS MISMOS VALORES A TEMPERATURAS RELATIVAMENTE ELEVADAS.

INFLUENCIA DEL NÍQUEL.- EL NÍQUEL ES UN GRAN FORTALECEDOR DE LA FERRITA, LO QUE SE TRADUCE EN UNA NOTABLE MEJORÍA DE LA TENACIDAD DE LOS ACEROS BRUTOS DE LAMINACIÓN, QUE PERSISTE A TEMPERATURAS BAJO CERO. AUMENTA TAMBIÉN LA RESISTENCIA Y EL LÍMITE ELÁSTICO DE LOS ACEROS.

INFLUENCIA DEL PLOMO.- APLICANDO ESTE ELEMENTO EN CANTIDADES INFERIORES AL 20 % MEJORA MUCHO LA MAQUINABILIDAD DEL ACERO, AUNQUE TAMBIÉN EXPERIMENTA UN AUMENTO EN SU FRAGILIDAD.

INFLUENCIA DEL SILICIO.- EL SILICIO ELEVA EL LÍMITE ELÁSTICO DE LOS ACEROS. LOS ACEROS AL SILICIO SON MUY RESISTENTES AL DESGASTE Y TIENEN UNA RESISTIVIDAD RELATIVAMENTE ELEVADA; SU PERMEABILIDAD MAGNÉTICA ES BUENA..

3.4.- ACEROS ALEADOS

HASTA AQUÍ SE HA EXAMINADO LA INFLUENCIA QUE TIENEN LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN EN LAS PROPIEDADES DEL ACERO. ES TAMBIÉN IMPORTANTE MENCIONAR QUE ESTAS PROPIEDADES SE SUMAN, SE CONTRARRESTAN O SE COMPLEMENTAN. ESTA ES LA RAZÓN POR LA QUE EN LA ACTUALIDAD SE EMPLEAN

POR LO MENOS DOS ELEMENTOS ALEADOS PARA FABRICAR ACEROS QUE TENDRÁN CARACTERÍSTICAS ESPECIALES.

VARIANDO EL PORCENTAJE DE CARBONO, LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN Y SUS PORCENTAJES, SE TIENE UNA GRAN VARIEDAD DE ACEROS, MUCHOS DE LOS CUALES CON CARACTERÍSTICAS SIMILARES. PARA EVITAR ESTO, SE TOMAN EN CUENTA LAS CARACTERÍSTICAS MAS IMPORTANTES QUE DEBE TENER UN ACERO PARA QUE CUMPLA CON LOS REQUERIMIENTOS DE LA INDUSTRIA Y SE SELECCIONAN LOS ELEMENTOS QUE LE DAN LAS CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS A UN MENOR COSTO.

EN LA SIGUIENTE TABLA SE ENLISTAN LOS ACEROS MAS USADOS EN LA INDUSTRIA, SU COMPOSICIÓN QUÍMICA Y SUS PORCENTAJES.

TABLA 3.1- COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LOS ACEROS MAS IMPORTANTES

TIPO DE ACERO	CANTIDADES EN PORCIENTOS				
	C	Mn	Si	Ni	Cr
BAJO EN CARBONO	0.12	0.32	0.25		
	0.19	0.60	0.44		
	0.11	0.60	0.30		
	0.17	0.67	0.23		
	0.21	0.55	0.45		
	0.25	0.57	0.41		
	0.27	0.69	0.26		
MEDIANO CARBONO	0.28	0.63	0.47		
	0.28	0.62	0.40		
	0.31	0.75	0.42		
	0.46	0.73	0.28		
	0.50	0.59	0.54		
ALTO CARBONO	0.56	0.62	0.47		
	0.62	0.73	0.44		
2 % NÍQUEL	0.15-0.35	0.60-1.00		2.00	
3 % NÍQUEL	0.20-0.45	0.50-0.80		2.50-3.50	
Ni - Mn	0.20-0.40	0.90-1.50		0.75-1.50	
Ni - V	0.20-0.35	0.60-1.10		1.40-1.75	
Ni - Mo	0.20-0.35	0.60-1.00		1.25-2.00	
Ni- Cr - Mo	0.30-0.50	0.60-0.90		1.50-3.00	0.45-1.00
MEDIANO Mn	0.30-0.40	1.35-1.55	0.25-0.50		
Mn - Mo	0.20-0.40	1.10-1.50	0.25-0.50		
BAJO CROMO	0.25-0.40	0.65-0.85			0.60-0.90
2 % - 3 % CROMO	0.25-0.40	0.65-0.85			2.00-3.00
4 % - 5 % CROMO	0.10-0.30	0.60-1.00			4.00-6.00
Cr - Mo	0.25-0.50	0.65-0.85			0.50-1.50
Cr - Mo	0.24-0.40	0.60-0.80			

LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN SON AGREGADOS AL ACERO PARA INCREMENTAR SUS PROPIEDADES. EN EL MAS AMPLIO SENTIDO, LOS ACEROS ALEADOS PUEDEN CONTENER HASTA APROXIMADAMENTE 50 % DE ELEMENTOS DE ALEACIÓN, Y EL INCREMENTO DE SUS PROPIEDADES PUEDE SER UNA FUNCIÓN DIRECTA Y ESPECIFICA DE LOS ELEMENTOS ADICIONADOS, COMO SUCEDE CON LOS ACEROS QUE TIENEN ALTA RESISTENCIA A LA CORROSIÓN, (ACEROS CROMADOS), O LOS QUE POSEEN PROPIEDADES ELÉCTRICAS EXTRAORDINARIAS, (ACEROS AL SILICIO). ESTRUCTA Y TÉCNICAMENTE HABLANDO EL TÉRMINO ACEROS-ALEADOS SE REFIERE AL TRATAMIENTO TÉRMICO QUE SE DA A LOS ACEROS DE CONSTRUCCIÓN Y AUTOMOTIVOS, LOS CUALES TIENEN DEL 1 AL 4 % DE ELEMENTOS DE ALEACIÓN.

ESTOS ACEROS HAN SIDO ESTANDARIZADOS Y CLASIFICADOS POR EL INSTITUTO AMERICANO DE HIERRO Y ACERO CUYAS SIGLAS EN INGLÉS SON A.I.S.I., MOTIVO POR EL CUAL A ESTOS ACEROS SE LES CONOCE COMO ACEROS ALEADOS AISI. SON VARIOS LOS PAÍSES QUE HAN ESTABLECIDO NORMAS PARA SU PRODUCCIÓN DE ACERO; ASÍ, EN AMÉRICA TAMBIÉN SE UTILIZAN LAS NORMAS S.A.E. (THE SOCIETY OF AUTOMOTIVE ENGINEER), QUE SON PRÁCTICAMENTE IGUALES A LAS DE A.I.S.I.. EN ALEMANIA SE USAN LAS TABLAS D.I.N., EN FRANCIA, LAS TABLAS DE LA A.F.N.O.R., EN INGLATERRA, LAS TABLAS DE B.S.I., EN ITALIA, LAS NORMAS DE LA U.N.I.

3.5.- ACEROS AL CARBONO

DE ACUERDO A LO QUE SE ESPECIFICA EN LA TABLA 3.1, EL PORCENTAJE DE CARBONO PUEDE VARIAR ENTRE 0.12 Y 0.84, SIN EMBARGO, ESTE RANGO NO ES ABSOLUTO PORQUE EXISTEN ACEROS QUE CONTIENEN UN PORCENTAJE MENOR AL LÍMITE INFERIOR DE ESTE RANGO.

EN LA FABRICACIÓN DE ACEROS AL CARBONO ES IMPORTANTE DOSIFICAR EL PORCENTAJE DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN COMO EL CARBONO, EL SILICIO, EL MANGANESO, EL FÓSFORO Y EL AZUFRE. ES POR ESTE CONTROL ESTRICTO DE PORCENTAJES Y DE ELEMENTOS QUE ESTOS ACEROS SE SUELEN PRODUCIR EN HORNOS ELÉCTRICOS.

LOS ACEROS AL CARBONO PUEDEN SER CLASIFICADOS, DE ACUERDO A SUS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS EN:

DESIGNACIÓN	% DE C.
ACEROS EXTRADULCES	0.05 - 0.15
ACEROS DULCES	0.15 - 0.25
ACEROS SEMIDULCES	0.25 - 0.40
ACEROS SEMIDUROS	0.40 - 0.60
ACEROS DUROS	0.60 - 0.70
ACEROS MUY DUROS	0.70 - 0.80
ACEROS EXTRADUROS	0.80 - 0.84

3.2.8.1. CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS

DEBIDO A QUE ESTE TIPO DE ACERO TIENE GRAN PARTE DE SU APLICACIÓN EN LA CONSTRUCCIÓN DE PIEZAS DE MÁQUINAS, EJES, HERRAJES, TORNILLOS, ETC. ES NECESARIO QUE POSEAN CIERTAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS COMO SU RESISTENCIA A LA TRACCIÓN QUE DEBE DE SER LO MAS ALTA POSIBLE. TAMBIÉN INTERESA QUE EL LÍMITE ELÁSTICO SEA ELEVADO Y QUE SU DUCTILIDAD SEA GRANDE. DE ACUERDO A CASOS ESPECÍFICOS, PUEDE INTERESAR QUE POSEAN TENACIDAD, DUREZA Y LÍMITE DE FATIGA AMPLIOS.

LOS TRATAMIENTOS TÉRMICOS SIRVEN PARA GRADUAR O ACENTUAR CIERTAS CARACTERÍSTICAS MECÁNICAS QUE HACEN QUE ESTOS ACEROS SEAN MUY APROPIADOS PARA DETERMINADO USO.

3.2.8.2. INFLUENCIA DE LOS ELEMENTOS DE ALEACIÓN

INFLUENCIA DEL CARBONO.- LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN CRECE CON EL CONTENIDO DE CARBONO, TAMBIÉN AUMENTA EL LÍMITE DE ELASTICIDAD, PERO DECRECE SU ALARGAMIENTO.

INFLUENCIA DEL MANGANESO.- DESPUÉS DEL CARBONO, EL MANGANESO ES EL ELEMENTO QUE MAS INFLUENCIA EJERCE EN LOS ACEROS AL CARBONO. ESTE ELEMENTO AUMENTA SU RESISTENCIA A LA TRACCIÓN EN EL ORDEN DE 8 A 1 EN RELACIÓN CON EL CARBONO.

CAPÍTULO IV
OPERACIÓN DEL
HORNO DE ARCO
ELÉCTRICO

IV.- OPERACION DEL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO.

4.1 FUNCIONAMIENTO

LOS HORNOS DE ARCO DIRECTO U HORNOS ELÉCTRICOS, COMO SE LES CONOCE COMUNMENTE, BASAN SU ACCIÓN EN EL PRINCIPIO DEL ARCO VOLTAICO, ESTO ES QUE AL HACER PASAR UNA CORRIENTE ELÉCTRICA POR UN CONDUCTOR TERMINAL O ELECTRODO, GENERALMENTE DE GRAFITO, SE PRODUCE UNA CHISPA O DESCARGA INTERMITENTE ENTRE ESTE Y UN PUNTO CERCANO QUE TAMBIÉN TIENE PROPIEDADES CONDUCTORAS, ESPECÍFICAMENTE LA CARGA METÁLICA, CON UN EFECTO PARECIDO A LAS CAÍDAS SUCESIVAS DE UN RAYO QUE SE REPITIERA MUCHAS VECES EN UN PERÍODO CORTO DE TIEMPO. SE TRANSFORMA ASÍ LA ENERGÍA ELÉCTRICA EN CALOR DE ALTA TEMPERATURA (HASTA UNOS 4000 C EN EL AMBIENTE CERCANO AL ELECTRODO) LO QUE PERMITE FUNDIR LA CARGA SÓLIDA PASÁNDOLA AL ESTADO LÍQUIDO. PARA TENER UNA IDEA DE LA EQUIVALENCIA EN LA CONVERSIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN CALOR, SEÑALAREMOS QUE 1 KILOVATIOHORA DE ELECTRICIDAD CORRESPONDE A 860 KILOCALORÍAS, EN EL ENTENDIDO QUE 1 KILOCALORÍA ES LA CANTIDAD DE CALOR NECESARIO PARA ELEVAR EN UN GRADO LA TEMPERATURA DE UN LITRO DE AGUA PURA.

PARA PRODUCIR ACERO LÍQUIDO SE NECESITAN MATERIAS PRIMAS ENTRE LAS QUE ENCONTRAMOS EL PÉLET, CHATARRA, FUNDENTES (CAL Y ESPATO), Y FERROALEACIONES, AGUAS Y PRINCIPALMENTE ENERGÍA ELÉCTRICA.

EL PÉLET QUE PROVIENE DE LA PLANTA DE REDUCCIÓN DIRECTA PASA PRIMERAMENTE POR CRIBAS PARA DESECHAR EL FINO Y DESPUÉS LLEGAR A TOLVAS DE ALMACENAMIENTO, DESDE DONDE SE ALIMENTARÁ CONTINUAMENTE AL HORNO ELÉCTRICO, CADA UNO CON UNA CAPACIDAD PARA PRODUCIR 200 TON. DE ACERO LÍQUIDO POR COLADA.

LA CHATARRA, DE RECIRCULACIÓN Y POR LO TANTO GENERADA EN LA PROPIA SIDERURGICA, O BIEN COMPRADA, EN EL MERCADO NACIONAL, O DE IMPORTACIÓN, ES ALMACENADA EN PATIOS QUE SON DESIGNADOS ESPECIALMENTE PARA ESTE FIN. AQUÍ SE CLASIFICA Y PREPARA PARA MAS TARDE ALIMENTARLA A LOS HORNOS ELÉCTRICOS.

LA CAL LLEGA DE LA PLANTA AUXILIAR DE CALCINACIÓN; DESPUÉS DE SER CRIBADA, SE ALMACENA EN LAS TOLVAS CORRESPONDIENTES DESDE DONDE SE LE

ADICIONARÁ A LOS HORNOS Y A LAS OLLAS EN LA OPORTUNIDAD Y CANTIDAD QUE SEA NECESARIA. ESTE ES, EN FORMA SIMPLE, EL MANEJO Y RECORRIDO QUE SIGUEN LAS MATERIAS PRIMAS MAS IMPORTANTES EN EL PROCESO DE ACERACIÓN.

POR SU PARTE, LA ENERGÍA ELÉCTRICA ES IMPRESCINDIBLE PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LOS HORNOS ELÉCTRICOS. ESTE ENERGÉTICO ES PROPORCIONADO POR LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, A 230 KV.. POR MEDIO DE UN TRANSFORMADOR SE DISMINUYE EL VOLTAJE HASTA 69 KV AUMENTANDO EL AMPERAJE PARA CONVERTIRSE EN ENERGÍA CALORÍFICA AL LLEGAR A LOS ELECTRODOS. SE COLOCA EN EL HORNO LA PRIMERA CARGA, LA CUAL CONSISTE EN CHATARRA Y PÉLETS, ACOMODÁNDOSE DE TAL MANERA QUE SIRVA DE PROTECCIÓN DEL REVESTIMIENTO DURANTE LA FUSIÓN DE ESTA PRIMERA CARGA. UNA VEZ QUE ESTE MATERIAL SE HA FUNDIDO, LA TEMPERATURA QUE TIENE EL ACERO EN EL HORNO ES DE 1550 C APROXIMADAMENTE E INMEDIATAMENTE SE INICIA LA CARGA CONTINUA DE PÉLET Y CAL POR LA PARTE SUPERIOR DEL HORNO (A TRAVÉS DE LA BÓVEDA, ORIFICIO DE CARGA CONTINUA). LA CAL SERVIRÁ PARA FORMAR LA ESCORIA Y ESTA PARA IR ABSORBIENDO PARTE DE LAS IMPUREZAS DISUELTAS EN EL ACERO LÍQUIDO; SI POR ALGUNA RAZÓN LA ESCORIA ES MUY VISCOSA SE LE AGREGA ESPATO PARA HACERLA FLUÍDA. DURANTE EL PROCESO DE FUSIÓN LA ESCORIA ESTARÁ SALIENDO DEL HORNO EN FORMA CONTINUA A TRAVÉS DE LA PUERTA DE ESCORIA, PARA SER RECOGIDA EN UNA OLLA COLOCADA BAJO EL HORNO, EXPRESAMENTE PARA ESE FIN. TERMINADA LA ETAPA DE FUSIÓN (TEMPERATURA DEL ACERO APROXIMADAMENTE A 1600 C) SE INICIA EL PERÍODO DE AFINACIÓN, DURANTE EL CUAL, ELEMENTOS COMO EL FÓSFORO, AZUFRE, CARBÓN, MANGANESO Y SILICIO, PUEDEN SER ADICIONADOS Y CONTROLADOS PARA DARLE AL ACERO CIERTAS CUALIDADES.

EL ACERO ESTÁ COMPUESTO CASI EN UN 98 POR CIENTO DE FIERRO METÁLICO Y EL 6% DE ESA CANTIDAD SE PIERDE POR FENÓMENOS COMO EL ARRASTRE DE POLVOS DURANTE LA CARGA CONTINUA, ÓXIDOS DE FIERRO FORMANDO PARTE DE LA ESCORIA, SALPICADURAS, ETC. YA QUE ESTÁ FUNDIDO Y REFINADO EL ACERO HASTA ALCANZAR LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DESEADA Y TEMPERATURA DE 1670 C EL HORNO SE INCLINARÁ PARA VACIAR LA CARGA METÁLICA LÍQUIDA A UNA OLLA CON CAPACIDAD DE 200 TONELADAS DE ACERO LÍQUIDO, AQUÍ SE COMPLEMENTARÁ CON EL APLICADO DE DIVERSAS FERROALEACIONES QUE INTRODUCEN EN PEQUEÑAS CANTIDADES LOS ELEMENTOS QUÍMICOS INDISPENSABLES PARA PODER OBTENER UN ACERO CON DIFERENTES CARACTERÍSTICAS, DICHAS CARACTERÍSTICAS

DEFINIRÁN EL USO AL QUE SE DESTINE ESE ACERO. LA OLLA CON SU CARGA LÍQUIDA ES POSTERIORMENTE SOMETIDA A UNA INYECCIÓN DE GAS INERTE (QUE NO REACCIONA QUÍMICAMENTE). EL GAS EMPLEADO ES EL ARGÓN, PARA AGITAR INTENSAMENTE LA MASA DE ACERO LÍQUIDO Y LOGRAR QUE SE HOMOGENICE, ES DECIR QUE SU COMPOSICIÓN EN TODAS PARTES SEA LA MISMA. A SU VEZ, LA AGITACIÓN POR ARGÓN, QUE TIENE MOVIMIENTOS VIOLENTOS, SE HACE CON EL FIN DE AUMENTAR EL CONTACTO ENTRE ACERO Y ESCORIA PARA PODER ACELERAR LA REACCIÓN DE DESULFURACIÓN DEL ACERO, O SEA, ELIMINAR EL AZUFRE DISUELTO EN EL ACERO, QUE ES UN ELEMENTO INDESEABLE. CUANDO SE HAN CUMPLIDO TODOS LOS PASOS ANTERIORES, EL ACERO LÍQUIDO CONTENIDO EN LA OLLA ESTÁ LISTO PARA SER ENVIADO A LAS INSTALACIONES DE LA PLANTA DE COLADA CONTINUA.

CADA HORNO TIENE 8 METROS DE DIÁMETRO, 4.80 METROS DE ALTURA Y UNA CAPACIDAD DE 200 TONELADAS POR COLADA. ESTE GIGANTESCO HORNO LO PODEMOS DIVIDIR EN TRES PARTES: LA PLATAFORMA DEL HORNO, EL CUERPO DE FORMA CILÍNDRICA LLAMADO CORAZA Y LA BÓVEDA O TAPA REMOVIBLE.

LA PLATAFORMA CONSTITUYE LA PARTE INFERIOR DEL HORNO, DONDE SE APOYARÁ Y TENDRÁ SUS CIMIENTOS Y TAMBIÉN SU DISPOSITIVO BASCULANTE; ES UN SISTEMA DE VOLTEO CONTROLADO MEDIANTE EL USO DE CILINDROS HIDRÁULICOS QUE PERMITIRÁ UNA INCLINACIÓN HASTA DE 41 GRADOS RESPECTO A LA HORIZONTAL, CON LO QUE SE FACILITA EL VACIADO DEL HORNO.

LA CORAZA, COMO SU NOMBRE LO INDICA, ES LA CUBIERTA EXTERNA DEL HORNO; ESTA SE PUEDE SUBDIVIDIR EN PARTE INFERIOR, DONDE SE ENCUENTRA LA BASE DEL HORNO CON UN CRISOL REFRACTARIO HECHO DE LADRILOS Y UN APISONABLE DE ÓXIDO DE MAGNESIO QUE DARÁ PROTECCIÓN AL HORNO CONTRA LOS SOBRECALENTAMIENTOS; Y LA PARTE SUPERIOR, QUE COMPRENDE LAS PAREDES DEL HORNO QUE TENDRÁN UNA PEQUEÑA PARTE DE MATERIAL REFRACTARIO Y MAS ARRIBA, PÁNELES DE PROTECCIÓN QUE CONSISTEN EN SISTEMA DE CAJAS DE COBRE Y ACERO ENFRIADAS POR AGUA QUE PERMITIRÁN QUE LA CORAZA DEL HORNO MATENGA UNA TEMPERATURA ADECUADA DURANTE TODO EL PROCESO DE ALTA TEMPERATURA.

LA BOVEDA ESTÁ CONSTRUIDA DE MATERIAL REFRACTARIO EN SU PARTE CENTRAL Y PÁNELES ENFRIADOS POR AGUA EN EL RESTO, Y PUEDE DESPLAZARSE HACIA UN

LADO DEL HORNO POR MEDIO DE UN DISPOSITIVO GIRATORIO, TENDRÁ UN DUCTO PARA LA EXTRACCIÓN DE HUMOS Y OTRO PARA CARGA CONTINUA, ADEMÁS DE TRES ORIFICIOS EN SU CENTRO PARA ALOJAR LOS ELECTRODOS DE GRAFITO (MATERIAL CONDUCTOR DE LA ELECTRICIDAD, DE ALTA RESISTENCIA, QUE NO TRANSMITE DEMASIADO EL CALOR).

CADA ELECTRODO MEDIRÁ EN UN PRINCIPIO 9.40 METROS DE LARGO, Y AL MÁXIMO DE SU CONSUMO EN SU UTILIZACIÓN, SE REDUCIRÁ HASTA 6.60 METROS, ESTOS ESTARÁN SUJETOS A UNA MORDAZA Y ESTA A UN BRAZO POR DONDE LOS CABLES ELÉCTRICOS, PROVENIENTES DEL TRANSFORMADOR, LE ENTREGARÁN LA ENERGÍA NECESARIA PARA FUNDIR LA CARGA METÁLICA Y EL FUNDENTE. CIERTOS TIPOS DE ACEROS AL PROCESARSE DEBERÁN CUMPLIR ESPECIFICACIONES MUY RÍGIDAS EN CUANTO A SU COMPOSICIÓN QUÍMICA Y CALIDAD, CARACTERÍSTICAS SI NO IMPOSIBLES, MUY DIFÍCILES DE LOGRAR EN EL PROCESO DE FABRICACIÓN EN HORNO DE ARCO ELÉCTRICO, ADEMÁS DE QUE EL COSTO SE INCREMENTARÍA AL PERMANECER MAS TIEMPO EL ACERO EN EL HORNO, DURANTE EL PERÍODO DE AFINACIÓN, (MAYOR CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA Y MAYOR DESGASTE DE REFRACTARIO ENTRE OTROS).

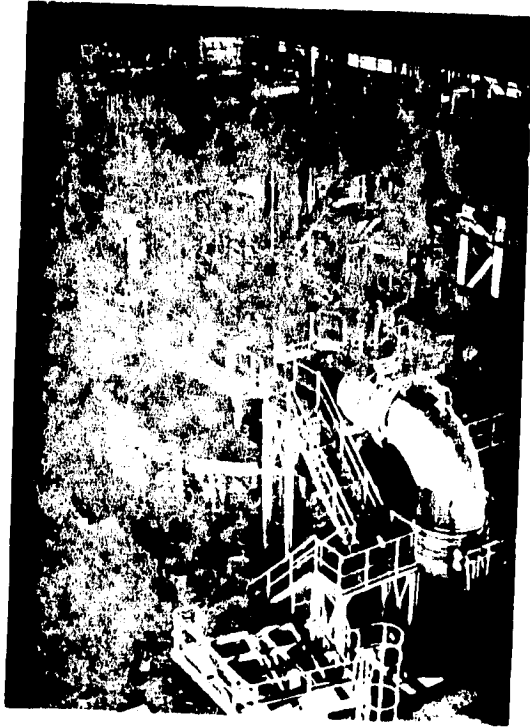
PARA RESOLVER EL PROBLEMA SE CUENTA CON UN ÁREA DE TRATAMIENTO SECUNDARIO DE ACERO O REFINACIÓN SECUNDARIA DE ACERO EN DONDE ESTÁN INSTALADOS HORNOS DE OLLA. CADA UNO ES SIMILAR A UN HORNO DE ARCO ELÉCTRICO, YA QUE SU PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO ES EL MISMO; ESTOS HORNOS TIENEN COMO CARACTERÍSTICAS PRINCIPALES:

A) REFINACIÓN DEL ACERO, (DISMINUCIÓN DE AZUFRE).

B) CONTROL ESTRICTO DE TEMPERATURA, TODAS LAS MATERIAS PRIMAS Y LOS MATERIALES ANTES MENCIONADOS, ASI COMO EL EQUIPO Y MAQUINARIA QUE INTERVIENEN EN EL PROCESO ESTÁN DETECTADOS Y DIRIGIDOS POR UN CENTRO DE INSTRUMENTACIÓN QUE MANEJA EL PROCESO DE LA PRODUCCIÓN DE ACERO.

LAS COMPUTADORAS SON LAS ENCARGADAS DE QUE LOS HORNOS COMO TODOS LOS EQUIPOS PRINCIPALES Y SECUNDARIOS FUNCIONEN A LA PERFECCIÓN, ADEMÁS PODRÁN DETECTAR CUALQUIER ERROR, YA SEA EN LA MAQUINARIA COMO EN LAS CANTIDADES DE MATERIALES Y COMPOSICIONES DE ESTOS PARA QUE EL ACERO LÍQUIDO PRODUCIDO SATISFAGA LOS REQUISITOS DE CALIDAD PREESTABLECIDA.

A CONTINUACIÓN VEMOS UNA FOTOGRAFÍA DEL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO DONDE PUEDEN VERSE SUS PARTES EXTERIORES.



4.2.- ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO

4.2.1 INTRODUCCION

AUNQUE NORMALMENTE NO SUFRE FALLAS, EL SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA QUE ALIMENTA A LOS HORNOS DE ARCO ELÉCTRICO, DEBE SER DISEÑADO PENSANDO EN PREVENIRLAS, YA QUE ES IMPOSIBLE QUE EN UN CIRCUITO ELÉCTRICO TAN AMPLIO Y COMPLEJO NUNCA OCURRAN FALLAS.

EL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO SIEMPRE ES IMPORTANTE PORQUE NOS PROPORCIONA INFORMACIÓN ACERCA DE LA MAGNITUD DE LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO PARA DIFERENTES TIPOS DE FALLAS EN CUALQUIER PUNTO DEL CIRCUITO. ADEMÁS DE LAS POTENCIAS DE CORTO CIRCUITO EN LOS MISMOS. LOS DATOS ANTERIORES SON INDISPENSABLES PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS INTERRUPTIVAS DE LOS ELEMENTOS DE DESCONEXIÓN, ASÍ COMO PARA SELECCIONAR Y COORDINAR LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN CONTRA SOBRECORRIENTES DE FALLA.

EN LA SIGUIENTE GRÁFICA SE MUESTRA EL DIAGRAMA UNIFILAR DEL CIRCUITO ALIMENTADOR, EL CUAL CONSTITUYE LA BASE DE NUESTRO ESTUDIO.

EXISTEN VARIOS MÉTODOS PARA REALIZAR UN ESTUDIO DE ESTE TIPO:

- MÉTODO DE LAS COMPONENTES SIMÉTRICAS
- MÉTODO DEL BUS INFINITO
- MÉTODO DE LOS MVA
- MÉTODO ÓHMICO

DEBIDO AL TAMAÑO DEL SISTEMA Y A SU COMPLEJIDAD, ES MAS CONVENIENTE USAR EL MÉTODO DEL BUS INFINITO YA QUE SE NOS SIMPLIFICARÁN SIGNIFICATIVAMENTE LOS CÁLCULOS, ADEMÁS DE QUE NO ES NECESARIO USAR UN MÉTODO MAS COMPLETO, COMO EL DE LAS COMPONENTES SIMÉTRICAS POR EJEMPLO, PORQUE EN EL SISTEMA NO SE TIENEN GENERADORES NI MOTORES QUE EN UN MOMENTO DADO PUDIERAN CONTRIBUIR CON SU RESPUESTA, A LA GENERACIÓN DE CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO MAS SEVERAS. EL

PROCEDIMIENTO QUE SIGUE EL MÉTODO DEL BUS INFINITO SE EXPLICA A CONTINUACIÓN:

- 1.- SE CONSTRUYE EL DIAGRAMA UNIFILAR
- 2.- SE REFIEREN LAS IMPEDANCIAS A VALORES BASE DE POTENCIA Y TENSIÓN
- 3.- SE DETERMINA LA IMPEDANCIA EQUIVALENTE CON RESPECTO AL PUNTO EN ESTUDIO .
- 4.- SE CALCULA LA CORRIENTE Y LA POTENCIA DE CORTO CIRCUITO

SIGUIENDO LOS PASOS DEL MÉTODO Y DESPUÉS DE OBSERVAR EL DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA, SE TENDRÁN QUE DETERMINAR LOS VALORES DE LAS IMPEDANCIAS EN POR UNIDAD.

4.2.2 IMPEDANCIA DE LA LÍNEA DE ENTRADA (230 KV)

DE ACUERDO A LOS DATOS DE LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD, LA CAPACIDAD DE LA LÍNEA VARÍA ENTRE:

$S_{\text{máx}} = 2819 \text{ MVA}$ CON ÁNGULO DE 85.93 GRADOS.

$S_{\text{mín}} = 2086 \text{ MVA}$ CON ÁNGULO DE 86.13 GRADOS.

POR LO TANTO, LA IMPEDANCIA EN POR UNIDAD, A UNA BASE DE 1000 MVA ES:

$$Z_{\text{máx}} = 1000/2819 = 0.355 \quad \text{PU}$$

$$R_{\text{máx}} = Z_{\text{máx}} \cos 85.93 = 0.025 \text{ PU}$$

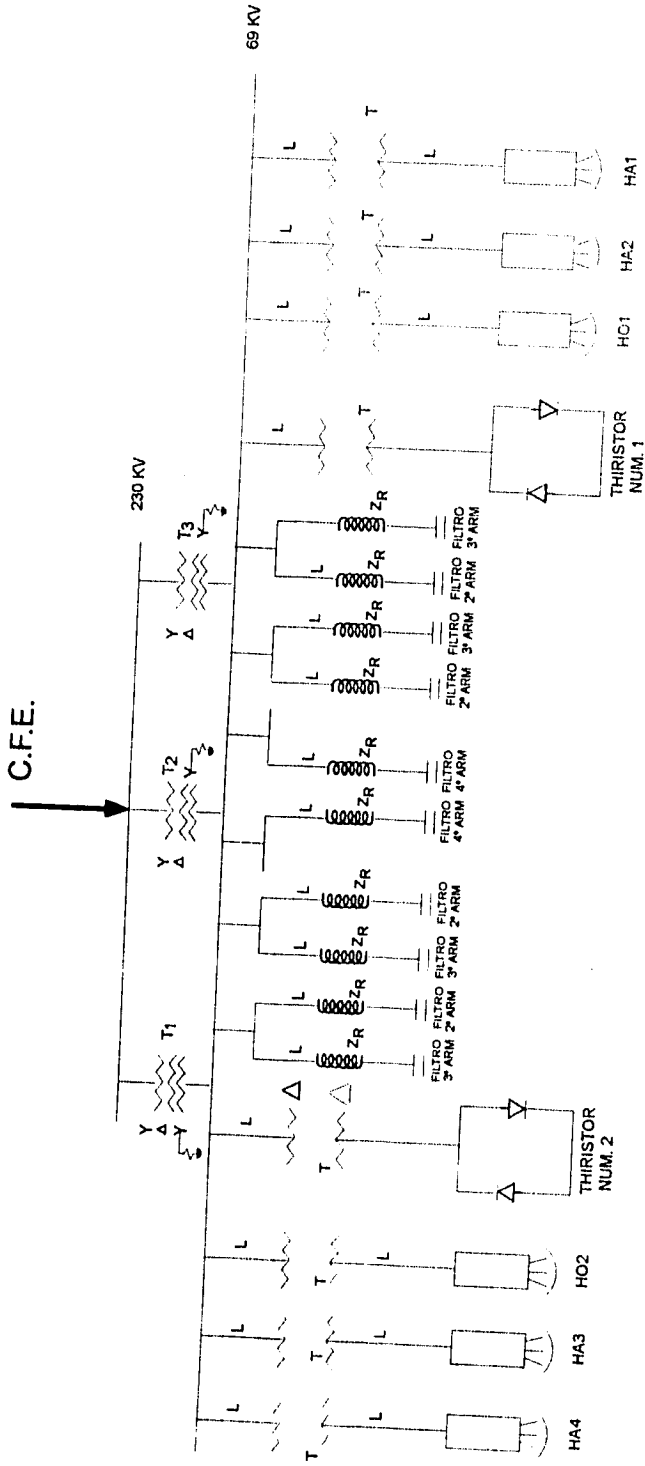
$$X_{\text{máx}} = Z_{\text{máx}} \text{SEN } 85.93 = 0.354 \text{ PU}$$

$$Z_{\text{mín}} = 1000/2086 = 0.479 \quad \text{PU}$$

$$R_{\text{mín}} = Z_{\text{mín}} \cos 86.13 = 0.032 \text{ PU}$$

$$X_{\text{mín}} = Z_{\text{mín}} \text{SEN } 86.13 = 0.478 \text{ PU}$$

DIAGRAMA UNIFILAR DEL SISTEMA



PUEDE OBSERVARSE LA ACOMETIDA DE C.F.E., LOS TRANSFORMADORES REDUCTORES, LAS LINEAS, LOS FILTROS, LOS HORNOS Y LOS THIRISTORES.

PARA CONTINUAR EL ESTUDIO ES NECESARIO DIVIDIR EL SISTEMA EN ZONAS, COMO LO MUESTRA LA GRÁFICA DE LA SIGUIENTE HOJA. LAS BASES DE POTENCIA, VOLTAJE Y CORRIENTE PARA LA ZONA I SON:

$$SB1 = 1000 \text{ MVA}$$

$$\text{LA BASE DE VOLTAJE ESTA IMPLÍCITA: } VB1 = 230 \text{ KV}$$

$$\text{LA BASE DE CORRIENTE SE CALCULA: } IB1 = 1000 \times 10^3 / (230)^3$$

$$IB1 = 2510.22 \text{ AMP.}$$

4.2.3 IMPEDANCIA DE LOS TRANSFORMADORES REDUCTORES

DATOS DE LOS TRANSFORMADORES T1, T2 Y T3

130/173 MVA OA/FOA

230/69/34.5 KV

ZPS = 8 % RPS = 0.18 % XPS = 8% A UNA BASE DE 130 MVA

ZPT= 6.1 % RPT= 0.17 % XPT= 6.1 % A UNA BASE DE 45.5 MVA

ZST= 10.5 % RST= 0.2 % XST= 10.5 % A UNA BASE DE 45.5 MVA

PARA TENER EL SISTEMA EN POR UNIDAD USAMOS LA SIGUIENTE FÓRMULA:

$$ZN = ZV(MVAN/MVAV)$$

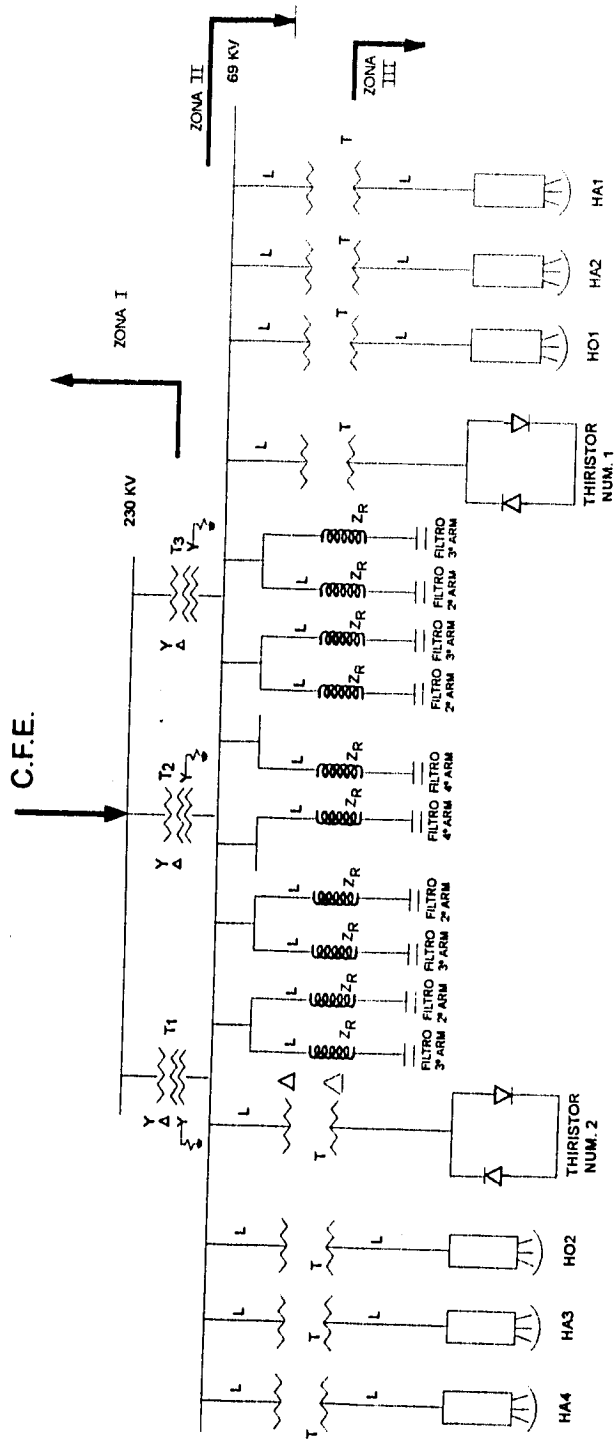
DONDE ZN ES LA IMPEDANCIA NUEVA , ZV ES LA IMPEDANCIA VIEJA

$$ZPS = 0.08(1000/130) = 0.615 \text{ PU}$$

$$RPS = 0.0018(1000/130) = 0.014 \text{ PU}$$

$$XPS = 0.08(1000/130) = 0.615 \text{ PU}$$

DIAGRAMA UNIFILAR. DETERMINACION DE ZONAS.



SE MUESTRA LA DELIMITACION DE LAS TRES ZONAS, DE ACUERDO AL NIVEL DE VOLTAJE.

$$ZPT = 0.061(1000/45.5) = 1.341 \text{ PU}$$

$$RPT = 0.0017(1000/45.5) = 0.037 \text{ PU}$$

$$XPT = 0.061(1000/45.5) = 1.341 \text{ PU}$$

$$ZST = 0.105(1000/45.5) = 2.308 \text{ PU}$$

$$RST = 0.002(1000/45.5) = 0.044 \text{ PU}$$

$$XST = 0.105(1000/45.5) = 2.308 \text{ PU}$$

CÁLCULO DE LA IMPEDANCIA DE CADA DEVANADO

DEVANADO PRIMARIO

$$ZP = 1/2(ZPS + ZPT - ZST)$$

$$ZP = 1/2(0.615 + 1.341 - 2.308)$$

$$ZP = -0.716 \text{ PU}$$

$$RP = 1/2(RPS + RPT - RST)$$

$$RP = 1/2(0.014 + 0.037 - 0.044)$$

$$RP = 0.003 \text{ PU}$$

$$XP = 1/2(XPS + XPT + XST)$$

$$XP = 1/2(0.615 + 1.341 - 2.308)$$

$$XP = -0.176 \text{ PU}$$

DEVANADO SECUNDARIO

$$ZS = 1/2(ZPS + ZST - ZPT)$$

$$ZS = 1/2(0.615 + 2.308 - 1.341)$$

$$ZS = 0.791 \text{ PU}$$

$$RS = 1/2(RPS + RST - RPT)$$

$$RS = 1/2(0.014 + 0.044 - 0.037)$$

$$RS = 0.011 \text{ PU}$$

$$XS = 1/2(XPS + XST - XPT)$$

$$XS = 1/2(0.615 + 2.308 - 1.341)$$

$$XS = 0$$

DEVANADO TERCARIO

$$ZT = 1/2(ZPT + ZST - ZPS)$$

$$ZT = 1/2(1.341 + 2.308 - 0.615)$$

$$ZT = 1.517 \text{ PU}$$

$$RT = 1/2(RPT + RST - RPS)$$

$$RT = 1/2(0.037 + 0.044 - 0.014)$$

$$RT = 0.034 \text{ PU}$$

$$XT = 1/2(XPT + XST - XPS)$$

$$XT = 1/2(1.341 + 2.308 - 0.615)$$

$$XT = 1.517 \text{ PU}$$

4.2.4 IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR DE ALTA IMPEDANCIA.

LOS DATOS DEL TRANSFORMADOR SON:

$$Z = 39.1 \% \quad R = 0.45 \% \quad X = 39.1 \%$$

CALCULADOS CON UNA BASE DE 167 MVA

LLEVANDO LOS DATOS DE IMPEDANCIA A LA NUEVA BASE:

$$Z = 0.391(1000/167) = 2.341 \text{ PU}$$

$$R = 0.0045(1000/167) = 0.27 \text{ PU}$$

$$X = 0.391(1000/167) = 2.341 \text{ PU}$$

4.2.5 IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR DEL HORNO DE ARCO ELÉCTRICO.

LOS DATOS DEL TRANSFORMADOR SON:

$$Z = 5.0 \% \quad R = 0.41 \% \quad X = 4.98 \%$$

CALCULADOS CON UNA BASE DE 112.5 MVA.

LLEVANDO LOS DATOS DE IMPEDANCIA A LA NUEVA BASE:

$$Z = 0.0500(1000/112.5) = 0.444 \text{ PU}$$

$$R = 0.0041(1000/112.5) = 0.036 \text{ PU}$$

$$X = 0.0498(1000/112.5) = 0.443 \text{ PU}$$

4.2.6 IMPEDANCIA DEL HORNO DE OLLA.

LOS DATOS DEL TRANSFORMADOR SON:

$$Z = 5.0 \% \quad R = 0.94 \% \quad X = 4.91 \%$$

CALCULADOS A UNA BASE DE 30 MVA

LLEVANDO LOS DATOS DE IMPEDANCIA A LA NUEVA BASE:

$$Z = 0.0050(1000/30) = 0.167 \text{ PU}$$

$$R = 0.0094(1000/30) = 0.313 \text{ PU}$$

$$X = 0.0491(1000/30) = 1.637 \text{ PU}$$

4.2.7 IMPEDANCIA DEL CABLE DE 69 KV

a) CABLE CALIBRE 350 MCM

$$\text{RESISTENCIA A } 90 \text{ C : } R = 0.1176 \text{ (OHMS/KM)}$$

$$\text{INDUCTANCIA (L) : } L = 0.476 \text{ (mH/KM)}$$

$$\text{REACTANCIA (WL=X) : } X = 0.1794 \text{ (OHMS/KM)}$$

$$\text{IMPEDANCIA (Z) : } Z = 0.2145 \text{ (OHMS/KM)}$$

ESTOS CABLES SE ENCUENTRAN EN LA ZONA II. LAS BASES DE POTENCIA, VOLTAJE, CORRIENTE E IMPEDANCIA SON:

$$SBII = 1000 \text{ MVA}$$

$$VBII = 69 \text{ KV}$$

$$IBII = 1000 \times 10^3 / 1.732(69 \text{ KV}) = 8367.40 \text{ AMP.}$$

$$ZBII = (KVBII) \times 10^3 / SBII = (69) \times 10^3 / 1000 = 4.761$$

POR LO TANTO, LA IMPEDANCIA EN POR UNIDAD DEL CABLE DE 350 MCM, ES:

$$Z = Z/ZBII = 0.2145/4.761 = 0.045 \text{ PU}$$

$$R = R/ZBII = 0.1176/4.761 = 0.0247 \text{ PU}$$

$$X = X/ZBII = 0.1794/4.761 = 0.0377 \text{ PU}$$

b) CABLE CALIBRE 750 MCM.

COMO ESTOS CABLES SE ENCUENTRAN EN LA MISMA ZONA, SE EMPLEA EL MISMO DATO DE IMPEDANCIA BASE PARA CALCULAR SU IMPEDANCIA EN POR UNIDAD.

$$Z = Z/ZBII = 0.1694/4.761 = 0.0355 \text{ PU}$$

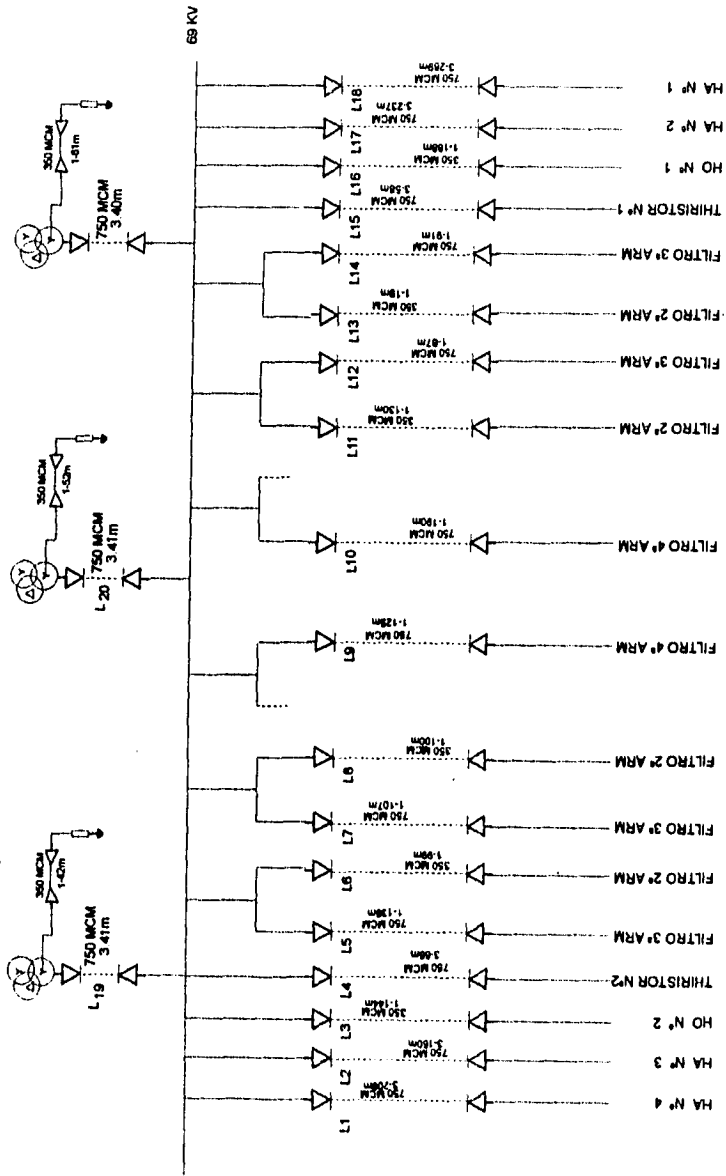
$$R = R/ZBII = 0.05916/4.761 = 0.0124 \text{ PU}$$

$$X = X/ZBII = 0.1587/4.761 = 0.0333 \text{ PU}$$

ES NECESARIO TOMAR EN CUENTA QUE LA LONGITUD DE ESTOS CABLES VARÍA, HACIENDO VARIAR SU IMPEDANCIA. EN LA GRÁFICA DE LA SIGUIENTE HOJA SE PROPORCIONA LA INFORMACIÓN COMPLETA.

4.2.8 IMPEDANCIA DE LOS CABLES QUE SALEN DEL BUS DE 69 KV. HACIA LOS TRANSFORMADORES REDUCTORES.

LONGITUDES DE CABLE



LONGITUDES DIVERSAS DE CABLES DEL BUS DE 69 KV HACIA LOS TRANSFORMADORES O LOS REACTORES. INCLUYE ATERRIZAMIENTO DE TRANSFORMADORES DE ENTRADA

IMPEDANCIA EN POR UNIDAD PARA:

a) CABLE DEL HORNO DE ARCO NÚMERO 4, (L1)

$$R = 0.0124 \times 0.209/3 = 0.001 \text{ PU}$$

$$X = 0.0333 \times 0.209/3 = 0.002 \text{ PU}$$

b) CABLE DEL HORNO DE ARCO NÚMERO 3, (L2)

$$R = 0.0124 \times 0.160/3 = 0.001 \text{ PU}$$

$$X = 0.0333 \times 0.160/3 = 0.002 \text{ PU}$$

c) CABLE DEL HORNO DE OLLA NÚMERO 2, (L3)

$$R = 0.0247 \times 0.144 = 0.004 \text{ PU}$$

$$X = 0.0377 \times 0.144 = 0.005 \text{ PU}$$

d) CABLE DEL TIRISTOR NÚMERO 2, (L4)

$$R = 0.0124 \times 0.066/3 = 0.0002 \text{ PU}$$

$$X = 0.0333 \times 0.066/3 = 0.001 \text{ PU}$$

e) CABLE DEL FILTRO PARA TERCERA ARMÓNICA, (L5)

$$R = 0.124 \times 0.136 = 0.02 \text{ PU}$$

$$X = 0.0333 \times 0.136 = 0.005 \text{ PU}$$

f) CABLE DEL FILTRO PARA SEGUNDA ARMÓNICA, (L6)

$$R = 0.0247 \times 0.099 = 0.002 \text{ PU}$$

$$X = 0.0377 \times 0.099 = 0.004 \text{ PU}$$

g) CABLE DEL FILTRO PARA LA TERCERA ARMÓNICA, (L7)

$$R = 0.0124 \times 0.107 = 0.001 \text{ PU}$$

$$X = 0.0333 \times 0.107 = 0.004 \text{ PU}$$

h) CABLE DEL FILTRO PARA LA SEGUNDA ARMÓNICA, (L8)

$$R = 0.0247 \times 0.100 = 0.002 \text{ PU}$$

$$X = 0.0377 \times 0.100 = 0.004 \text{ PU}$$

i) CABLE DEL FILTRO PARA LA CUARTA ARMÓNICA, (L9)

$$R = 0.0124 \times 0.125 = 0.002 \text{ PU}$$

$$X = 0.0333 \times 0.125 = 0.004 \text{ PU}$$

j) CABLE DEL FILTRO PARA LA CUARTA ARMÓNICA, (L10)

$$R = 0.0124 \times 0.090 = 0.001 \text{ PU}$$

$$X = 0.0333 \times 0.090 = 0.003 \text{ PU}$$

k) CABLE DEL FILTRO PARA LA SEGUNDA ARMÓNICA, (L11)

$$R = 0.0247 \times 0.130 = 0.003 \text{ PU}$$

$$X = 0.0377 \times 0.130 = 0.005 \text{ PU}$$

l) CABLE DEL FILTRO PARA LA TERCERA ARMÓNICA, (L12)

$$R = 0.0124 \times 0.087 = 0.001 \text{ PU}$$

$$X = 0.0333 \times 0.087 = 0.003 \text{ PU}$$

m) CABLE DEL FILTRO PARA LA SEGUNDA ARMÓNICA, (L13)

$$R = 0.0247 \times 0.119 = 0.003 \text{ PU}$$

$$X = 0.0377 \times 0.119 = 0.005 \text{ PU}$$

n) CABLE DEL FILTRO PARA LA TERCERA ARMÓNICA, (L14)

$$R = 0.0124 \times 0.091 = 0.001 \text{ PU}$$

$$X = 0.0333 \times 0.091 = 0.003 \text{ PU}$$

n) CABLE DEL TIRISTOR NÚMERO 1, (L15)

$$R = 0.0124 \times 0.058/3 = 0.0002 \text{ PU}$$

$$X = 0.0333 \times 0.058/3 = 0.001 \text{ PU}$$

o) CABLE DEL HORNO DE OLLA NÚMERO 1, (L16)

$$R = 0.0247 \times 0.188 = 0.005 \text{ PU}$$

$$X = 0.0377 \times 0.188 = 0.007 \text{ PU}$$

p) CABLE DEL HORNO DE ARCO NÚMERO 2, (L17)

$$R = 0.0124 \times 0.237/3 = 0.001 \text{ PU}$$

$$X = 0.0333 \times 0.237/3 = 0.003 \text{ PU}$$

q) CABLE DEL HORNO DE ARCO NÚMERO 1, (L18)

$$R = 0.0124 \times 0.269/3 = 0.001 \text{ PU}$$

$$X = 0.0333 \times 0.269/3 = 0.003 \text{ PU}$$

4.2.9 IMPEDANCIA DE LOS REACTORES DE LOS FILTROS.

a) IMPEDANCIA DEL REACTOR PARA LA SEGUNDA ARMÓNICA.

LA IMPEDANCIA DE DISEÑO ES:

$$R=0.56 \text{ OHMS,}$$

$$X = WL = 2(3.1416)(60)(249.15 \times 10^{-3}) = 93.93 \text{ OHMS}$$

DADO QUE ESTOS CABLES SE ENCUENTRAN UBICADOS EN LA ZONA II, DEBE USARSE LA BASE DE IMPEDANCIA DE $Z = 4.761$. PARA CALCULAR LA IMPEDANCIA EN POR UNIDAD.

$$R = 0.56/4.761 = 0.118 \text{ PU}$$

$$X = 93.93/4.761 = 19.729 \text{ PU}$$

b) IMPEDANCIA DEL REACTOR PARA LA TERCERA ARMÓNICA

LA IMPEDANCIA DE DISEÑO ES:

$$R = 0.12 \text{ OHMS,}$$

$$X = WL = 2(3.1416)(60)(45.41 \times 10^{-3}) = 17.12 \text{ OHMS}$$

DE IGUAL FORMA, LA IMPEDANCIA EN POR UNIDAD ES:

$$R = 0.12/4.761 = 0.025 \text{ PU,}$$

$$X = 17.12/4.761 = 3.596 \text{ PU}$$

c) IMPEDANCIA DEL REACTOR PARA ELIMINAR LA CUARTA ARMÓNICA.

LA IMPEDANCIA DE DISEÑO ES:

$$R=0.074 \text{ OHMS}$$

$$X=WL=2(3.1416)(60)(20.45 \times 10^{-3}) = 7.709 \text{ OHMS}$$

LA IMPEDANCIA EN POR UNIDAD ES:

$$R = 0.074/4.761 = 0.016 \text{ PU}$$

$$X = 7.709/4.761 = 1.619 \text{ PU}$$

4.2.10 IMPEDANCIA DEL CONDUCTOR DEL SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR DE LOS HORNOS DE ARCO ELÉCTRICO.

LA IMPEDANCIA DE DISEÑO ES:

$$R = 0.0005 \text{ OHMS}$$

$$X = 0.00325 \text{ OHMS.}$$

PARA CALCULAR SU IMPEDANCIA EN POR UNIDAD UBICuéMONOS EN LA ZONA III, EN DONDE LAS BASES DE POTENCIA, VOLTAJE Y CORRIENTE SON:

$$SB_{III} = 1000 \text{ MVA}$$

$$VB_{III} = 880 \text{ V}$$

$$IBIII = 1000 \times 10^{1.732(880)} = 656.08$$

$$ZBIII = (0.88) \times 10^{2/1} \times 10^{3/1} \times 10^{6/1} = 0.0007744$$

POR LO TANTO:

$$R = 0.0005/0.0007744 = 0.646 \text{ PU}$$

$$X = 0.00325/0.0007744 = 4.197 \text{ PU}$$

4.2.11 IMPEDANCIA DEL CONDUCTOR DEL SECUNDARIO DEL TRANSFORMADOR DE LOS HORNOS DE OLLA.

LA IMPEDANCIA DE DISEÑO ES:

$$R = 0.0005 \text{ OHMS}$$

$$X = 0.00325 \text{ OHMS}$$

PARA CALCULAR SU IMPEDANCIA EN POR UNIDAD, PRIMERO DEBE CALCULARSE LA BASE DE IMPEDANCIA.

$$SBIV = 1000 \text{ MVA}$$

$$VBIV = 390 \text{ V}$$

$$ZBIV = (0.390) \times 10^{2/1} \times 10^{3/1} \times 10^{6/1} = 0.0001521$$

POR LO TANTO:

$$R = 0.0005/0.0001521 = 2.830 \text{ PU}$$

$$X = 0.00325/0.0001521 = 16.765 \text{ PU}$$

DESPUÉS DE HABER CALCULADO TODOS LOS VALORES DE IMPEDANCIA EN POR UNIDAD, SE CONSTRUYE EL CIRCUITO EQUIVALENTE DEL SISTEMA, EL CUAL SE

MUESTRA EN LA GRÁFICA DE LA SIGUIENTE HOJA, TAMBIÉN PUEDEN VERSE LOS PUNTOS MAS IMPORTANTES EN DONDE HAN DE CALCULARSE LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUÍTO.

4.2.12 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUÍTO PARA EL BUS DE 230 KV, A LA ENTRADA DE C.F.E. (PUNTO DE FALLA # 1)

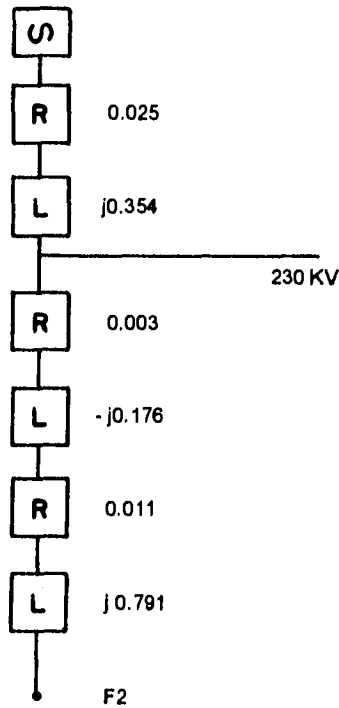
$IF1 = 2819/1.732(230) = 7.40 \text{ KA}$ VALOR MÁXIMO.

$IF2 = 2086/1.732(230) = 5.47 \text{ KA}$VALOR MÍNIMO

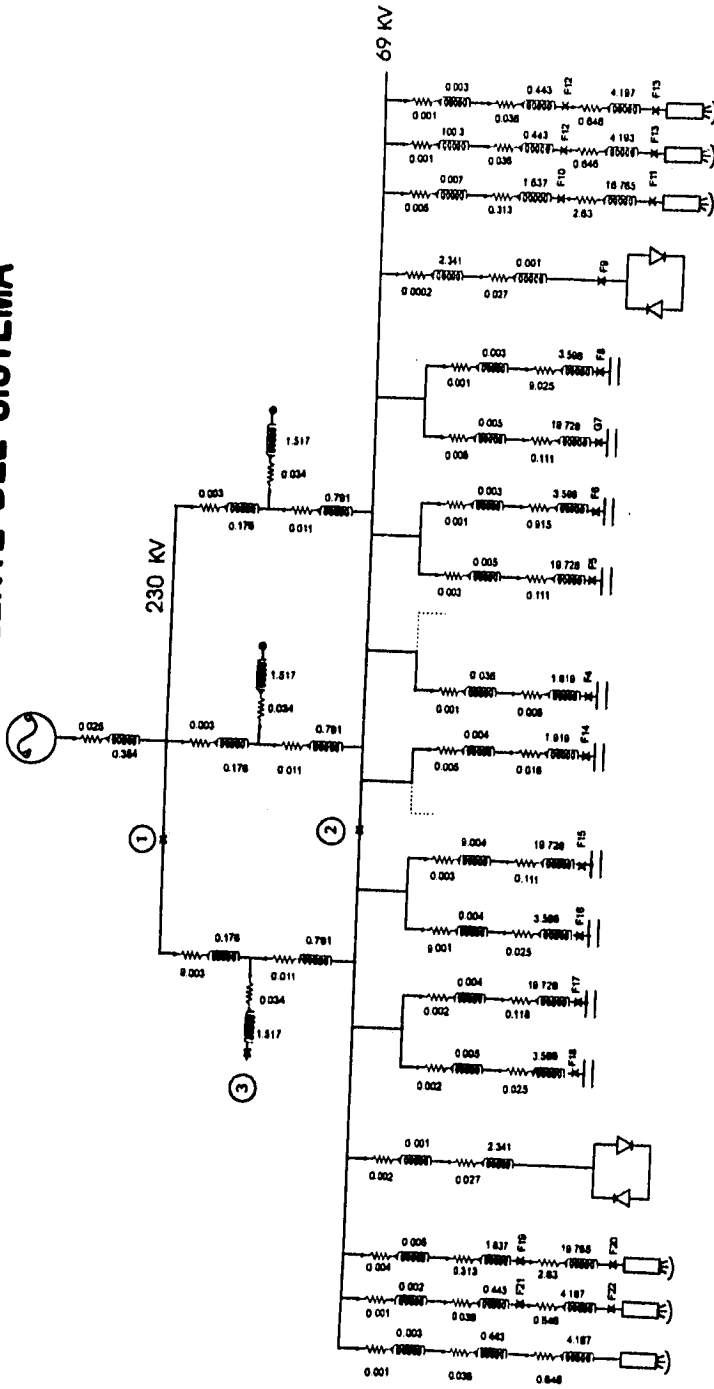
4.2.13 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUÍTO EN EL BUS DE 69 KV (PUNTO DE FALLA # 2).

a) CONSIDERANDO QUE EL TRANSFORMADOR 2 OPERA EN FORMA INDIVIDUAL.

---Y TRABAJA CON POTENCIA MÁXIMA A LA ENTRADA---



CIRCUITO EQUIVALENTE DEL SISTEMA



CIRCUITO EQUIVALENTE DEL SISTEMA, EN POR UNIDAD

$$Z = (0.025 + j0.354) + (0.003 - j0.176) + (0.011 + j0.791)$$

$$Z = 0.039 + j0.969$$

$$Z = 0.970 \text{ PU}$$

$$IF2 = 1000/0.970(1.732)(69) = 8.63 \text{ KA}$$

ESTE ES EL VALOR MÁXIMO DE LA CORRIENTE.

---EL TRANSFORMADOR MANEJA POTENCIA MÍNIMA A LA ENTRADA---

$$Z = (0.032 + j0.478) + (0.003 - j0.176) + (0.011 + j0.791)$$

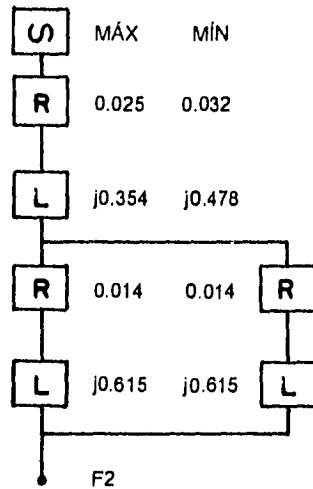
$$Z = 0.046 + j1.093$$

$$Z = 1.094 \text{ PU}$$

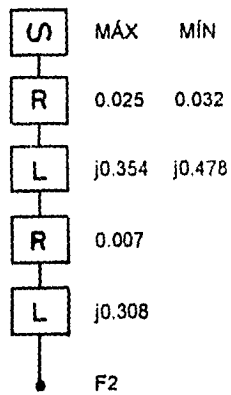
$$IF2 = 1000/1.094(1.732)(69) = 7.65 \text{ KA}$$

ESTE ES EL VALOR MÍNIMO DE LA CORRIENTE

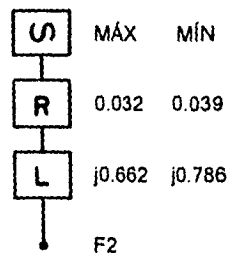
b) CONSIDERANDO QUE LOS TRANSFORMADORES 1 Y 2 OPERAN EN PARALELO.



REDUCIENDO EL CIRCUÍTO:



REDUCIENDO EL CIRCUÍTO:



----CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA A LA ENTRADA----

$$Z = 0.032 + j0.662 = 0.663 \text{ PU}$$

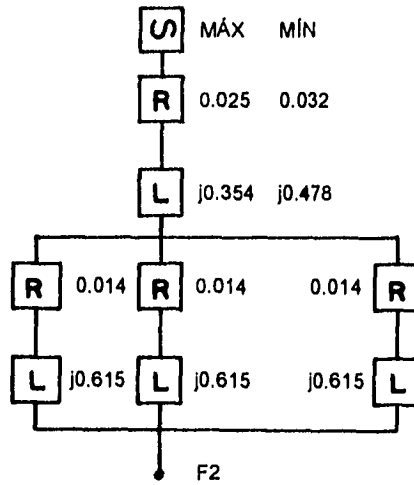
$$IF2 = 1000 / (0.663)(1.732)(69) = 12.62 \text{ KA}$$

----CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA A LA ENTRADA----

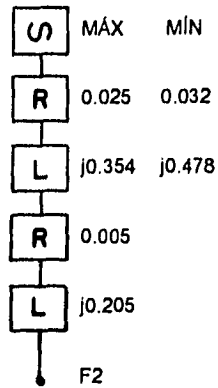
$$Z = 0.039 + j0.786 = 0.787 \text{ PU}$$

$$IF2 = 1000 / (0.787)(1.732)(69) = 10.63 \text{ KA}$$

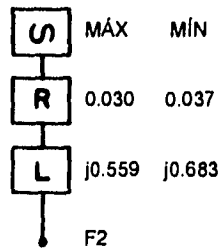
c) CONSIDERANDO QUE LOS TRES TRANSFORMADORES OPERAN EN PALALELO.



REDUCIENDO EL CIRCUITO:



REDUCIENDO EL CIRCUITO:



----CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA A LA ENTRADA----

$$Z = 0.030 + j0.559 = 0.560 \text{ PU}$$

$$I = 1000 / (0.560)(1.732)(69) = 14.94 \text{ KA}$$

----CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA A LA ENTRADA----

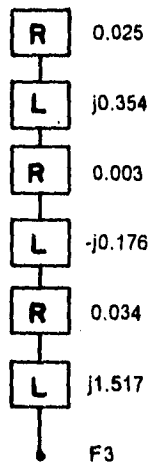
$$Z = 0.037 + j0.683 = 0.684 \text{ PU}$$

$$I = 1000 / (0.684)(1.732)(69) = 12.23 \text{ KA}$$

4.2.14 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL TERCIARIO DEL TRANSFORMADOR # 1 (PUNTO DE FALLA # 3).

a) CONSIDERANDO QUE OPERA INDIVIDUALMENTE

----CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA A LA ENTRADA----



$$Z = (0.025 + j0.354) + (0.003 - j0.176) + (0.034 + j1.517)$$

$$Z = 0.062 + j1.695$$

$$Z = 1.696 \text{ PU}$$

$$I = 1000 / (1.696)(1.732)(34.5) = 9.87 \text{ KA}$$

---CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA A LA ENTRADA---

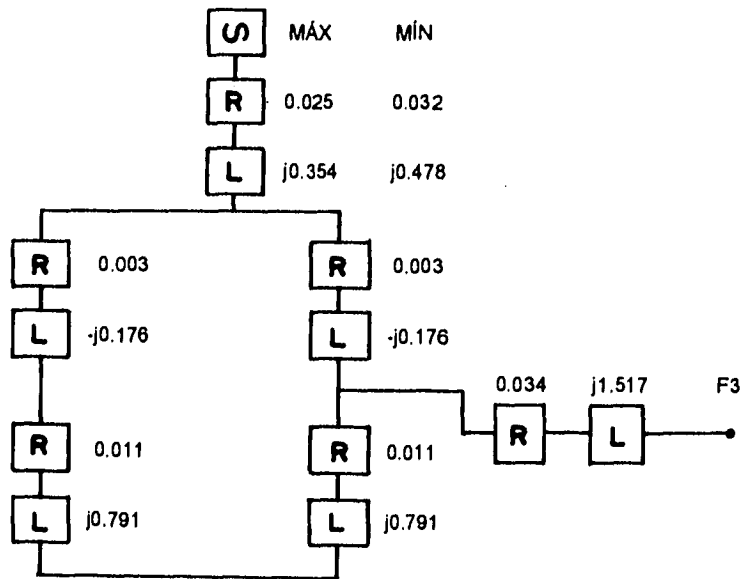
$$Z = (0.032 + j0.478) + (0.003 - j0.176) + (0.034 + j1.517)$$

$$Z = 0.069 + j1.819$$

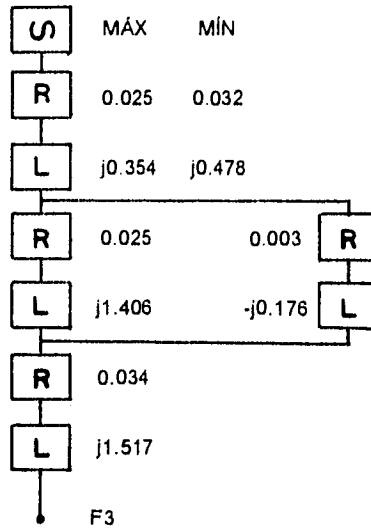
$$Z = 1.820 \text{ PU}$$

$$I = 1000 / (1.820)(1.732)(34.5) = 9.19 \text{ KA}$$

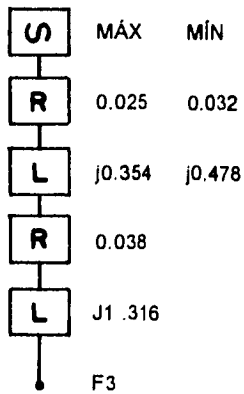
b) CONSIDERANDO QUE LOS TRANSFORMADORES 1 Y 2 OPERAN EN PARALELO.



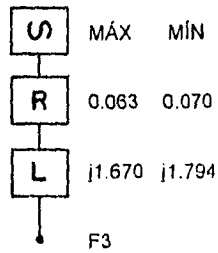
REDUCIENDO EL CIRCUITO:



REDUCIENDO EL CIRCUITO:



REDUCIENDO EL CIRCUITO:



----CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA A LA ENTRADA----

$$Z = 0.063 + j1.670 = 1.671 \text{ PU}$$

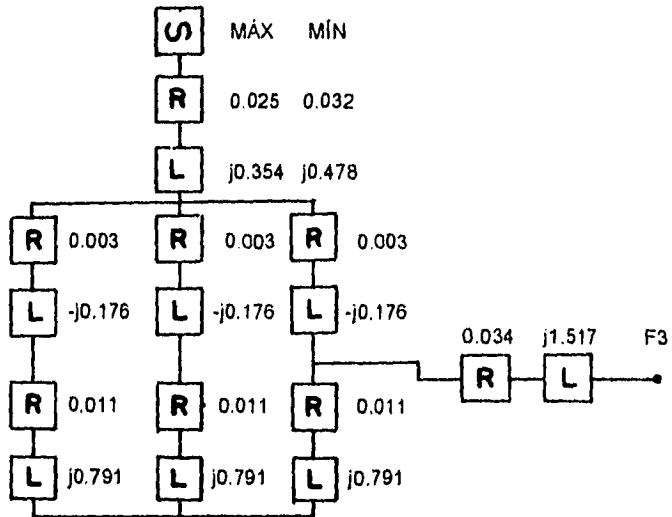
$$I = 1000 / 1.671 (1.732) (34.5) = 10.01 \text{ KA}$$

----CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA A LA ENTRADA----

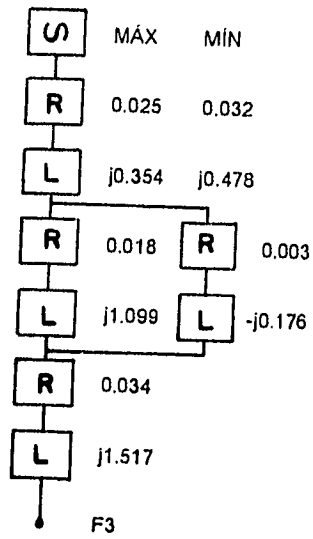
$$Z = 0.070 + j1.794 = 1.795 \text{ PU}$$

$$I = 1000 / 1.795 (1.732) (34.5) = 9.32 \text{ KA}$$

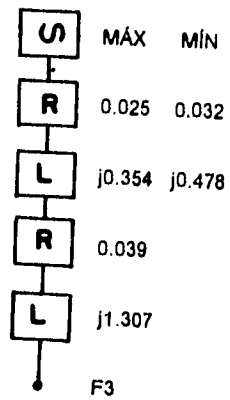
c) CONSIDERANDO QUE LOS TRES TRANSFORMADORES OPERAN EN PARALELO.



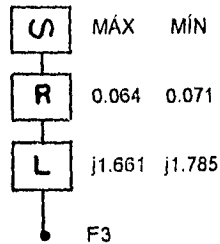
REDUCIENDO EL CIRCUITO:



REDUCIENDO EL CIRCUITO:



REDUCIENDO EL CIRCUITO:



----CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA DE ENTRADA---

$$Z = 0.064 + j1.661 = 1.662 \text{ PU}$$

$$I = 1000/1.662(1.732)(34.5) = 10.07 \text{ KA}$$

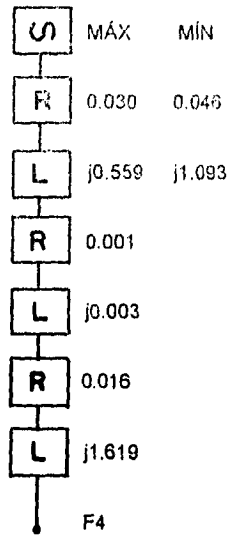
----CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA DE ENTRADA----

$$Z = 0.071 + j1.785 = 1.786 \text{ PU}$$

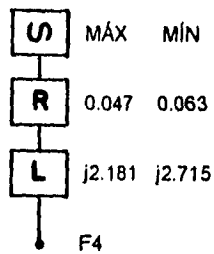
$$I = 1000/1.786(1.732)(34.5) = 9.37 \text{ KA}$$

TOMANDO EN CUENTA TODOS LOS VALORES DE CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO CALCULADOS SOBRE EL BUS DE 69 KV, SE TIENE EL VALOR MÁXIMO (14.94 KA) PARA CUANDO LOS TRES TRANSFORMADORES OPERAN EN PARALELO. LA IMPEDANCIA EQUIVALENTE ENTRE LA ACOMETIDA Y EL BUS ES $Z=0.030 + j0.559=0.560$ PU. DE IGUAL FORMA, EL VALOR MÍNIMO DE CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO (7.65 KA) SE DA CUANDO UN TRANSFORMADOR TRABAJA EN FORMA INDIVIDUAL A LA MÍNIMA POTENCIA DE ENTRADA, LA IMPEDANCIA EQUIVALENTE ES $Z=0.046 + j1.093=1.094$ PU. ESTOS DOS VALORES DE IMPEDANCIA SERÁN LOS QUE SE USEN EN LOS CÁLCULOS POSTERIORES.

4.2.15 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL FILTRO DE LA CUARTA ARMÓNICA. (PUNTO DE FALLA # 4)



REDUCIENDO EL CIRCUITO:



----CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN----

$$Z = 0.047 + j2.181 = 2.182 \text{ PU}$$

$$I = 1000/2.182(1.732)(69) = 3.83 \text{ KA}$$

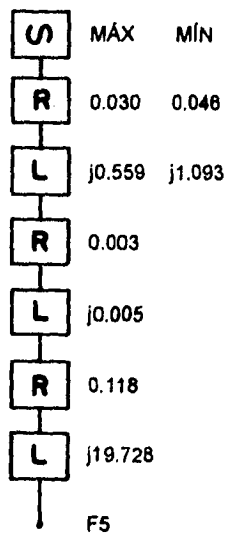
----CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN----

$$Z = 0.063 + j2.715 = 2.716 \text{ PU}$$

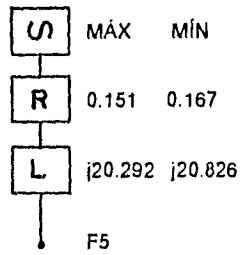
$$I = 1000/2.716(1.732)(69) = 3.08 \text{ KA}$$

4.2.16 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL FILTRO DE LA SEGUNDA ARMÓNICA. (PUNTO DE FALLA # 5)

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



REDUCIENDO EL CIRCUITO:



---CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN---

$$Z = 0.151 + j20.292 = 20.293 \text{ PU}$$

$$I = 1000/20.293(1.732)(69) = 0.413 \text{ KA}$$

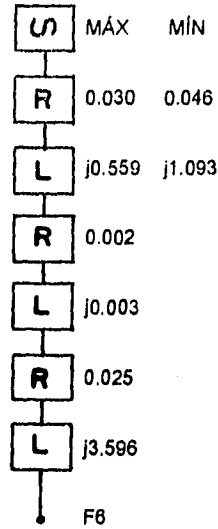
---CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN---

$$Z = 0.167 + j20.826 = 20.827 \text{ PU}$$

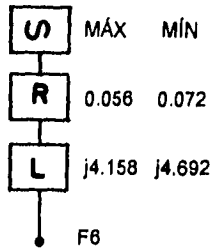
$$I = 1000/20.827(1.732)(69) = 0.402 \text{ KA}$$

4.2.17 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL FILTRO DE LA TERCERA ARMÓNICA. (PUNTO DE FALLA # 6).

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



REDUCIENDO EL CIRCUITO:



---- CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN----

$$Z = 0.056 + j4.158 = 4.158 \text{ PU}$$

$$I = 1000/4.158(1.732)(69) = 2.02 \text{ KA}$$

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

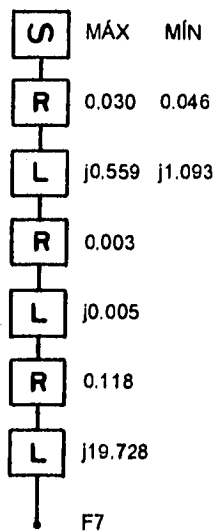
---CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN---

$$Z = 0.072 + j4.692 = 4.693 \text{ PU}$$

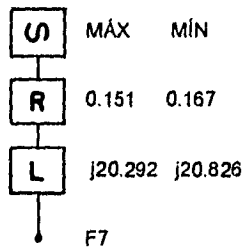
$$I = 1000/4.693(1.732)(69) = 1.78 \text{ KA}$$

4.2.18 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL FILTRO DE LA SEGUNDA ARMÓNICA. (PUNTO DE FALLA # 7)

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



REDUCIENDO EL CIRCUITO:



----CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN----

$$Z = 0.151 + j20.292 = 20.293 \text{ PU}$$

$$I = 1000/20.293(1.732)(69) = 0.413 \text{ KA}$$

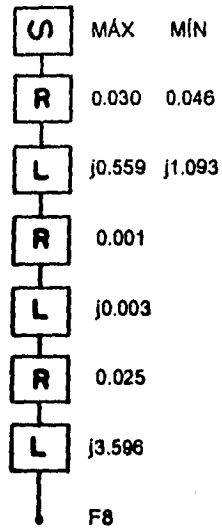
----CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN----

$$Z = 0.167 + j20.826 = 20.827 \text{ PU}$$

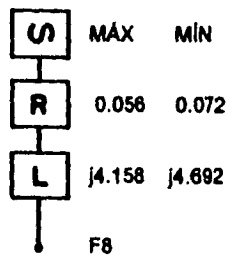
$$I = 1000/20.827(1.732)(69) = 0.402 \text{ KA}$$

4.2.19 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO F8

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



REDUCIENDO EL CIRCUITO:



---CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN---

$$Z = 0.056 + j4.158 = 4.158 \text{ PU}$$

$$I = 1000 / 4.158(1.732)(69) = 2.02 \text{ KA}$$

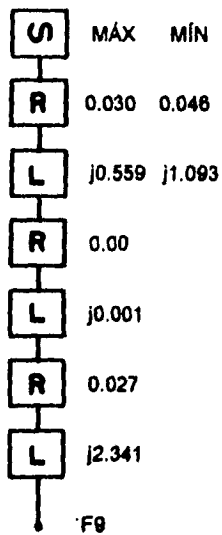
---CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN---

$$Z = 0.072 + j4.692 = 4.693 \text{ PU}$$

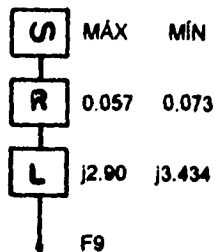
$$I = 1000/4.693(1.732)(69) = 1.78 \text{ KA}$$

4.2.20 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO F9.

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



REDUCIENDO EL CIRCUITO:



---CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN---

$$Z = 0.057 + j2.90 = 2.901 \text{ PU}$$

$$I = 1000/2.901(1.732)(69) = 2.89 \text{ KA}$$

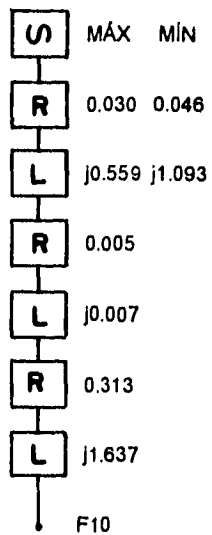
---CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN---

$$Z = 0.073 + j3.4 = 3.435 \text{ PU}$$

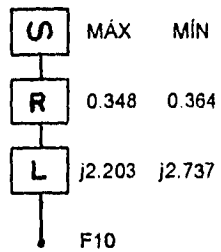
$$I = 1000/3.435(1.732)(69) = 2.43 \text{ KA}$$

4.2.21 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO F10.

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



SIMPLIFICANDO EL CIRCUITO:



---CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN---

$$Z = 0.348 + j2.203 = 2.230 \text{ PU}$$

$$I = 1000/2.23(1.732)(89) = 3.75 \text{ KA}$$

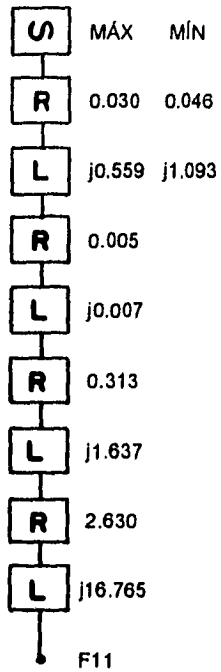
---CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN---

$$Z = 0.364 + j2.737 = 2.761 \text{ PU}$$

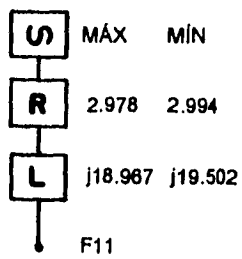
$$I = 1000/2.761(1.732)(89) = 3.03 \text{ KA}$$

4.2.22 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO F11.

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



SIMPLIFICANDO EL CIRCUITO:



----CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN----

$$Z = 2.978 + j18.968 = 19.20 \text{ PU}$$

$$I = 1000/19.20(1.732)(69) = 0.436 \text{ KA}$$

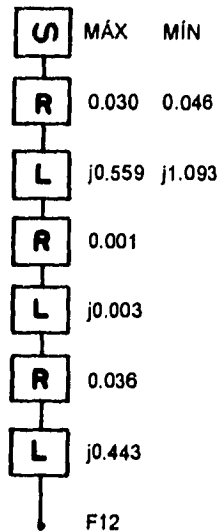
----CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN----

$$Z = 2.994 + j19.502 = 19.73 \text{ PU}$$

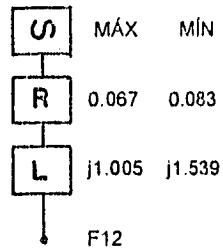
$$I = 1000/19.73(1.732)(69) = 0.424 \text{ KA}$$

4.2.23 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO F12.

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



SIMPLIFICANDO EL CIRCUITO:



---CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN---

$$Z = 0.067 + j1.005 = 1.007 \text{ PU}$$

$$I = 1000/1.007Z(1.732)(69) = 8.31 \text{ KA}$$

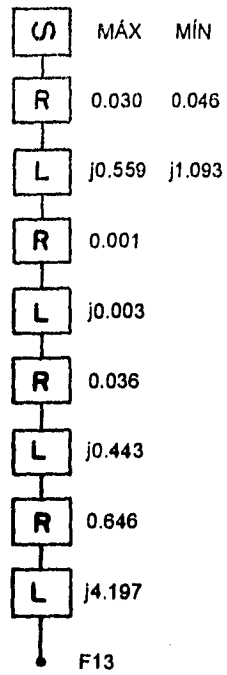
---CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN---

$$Z = 0.083 + j1.539 = 1.541 \text{ PU}$$

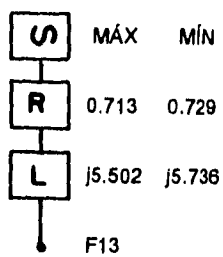
$$I = 1000/1.541(1.732)(69) = 5.43 \text{ KA}$$

4.2.24 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO F13.

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



SIMPLIFICANDO EL CIRCUITO:



---CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN---

$$Z = 0.713 + j5.502 = 5.251 \text{ PU}$$

$$I = 1000/5.251(1.732)(69) = 1.59 \text{ KA}$$

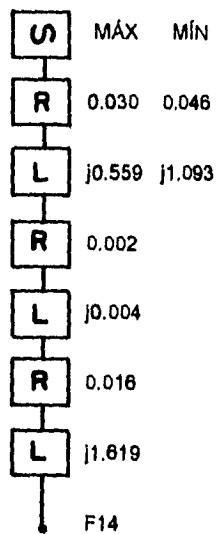
---CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN---

$$Z = 0.729 + j5.736 = 5.782 \text{ PU}$$

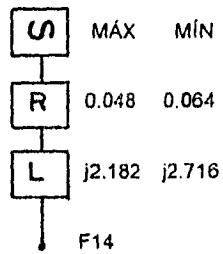
$$I = 1000/5.782(1.732)(69) = 1.45 \text{ KA}$$

4.2.25 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO F14.

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



SIMPLIFICANDO EL CIRCUITO:



----CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN----

$$Z = 0.048 + j2.182 = 2.183 \text{ PU}$$

$$I = 1000 / 2.183(1.732)(69) = 3.83 \text{ KA}$$

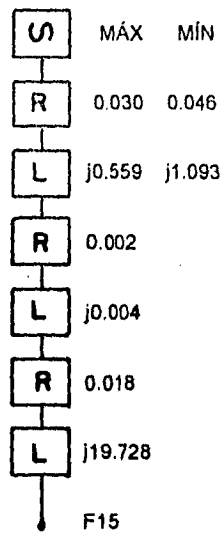
----CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN----

$$Z = 0.064 + j2.716 = 2.717 \text{ PU}$$

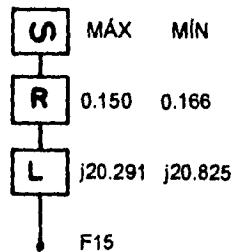
$$I = 1000 / 2.717(1.732)(69) = 3.08 \text{ KA}$$

4.2.26 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO F15.

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



SIMPLIFICANDO EL CIRCUITO:



----CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA EN LA RECEPCIÓN----

$$Z = 0.150 + j20.291 = 20.292 \text{ PU}$$

$$I = 1000/20.292(1.732)(69) = 0.413 \text{ KA}$$

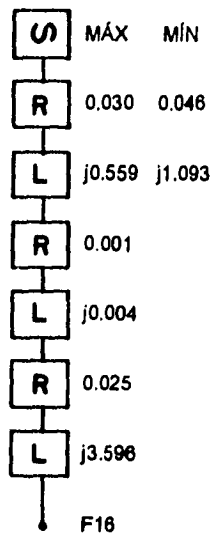
----CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA EN LA RECEPCIÓN----

$$Z = 0.166 + j20.825 = 20.826 \text{ PU}$$

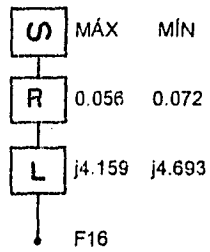
$$I = 1000/20.826(1.732)(69) = 0.402 \text{ KA}$$

4.2.27 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO F16.

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



SIMPLIFICANDO EL CIRCUITO:



----CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA EN LA RECEPCIÓN----

$$Z = 0.056 + j4.159 = 4.159 \text{ PU}$$

$$I = 1000/4.159(1.732)(69) = 2.01 \text{ KA}$$

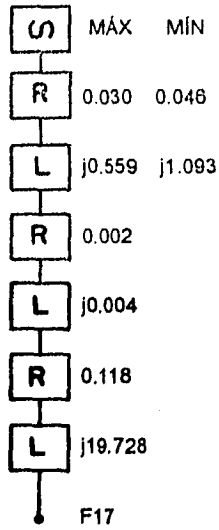
----CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA EN LA RECEPCIÓN----

$$Z = 0.072 + j4.693 = 4.694 \text{ PU}$$

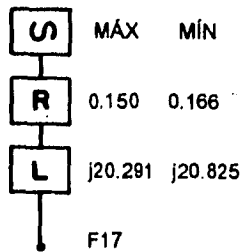
$$I = 1000/4.694(1.732)(69) = 1.78 \text{ KA}$$

4.2.28 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO F17.

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



SIMPLIFICANDO EL CIRCUITO:



----CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA EN LA RECEPCIÓN----

$$Z = 0.150 + j20.291 = 20.292 \text{ PU}$$

$$I = 1000/20.292(1.732)(69) = 0.413 \text{ KA}$$

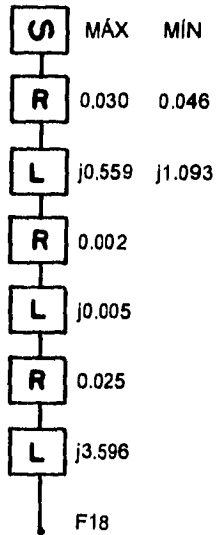
----CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA EN LA RECEPCIÓN----

$$Z = 0.166 + j20.825 = 20.826 \text{ PU}$$

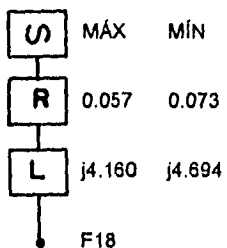
$$I = 1000/20.826(1.732)(69) = 0.402 \text{ KA}$$

4.2.29 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTOCIRCUITO EN EL PUNTO F18.

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



SIMPLIFICANDO EL CIRCUITO:



---CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA EN LA RECEPCIÓN---

$$Z = 0.057 + j4.160 = 4.160 \text{ PU}$$

$$I = 1000/4.160(1.732)(69) = 2.01 \text{ KA}$$

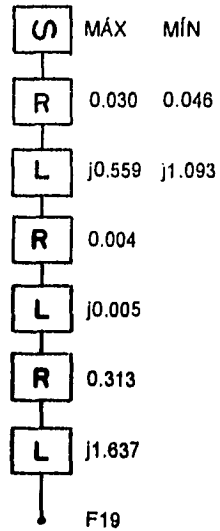
---CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA EN LA RECEPCIÓN---

$$Z = 0.073 + j4.694 = 4.695 \text{ PU}$$

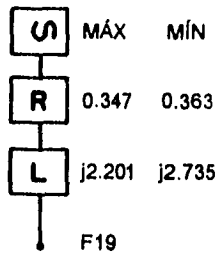
$$I = 1000/4.695(1.732)(69) = 1.78 \text{ KA}$$

4.2.30 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO F19.

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



SIMPLIFICANDO EL CIRCUITO:



----CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA EN LA RECEPCIÓN----

$$Z = 0.347 + j2.201 = 2.228 \text{ PU}$$

$$I = 1000/2.228(1.732)(69) = 3.76 \text{ KA}$$

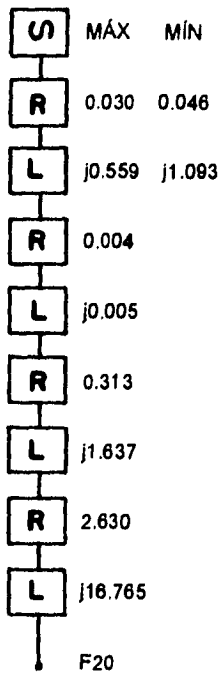
----CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA EN LA RECEPCIÓN----

$$Z = 0.363 + j2.735 = 2.759 \text{ PU}$$

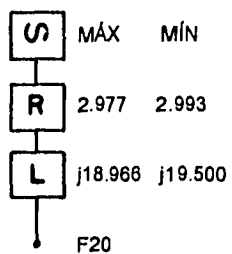
$$I = 1000/2.759(1.732)(69) = 3.03 \text{ KA}$$

4.2.31 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO F20.

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



SIMPLIFICANDO EL CIRCUITO:



----CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN---

$$Z = 2.977 + j18.966 = 19.198 \text{ PU}$$

$$I = 1000/19.198 \text{ KA}$$

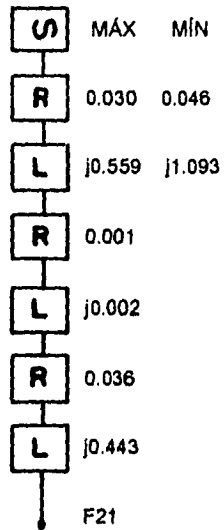
----CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA DE RECEPCIÓN----

$$Z = 2.993 + j19.500 = 19.719 \text{ PU}$$

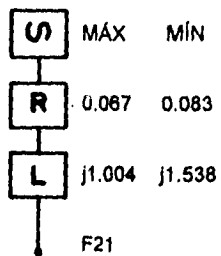
$$I = 1000/19.719(1.732)(69) = 0.424 \text{ KA}$$

4.2.32 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO F21.

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



SIMPLIFICANDO EL CIRCUITO:



----CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA EN LA RECEPCIÓN----

$$Z = 0.067 + j1.004 = 1.006 \text{ PU}$$

$$I = 1000/1.006(1.732)(69) = 8.32 \text{ KA}$$

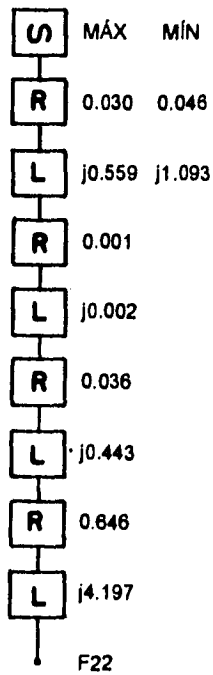
----CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA EN LA RECEPCIÓN----

$$Z = 0.083 + j1.538 = 1.540 \text{ PU}$$

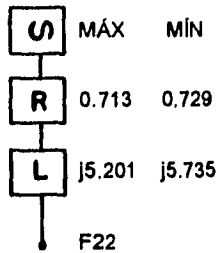
$$I = 1000/1.540(1.732)(69) = 5.43 \text{ KA}$$

4.2.33 CÁLCULO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO F22.

EL CIRCUITO EQUIVALENTE ES:



SIMPLIFICANDO EL CIRCUITO:



---CONSIDERANDO MÁXIMA POTENCIA EN LA RECEPCIÓN---

$$Z = 0.713 + j5.201 = 5.250 \text{ PU}$$

$$I = 1000/5.250(1.732)(69) = 1.59 \text{ KA}$$

---CONSIDERANDO MÍNIMA POTENCIA EN LA RECEPCIÓN---

$$Z = 0.729 + j5.735 = 5.781 \text{ PU}$$

$$Y = 1000/5.781(1.732)(69) = 1.45 \text{ KA}$$

SE HA CALCULADO LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO PARA LOS 22 PUNTOS MAS IMPORTANTES DEL SISTEMA, VEAMOS SU TABULACIÓN EN EL CUADRO -RESUMEN DE LA SIGUIENTE HOJA:

	UBICACIÓN	PUNTO DE FALLA		CORRIENTE DE CORTO CIRC. (KA)
BUS	ACOMETIDA DE 230 KV TRANSF. DE BAJA OPERADO INDIVIDUALMENTE.	MÁX	F1	7.400
		MÍN		5.470
DE	DOS TRANSF. TRABAJANDO EN PARALELO	MÁX	F2	8.630
		MÍN		7.650
69	3 TRANSF. OPERANDO EN PARALELO	MÁX	F2	14.940
		MÍN		12.230
TER CIA RIO	TERCIARIO OPERANDO INDIVIDUALMENTE LOS TRANS. 1 Y 2 OPERANDO EN PARALELO	MÁX	F3	9.870
		MÍN		9.190
DEL T1	LOS 3 TRASF. OPERANDO EN PARALELO	MÁX	F3	10.010
		MÍN		9.320
CIR	FILTRO DE LA CUERTA ARMÓNICA	MÁX	F4	3.830
		MÍN		3.080
CUI	FILTRO DE LA SEGUNDA ARMÓNICA	MÁX	F5	0.413
		MÍN		0.402
TO	FILTRO DE LA TERCERA ARMÓNICA	MÁX	F6	2.020
		MÍN		1.780
ALI	FILTRO DE LA SEGUNDA ARMÓNICA	MÁX	F7	0.413
		MÍN		0.402
MEN	FILTRO DE LA TERCERA ARMÓNICA	MÁX	F8	2.020
		MÍN		1.780
TA	TIRISTOR 1 O 2	MÁX	F9	2.890
		MÍN		2.430
DOR	HORNO DE OLLA	MÁX	F10	3.750
		MÍN		3.030
DE	NÚMERO 1 ORNO DE ARCO	MÁX	F11	0.436
		MÍN		0.424
69	HORNO DE ARCO NÚMERO 1	MÁX	F12	8.310
		MÍN		5.430
69	HORNO DE ARCO NÚMERO 2	MÁX	F 13	1.590
		MÍN		1.450
69	FILTRO DE LA CUARTA ARMÓNICA	MÁX	F14	3.830
		MÍN		3.080
69	FILTRO DE LA SEGUNDA ARMÓNICA	MÁX	F15	0.413
		MÍN		0.402
69	FILTRO DE LA TERCERA ARMÓNICA	MÁX	F16	2.010
		MÍN		1.780
69	FILTRO DE LA SEGUNDA ARMÓNICA	MÁX	F17	0.413
		MÍN		0.402
69	FILTRO DE LA TERCERA ARMÓNICA	MÁX	F18	2.010
		MÍN		1.780
KV	HORNO DE OLLA	MÁX	F19	3.760
		MÍN		3.030
KV	NÚMERO 2 HORNO DE	MÁX	F20	0.436
		MÍN		0.424
KV	ARCO NÚMERO 3	MÁX	F21	8.320
		MÍN		5.430
KV	HORNO DE ARCO	MÁX	F22	1.590
		MÍN		1.450
KV	NÚMERO 4 HORNO DE	MÁX		1.590
		MÍN		1.450

COMO PUEDE OBSERVARSE, EN EL CONCENTRADO DE RESULTADOS, EL PUNTO F2 ES DONDE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO ADQUIERE LA MAGNITUD MAS SIGNIFICATIVA, Y OCURRE PARA CUANDO LOS TRES TRANSFORMADORES OPERAN EN PARALELO. POR EL CONTRARIO, LOS PUNTOS DONDE SE TIENE CORRIENTE MÍNIMA DE CORTO CIRCUITO SON EL F7, EL F15 Y EL F17.

4.3 APLICACIONES DEL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO.

4.3.1 TEORÍA GENERAL

EL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO ES LA BASE PARA LA SELECCIÓN APROPIADA DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DEL SISTEMA, INCLUYENDO LA ACTIVACIÓN DE LOS MISMOS.

UN DISPOSITIVO DE PROTECCIÓN ES UN DISPOSITIVO ELÉCTRICO QUE SE INSTALA EN UN PUNTO ESTRATÉGICO DEL SISTEMA PARA PROTEGERLO CONTRA UNA SOBRECARGA O UN CORTO CIRCUITO. ESTE ELEMENTO OPERA AUTOMÁTICAMENTE ABRIENDO EL CIRCUITO CUANDO LA CORRIENTE EXCEDE UN CIERTO LÍMITE.

LOS DISPOSITIVOS PRINCIPALES DE PROTECCIÓN SON LOS INTERRUPTORES Y LOS FUSIBLES, LOS PRIMEROS PROTEGEN AL CIRCUITO AUTOMÁTICAMENTE POR MEDIO DE RELEVADORES QUE DETECTAN LOS NIVELES ALTOS DE CORRIENTE Y HACEN QUE EL INTERRUPTOR SE ACTIVE. LOS FUSIBLES DETECTAN LA CORRIENTE ANORMAL Y ABREN EL CIRCUITO AL FUNDIRSE.

LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA ES LA CORRIENTE MÁXIMA DE CORTO CIRCUITO QUE UN SISTEMA DE ALIMENTACIÓN HACE FLUIR A TRAVÉS DE UN INTERRUPTOR AL OCURRIR UNA FALLA DE CORTO CIRCUITO. LOS DEMÁS ELEMENTOS QUE FORMAN EL SISTEMA ELÉCTRICO: CABLES, BARRAS CONDUCTORAS Y DISPOSITIVOS DE DESCONEXIÓN DEBEN RESISTIR LOS ESFUERZOS MECÁNICOS OCASIONADOS POR LAS ELEVADAS CORRIENTES.

LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A LA MAGNITUD DEL SISTEMA DE POTENCIA QUE ALIMENTA A LA CARGA. NORMALMENTE UNA CARGA CONSUME UNA CORRIENTE CUYA MAGNITUD ESTA EN FUNCIÓN DEL VOLTAJE APLICADO Y SU IMPEDANCIA INTERNA. AL OCURRIR UN CORTO CIRCUITO, EL VOLTAJE SE APLICA SOLO A TRAVÉS DE LA BAJA IMPEDANCIA DEL TRANSFORMADOR Y DE LOS CONDUCTORES, DESDE LA FUENTE DE VOLTAJE HASTA EL PUNTO DE FALLA Y YA NO SE LE OPONE LA IMPEDANCIA DE LA CARGA.

LOS INTERRUPTORES DEBEN CONducIR LA CORRIENTE NORMAL QUE CONSUME LA CARGA Y DEBEN INTERRUPTIR LAS CORRIENTES ELEVADAS DE CORTO CIRCUITO.

LAS CORRIENTES NORMALES ESTÁN EN FUNCIÓN DE LA CARGA Y NO DEPENDEN DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA, SIN EMBARGO, LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO SÍ DEPENDEN DE LA CAPACIDAD DEL SISTEMA Y SON INDEPENDIENTES DE LA CARGA NORMAL.

LOS DISPOSITIVOS SELECCIONADOS PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEBEN RESISTIR E INTERRUMPIR CON SEGURIDAD LA CORRIENTE MÁXIMA DE CORTO CIRCUITO QUE GENERA EL SISTEMA SIN QUE SE DAÑEN O DESTRUYAN PARA EVITAR LA POSIBLE PROPAGACIÓN DE LOS EFECTOS TÉRMICOS Y MECÁNICOS.

LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DEBE SER CAPAZ DE ASEGURAR EL AISLAMIENTO EFECTIVO DE LAS SECCIONES DAÑADAS DEL SISTEMA, PERMITIENDO QUE EL RESTO OPERE NORMALMENTE.

EL AISLAMIENTO DE LA FALLA, MEDIANTE LA OPERACIÓN DE LOS INTERRUPTORES CERCANOS A LA MISMA, SE VERIFICA SEGURAMENTE SI SE HA REALIZADO UN ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO, UN ESTUDIO DETALLADO DE LAS CARACTERÍSTICAS DE TIEMPO Y CORRIENTE DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN Y SI SE SELECCIONA LA CAPACIDAD ADECUADA PARA RESISTIR LAS ELEVADAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO. ESTO PUEDE RESUMIRSE Y ENLISTARSE DE LA SIGUIENTE MANERA:

1.- DETERMINACIÓN EXACTA DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO QUE PUDIERA PRESENTARSE EN UN PUNTO SELECCIONADO PARA ELEGIR CON MINUCIOSIDAD LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN.

2.- TENER EN CUENTA EL INCREMENTO EN LA CARGA, COMO CONSECUENCIA DE LA AMPLIACIÓN DE LA PLANTA, PARA EVITAR EL REEMPLAZO DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN.

3.- VERIFICACIÓN DE TODOS LOS ESFUERZOS EN LAS BARRAS DE DISTRIBUCIÓN. ESTOS ESFUERZOS SON PROPORCIONALES AL CUADRADO DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO.

4.- SELECCIONAR EL CALIBRE DE LOS CABLES EN FUNCIÓN DE SU CAPACIDAD PARA SOPORTAR EL CALENTAMIENTO EN CASO DE CORTO CIRCUITO.

4.3.2.- LAS FUENTES DE LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO.

LA MAGNITUD DE LAS CORRIENTES DE CORTO CIRCUITO DEPENDEN DE LAS DIVERSAS FUENTES QUE LAS GENERAN, DE SUS REACTANCIAS Y DE LAS REACTANCIAS DEL SISTEMA HASTA EL PUNTO DE FALLA. ESTAS FUENTES SON:

LOS GENERADORES
LOS MOTORES SÍNCRONOS
LOS MOTORES DE INDUCCIÓN

PARA EL SISTEMA ELÉCTRICO QUE NOS OCUPA, SOLAMENTE EL SISTEMA DE SUMINISTRO SERÁ LA FUENTE GENERADORA DE CORRIENTE, ES DECIR, LA COMISIÓN FEDERAL DE ELECTRICIDAD.

LA COMISIÓN FEDERAL PROPORCIONA LA ENERGÍA ELÉCTRICA POR MEDIO DE TRES TRANSFORMADORES REDUCTORES DE 130 MVA DE POTENCIA, TRABAJANDO EN PARALELO CON UNA RELACIÓN DE VOLTAJE DE 230 KV/69 KV.

LOS TRANSFORMADORES NO SE CONSIDERAN FUENTES DE CORTO CIRCUITO PORQUE ELLOS CAMBIAN LAS RELACIONES DE CORRIENTE Y VOLTAJE PERO NO LOS GENERAN. LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO QUE PROPORCIONA UN TRANSFORMADOR DEPENDE DE LA RELACIÓN DE VOLTAJE NOMINAL Y DE SU PORCENTAJE DE REACTANCIA, PERO ESTO ÚLTIMO ES UNA MEDIDA PORCENTUAL DE VOLTAJE, NO UNA IMPEDANCIA.

4.3.3.- ELEMENTOS QUE LIMITAN LA CORRIENTE

CUANDO OCURRE UN CORTO CIRCUITO, LAS IMPEDANCIAS DE LOS TRANSFORMADORES, LOS REACTORES, LOS CABLES, LAS BARRAS CONDUCTORAS, LOS FUSIBLES Y CUALESQUIERA OTRA IMPEDANCIA, LIMITA LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE. DEBIDO A SU REACTANCIA, LOS TRANSFORMADORES REDUCEN LA CORRIENTE PRODUCIDA POR LAS FUENTES A LAS CUALES ESTÁN CONECTADOS.

LOS REACTORES ACTÚAN COMO LIMITADORES DE CORRIENTE DE FALLA POR LA INSERCIÓN DE REACTANCIA AL CIRCUITO. LOS CABLES Y LAS BARRAS

CONDUCTORAS, POR SU IMPEDANCIA NATURAL LIMITAN LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO.

4.3.4.- EL ESFUERZO DE INTERRUPCIÓN

EL ESFUERZO DE INTERRUPCIÓN ES DIRECTAMENTE PROPORCIONAL A LA MAGNITUD DE LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO EN EL MOMENTO EN QUE SE SEPARAN LOS CONTACTOS DEL INTERRUPTOR O EN EL QUE EL FUSIBLE SE FUNDE. EL INTERRUPTOR INTERRUMPE EL FLUJO DE CORRIENTE DESPUÉS DE LOS 3, 5 U 8 PRIMEROS CICLOS

PUEDA HABLARSE DE DOS TIPOS DE CAPACIDADES DE CORRIENTE DE FALLA EN LOS INTERRUPTORES DE POTENCIA:

LA CAPACIDAD MOMENTÁNEA ES LA CAPACIDAD DEL INTERRUPTOR PARA PERMANECER CERRADO Y RESISTIR LOS ESFUERZOS TÉRMICOS DE LA CORRIENTE DE FALLA.

LA CAPACIDAD INTERRUPTIVA ES LA CAPACIDAD QUE POSEE EL INTERRUPTOR PARA INTERRUMPIR EL FLUJO DE CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO MEDIANTE SU ELEMENTO INTERRUPTOR DESPUÉS DE 3, 5 U 8 CICLOS, DE ACUERDO CON LOS TIPO DE INTERRUPTOR.

4.3.5.- SELECCIÓN Y COORDINACIÓN DE DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN

UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA DEBE PROPORCIONAR LA ENERGÍA ELÉCTRICA NECESARIA PARA ACCIONAR EL EQUIPO EN FORMA SEGURA, CONFIABLE Y ECONÓMICA.

EL DISEÑO ADECUADO DE UN SISTEMA ELÉCTRICO DE POTENCIA DEPENDE DE QUE SE SELECCIONEN Y COORDINEN LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN SIN DEJAR DE TOMAR EN CUENTA LAS POLÍTICAS A SEGUIR CON RESPECTO AL SISTEMA Y A LA PLANTA EN PARTICULAR. EL OBJETIVO PRINCIPAL ES AISLAR LA PARTE AFECTADA DEL SISTEMA CON RAPIDEZ MIENTRAS SE MANTIENE EL SERVICIO NORMAL EN EL RESTO DE LAS ÁREAS. SI ESTO SE LLEVA A CABO SE MINIMIZA EL DAÑO OCASIONADO POR

ARQUEO AL EQUIPO DIRECTAMENTE AFECTADO POR LA FALLA. AL MISMO TIEMPO, LAS OTRAS ÁREAS DEL SISTEMA QUE NO ESTÁN DIRECTAMENTE AFECTADAS CONTINÚAN LABORANDO HASTA QUE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ELIMINEN LA FALLA.

PARA LOGRAR UNA BUENA SELECCIÓN Y COORDINACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN ES NECESARIO EFECTUAR LOS AJUSTES DE LOS DISPOSITIVOS EN EL SITIO DE SU INSTALACIÓN DE ACUERDO CON EL ESTUDIO DE COORDINACIÓN SELECTIVA. LA MAYORÍA DE ESTOS ESTUDIOS SE EFECTÚAN POR COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DEL TIEMPO DE OPERACIÓN CONTRA LAS DE CORRIENTE.

LAS CARACTERÍSTICAS Y LOS AJUSTES DE LOS DISPOSITIVOS PROTECTORES CONTRA SOBRECORRIENTE DEBEN SELECCIONARSE DE TAL MANERA QUE SI SE PRESENTA UNA FALLA EN CUALQUIER PUNTO DEL SISTEMA, SE DESCONECTE SOLO EL ELEMENTO DAÑADO DEL CIRCUITO.

ES NECESARIO HACER UN ESTUDIO DE COORDINACIÓN PARA DETERMINAR LAS CARACTERÍSTICAS Y AJUSTES DE LOS DISPOSITIVOS PROTECTORES. EL ESTUDIO DEBE INDICAR CUAL ES LA MEJOR COMBINACIÓN DE PROTECCIÓN, TENIÉNDOSE ASÍ LA SEGURIDAD DE QUE EL PUNTO DE FALLA SERÁ AISLADO Y PROSEGUIRÁ LA CONTINUIDAD EN EL RESTO DEL SISTEMA. POR EJEMPLO, EL DISPOSITIVO MAS CERCANO A LA FALLA EN EL LADO DE LA FUENTE DEBE OPERAR PRIMERO. SI ESTE DISPOSITIVO NO FUNCIONA, EL SIGUIENTE EN LA CADENA HACIA LA FUENTE DE POTENCIA DEBE ACTUAR Y ABRIR EL CIRCUITO..

A CONTINUACIÓN SE DESARROLLARÁ EL PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LAS CURVAS DE LOS RELEVADORES DE PROTECCIÓN TOMANDO COMO BASE EL SIGUIENTE DIBUJO, EL CUAL CONSTA DE UNA RAMA DEL CIRCUITO, DESDE LA FUENTE HASTA EL ULTIMO DISPOSITIVO HACIA ABAJO, CONTENIENDO LOS PUNTOS DE FALLA F1, F2 Y F14. EL MISMO PROCEDIMIENTO SE PUEDE EMPLEAR PARA DETERMINAR LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES DE LAS DEMÁS RAMAS DEL CIRCUITO.

PASO I

CÁLCULO DE LA CORRIENTE NOMINAL EN LOS PUNTOS DE FALLA F1, F2 Y F14.

$$I(1) = KVA/KV = 130000KVA/230KV = 565 \text{ A}$$

$$I(2) = 130000/69 = 1,884 \text{ A}$$

$$I(14) = 496 \text{ A (DATO PROPORCIONADO POR LA EMPRESA)}$$

PASO II

LA RELACIÓN DE TRANSFORMACIÓN DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE:

$$TC(1) = 1000/5 = 200$$

$$TC(2) = 2000/5 = 400$$

$$TC(14) = 500/5 = 100$$

PASO III

EL VALOR DE LA CORRIENTE SIMÉTRICA EN EL PUNTO DE FALLA ES:

$$F(1) = 7,400 \text{ A}$$

$$F(2) = 14,940 \text{ A}$$

$$F(14) = 3,830 \text{ A}$$

PASO IV

CON LOS RESULTADOS ANTERIDRES FORMAMOS LA SIGUIENTE TABLA:

PUNTO	In(AMPERES)	REL. DE TRANSF.	Icc(AMPERES)
F1	565	200	7,400
F2	1,884	4000	14,940
F14	496	100	3,830

PASO V

PARA FORMAR LA SIGUIENTE TABLA SE REQUIEREN LOS VALORES DE CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO A LOS DIFERENTES NIVELES DE TENSIÓN, POR MEDIO DE LA SIGUIENTE RELACIÓN:

$$V(\text{PRIM})/V(\text{SEC}) = I(\text{PRIM})/I(\text{SEC})$$

EJEMPLO. PARA REFERIR LA CORRIENTE DE CORTO CIRCUITO DE LA FALLA 1 A 69 KV PROCEDEMOS DE LA SIGUIENTE MANERA:

$$I = (230KV)(7400A)/69KV = 15,870 \text{ A}$$

PARA LA FALLA 2 A 230 KV.

$$I = (89)(14940)/230 = 4,482 \text{ A}$$

PARA LA FALLA 14 A 230 KV.

$$I = (89)(3,830)/230 = 1,149 \text{ A}$$

CON LOS DATOS ANTERIORES FORMAMOS LA SIGUIENTE TABLA:

PUNTO	I(cc) A 230 KV	I(cc) A 69 KV
F1	7,400 A	15,870 A
F2	4,482 A	14,940 A
F14	1,149 A	3,830 A

PARA EL RELEVADOR (A) CALCULAMOS LOS SIGUIENTES PARÁMETROS:

R E L E V A D O R A

PUNTO DE FALLA	<u>I(SEC) DE TC-A</u> I(F) A 230 KV REL. DEL TRASF. DE TC-A	TAP	<u>MÚLTIPLO DEL TAP</u> I(SEC) DEL TC-A TAP	DIAL	TIEMPO DE OPERAC. DEL RELEV
F1	7400/200 = 37	4	37/4 = 9.25	1/2	0.088 SEG
F2	4482/200 = 22.41	4	22.41/4 = 5.60	1/2	1.30 SEG
F14	1149/200 = 5.74	4	5.74/4 = 1.44	1/2	2.0 SEG

PARA EL RELEVADOR (B) CALCULAMOS LOS SIGUIENTES PARÁMETROS:

R E L E V A D O R B

PUNTO DE FALLA	<u>I(SEC) DEL TC-C</u> I(F) A 69 KV REL. DEL TRASF. DEL TC-C	TAP	<u>MÚLTIPLO DEL TAP</u> I(SEC) DEL TC-C TAP	DIAL	TIEMPO DE OPERACIÓN DEL RELEV.
F2	14940/400 = 37.35	4	37.35/4 = 9.34	1/2	0.089 SEG
F4	3830/400 = 9.57	4		1/2	0.55 SEG

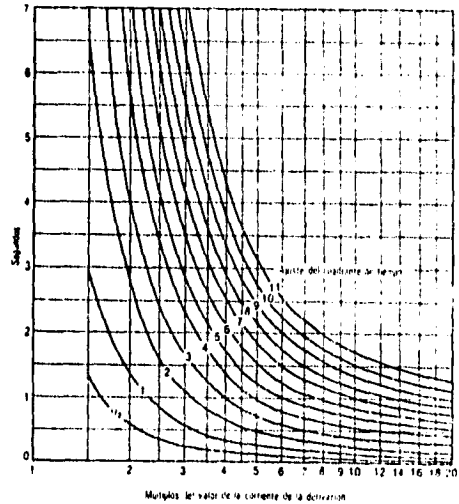
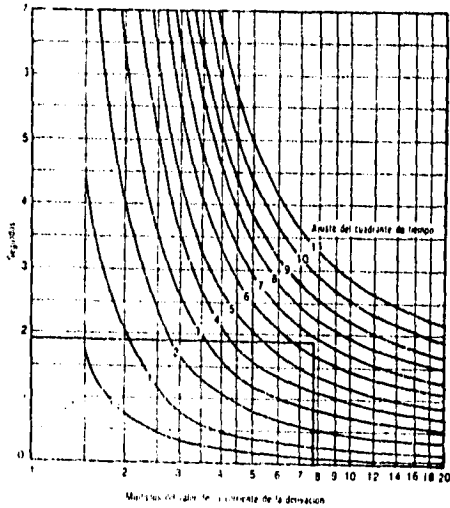
PARA EL RELEVADOR (C) CALCULAMOS LOS SIGUIENTES PARÁMETROS:

R E L E V A D O R C

PUNTO DE FALLA	$I(F)$ A 69 KV REL. DEL TRASF. DEL TC-C	TAP	MÚLTIPLO DEL TAP $I(SEC)$ DEL TC-C TAP	DIAL	TIEMPO DEL OPERACIÓN DEL RELEV
F14	$3830/100 = 38.30$	4	$38.30/4 = 9.57$	1/2	0.087 SEG

DE LAS TABLAS OBTENIDAS SE OBSERVA QUE PARA UNA FALLA DE CORTO CIRCUITO EN EL PUNTO 14 LOS TIEMPOS DE OPERACIÓN DE LOS RELEVADORES SON MUY IRREGULARES. CON EL FIN DE OBTENER UNA ADECUADA SELECTIVIDAD ES CONVENIENTE TENER UN MARGEN MÍNIMO DE TIEMPO DE 0.35 SEG. DE OPERACIÓN ENTRE CADA RELEVADOR; ENTONCES, PARA UNA FALLA EN F14, EL RELEVADOR C DEBERÁ OPERAR PRÓXIMAMENTE EN 0.59 SEG, EL RELEVADOR B DEBERÁ OPERAR EN 0.94 SEG. Y EL RELEVADOR A EN 1.29 SEG.. CON ESTOS TIEMPOS, EN LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL RELEVADOR CO-8 SE BUSCAN LAS COMBINACIONES DEL DIAL Y DEL MÚLTIPLO DEL TAP CORRESPONDIENTES PARA DICHS TIEMPOS.

LAS CURVAS TÍPICAS DE TIEMPO PARA UN RELEVADOR CO-8 SE MUESTRAN A CONTINUACIÓN.



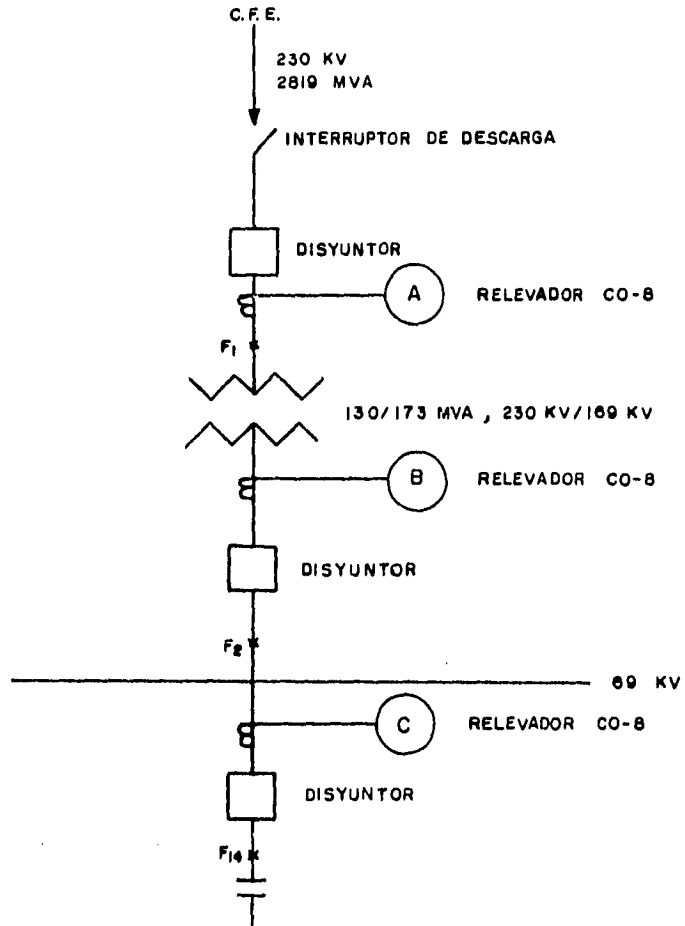


DIAGRAMA UNIFILAR DE UNA RAMA DEL SISTEMA

PARA UN TIEMPO DE OPERACIÓN DE 1.29 SEG. SE OBTUVIERON LOS VALORES DE LA SIGUIENTE TABLA:

DIAL SEG	MÚLTIPLO DEL TAP	$\frac{I(\text{SEC}) \text{ DEL TC-A PARA F14}}{\text{MÚLTIPLO DEL TAP}}$
1/2	1.52	$5.74/1.52 = 3.77$
1	2.30	$5.74/2.30 = 2.49$
2	3.30	$5.74/3.30 = 1.74$
3	4.40	
4	6.00	
5	6.50	
6	10.50	
7	17.00	

EL RANGO DE TAPS PARA UN RELEVADOR CO-8 DE TIEMPO INVERSO ES DE 4 A 16 Y COMO SE PUEDE APRECIAR EN LA TABLA ANTERIOR, NINGÚN TAP PUEDE SELECCIONARSE, POR LO QUE TIENE QUE UTILIZARSE TAP MÍNIMO, QUE ES EL 4 CON DIAL DE 1/2, CON LO QUE OBTENEMOS UN TIEMPO DE 1.29 SEG.; CON ESTE VALOR DE TAP Y USANDO LA CURVA PARA DIAL DE 1/2 SE OBTIENE LA SIGUIENTE TABLA:

PARA EL RELEVADOR (A) CALCULAMOS LOS SIGUIENTES PARÁMETROS:

R E L E V A D O R A

PUNTO DE FALLA	$\frac{I(\text{SEC}) \text{ DEL TC-A } I(F) \text{ A } 230 \text{ KV}}{\text{REL. DE TRANSF. DEL TC-A}}$	TAP	$\frac{\text{MÚLTIPLO DE TAP } I(\text{SEC}) \text{ DEL TC-A}}{\text{TAP}}$	DIAL	TIEMPO DE OPERACIÓN DE RELEV.
F14	$1149/200 = 5.74$	4	$5.74/4 = 1.44$	1/2	2.0 SEG
F2	$4482/200 = 22.41$	4	$22.41/4 = 5.60$	1/2	1.30 SEG
F1	$7400/200 = 37.00$	4	$37/4 = 9.25$	1/2	0.088 SEG

PARA EL RELEVADOR (B) CALCULAMOS LOS SIGUIENTES PARÁMETROS:

R E L E V A D O R B

PUNTO DE FALLA	$\frac{I(\text{SEC}) \text{ DEL TC-B } I(F) \text{ A } 89 \text{ KV}}{\text{REL. DEL TRASF. DEL C-B}}$	TAP	$\frac{\text{MÚLTIPLO DE TAP } I(\text{SEC}) \text{ DEL TC-B}}{\text{TAP}}$	DIAL	TIEMPO DE OPERACIÓN DEL RELEVADOR
F14	$3830/400 = 9.57$	4	$9.57/4 = 2.39$	1/2	0.55 SEG
F2	$14940/400 = 37.35$	4	$37.35/4 = 9.34$	1/2	0.089 SEG

PARA EL RELEVADOR (C) CALCULAMOS LOS SIGUIENTES PARÁMETROS:

R E L E V A D O R C

PUNTO DE FALLA	I(SEC) DEL TC-C I(F) A 69 KV REL. DE TRASF. DEL TC-C	TAP	MÚLTIPLO DEL TAP I(SEC) DEL TC-C TAP	DIAL	TIEMPO DE OPERACIÓN DE RELEV
F14	$3830/100 = 38.30$	4	$38.3/4 = 9.57$	1/2	0.087 SEG

CON LOS VALORES OBTENIDOS ANTERIORMENTE, CON LA CORRIENTE PRIMARIA DE LOS TRANSFORMADORES DE CORRIENTE PARA LOS DIFERENTES TIPOS DE FALLA; CON LOS VALORES DE ESTAS CORRIENTES REFERIDAS A LOS DOS NIVELES DE TENSIÓN QUE SE MANEJAN Y HACIENDO USO DE LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL RELEVADOR DE SOBRECORRIENTE INVERSA CO-8, QUE MUESTRAN LOS TIEMPOS DE OPERACIÓN DE CADA RELEVADOR PARA LOS DIFERENTES PUNTOS DE FALLA, SE CONSTRUYE LA SIGUIENTE TABLA. SE ADICIONAN ALGUNOS PUNTOS INTERMEDIOS CON EL FIN DE OBTENER EL MAYOR NÚMERO DE PUNTOS A GRAFICAR.

R E L E V A D O R A

NIVEL DE TENSIÓN: 230 KV		RT: 200		TAP: 4		DIAL: 1/2	
NIVELES DE CORRIENTES	IPRIM TC-A1 A 230 KV	IPRIM TC-A A 69 KV	I(SEC) DEL TC-A	MÚLTIPLO DEL TAP	TIEMPO DE OPER. DEL RELEV.		
1 (NOM)	565 A	1883 A	$565/200 = 2.82$	$2.82/4 = 0.71$	-----		
2 I(NOM)	1130 A	3767 A	$1130/200 = 5.651$	$5.65/4 = 1.411$	2.0	SEG	
4 I(NOM)	2260 A	7533 A	$2260/200 = 11.301$	$11.30/4 = 2.82$	0.37	SEG	
I(F14)	3830 A	12767 A	$3830/200 = 19.15$	$19.15/4 = 4.78$	0.16	SEG	
I(F1)	7400 A	24667 A	$7400/200 = 37.00$	$37.00/4 = 9.25$	0.09	SEG	
20 I(NOM)	11300 A	37667 A	$11300/200 = 56.50$	$56.50/4 = 14.12$	0.073	SEG	
I(F2)	14940 A	49800 A	$14940/200 = 74.70$	$74.70/4 = 18.67$	0.067	SEG	
5 (F14)	19150 A	63833 A	$19150/200 = 95.75$	$95.75/4 = 23.93$	0.062	SEG.	
3 (F1)	22200 A	74000 A	$122200/200 = 111$	$111.00/4 = 27.7$	0.061	SEG	

DE IGUAL FORMA, SIGUIENDO EL MISMO PROCEDIMIENTO, SE OBTIENE LA SIGUIENTE TABLA PARA EL RELEVADOR (B).

R E L E V A D O R B

NIVEL DE TENSIÓN: 230 KV		RT: 200		TAP: 4		DIAL: 1/2	
NIVELES DE CORRIENTE	IPRIM TC-A A 230 KV	I(SEC) DEL TC-A	MÚLTIPLO DEL TAP	TIEMPO DE OPER. DEL RELEVADOR B			
1(NOM)	1884 A	1884/400 = 4.71	14.71/4 = 1.17	-----			
2 I(NOM)	3768 A	3768/400 = 9.42	9.42/4 = 2.35	0.52	SEG		
4 I(NOM)	7536 A	7536/400 = 18.84	18.84/4 = 4.71	0.16	SEG		
5 I(NOM)	9420 A	9420/400 = 24.00	24.00/4 = 6.00	0.13	SEG		
1(F2)	14940 A	14940/400 = 37.0	37.00/4 = 9.25	0.09	SEG		
8 I(NOM)	15072 A	15072/400 = 38.0	38.00/4 = 9.50	0.08	SEG		
2 I(F2)	29880 A	29880/400 = 74.7	74.70/4 = 18.67	0.07	SEG		

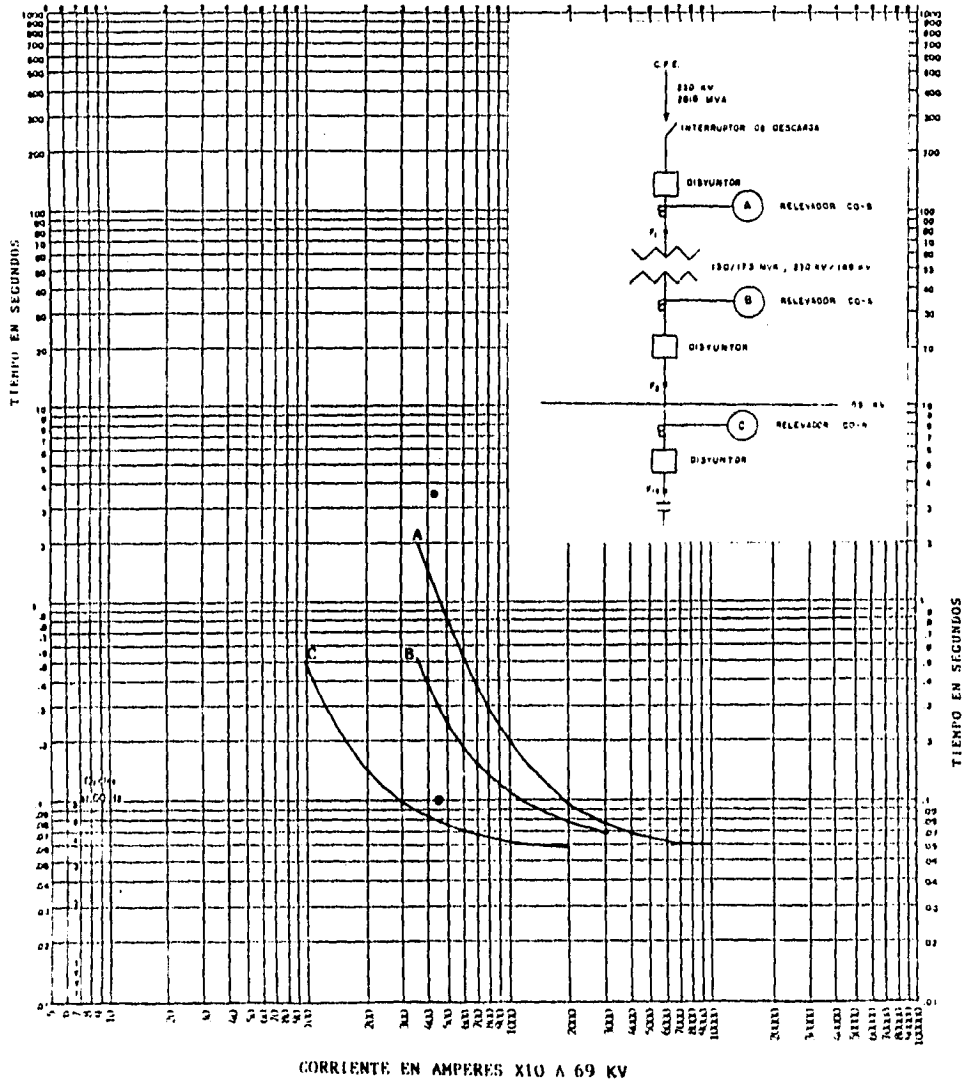
DE IGUAL FORMA, SIGUIENDO EL MISMO PROCEDIMIENTO, SE OBTIENE LA SIGUIENTE TABLA PARA EL RELEVADOR (C).

R E L E V A D O R C

NIVEL DE TENSIÓN: 230 KV		RT: 200		TAP: 4		DIAL: 1/2	
NIVELES DE CORRIENTE	I(PRIM) TC-A A 230 KV	I(SEC) DEL TC-A	MÚLTIPLO DEL TAP	TIEMPO DE OPER. DEL RELEVADOR C			
1(NOM)	496 A	496/100 = 4.96	4.94/4 = 1.24	-----			
2 I(NOM)	992 A	992/100 = 9.92	9.92/4 = 2.48	0.500	SEG		
4 I(NOM)	1984 A	1984/100 = 19.84	19.84/4 = 4.96	0.160	SEG		
1(F14)	3830 A	3830/100 = 38.30	38.30/4 = 9.57	0.090	SEG		
10 I(NOM)	4960 A	4960/100 = 49.60	49.60/4 = 12.40	0.075	SEG		
1(F1)	7400 A	7400/100 = 74.00	74.00/4 = 18.50	0.070	SEG		
20 I(NOM)	9920 A	9920/100 = 99.20	99.20/4 = 24.80	0.062	SEG		
1(F2)	14940 A	14940/100 = 149	149.40/4 = 37.35	0.060	SEG		

FINALMENTE, SE OBTIENEN LAS CURVAS DE LOS RELEVADORES A, B Y C, COMO PUEDE OBSERVARSE EN LA SIGUIENTE GRÁFICA.

CURVAS CARACTERISTICAS DE TIEMPO Y CORRIENTE



VALORES DE LAS FALLAS:

- F1- 565 AMPERES
- F2- 1,896 AMPERES
- F4- 496 AMPERES

$$Z = 8 \%$$

$$ANSI = 0.58 \times 12.5 \times 565 = 4100 \text{ AMPERES}$$

$$IRBUNCIÓN = 8 \times 565 = 4520 \text{ AMPERES}$$

CONCLUSIONES:

EN ESTE TRABAJO SE HA VERTIDO INFORMACIÓN DEL ACERO DESDE TIEMPOS REMOTOS HASTA NUESTROS DÍAS, INICIANDO CUANDO EL HOMBRE MARTILLABA EN FRÍO EL METAL HASTA AHORA QUE SE UTILIZA UN SOFISTICADO PROCESO INDUSTRIAL PARA OBTENERLO.

CUANDO EL HOMBRE DESCUBRE QUE CALENTANDO EL METAL ES MAS FÁCIL MANEJARLO SE DA A LA TAREA DE CONSTRUIR GRANDES HORNOS PARA OBTENER LAS GRANDES TEMPERATURAS QUE SE NECESITAN PARA CAMBIAR DEL ESTADO SÓLIDO AL ESTADO LÍQUIDO.

DENTRO DE LA EVOLUCIÓN DE LA CIENCIA Y LA TECNOLOGIA, LA ELECTRICIDAD HA TENIDO GRANDES AVANCES QUE HAN HECHO POSIBLE SU APLICACIÓN A LA OBTENCIÓN DEL CERO. TRANSFORMADORES, CONDUCTORES, SUPERCONDUCTORES, DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN DE ALTA POTENCIA Y NUEVOS MATERIALES, ACTUANDO COORDINADAMENTE LOGRAN QUE DOS ELECTRÓDOS ROMPAN LA RIGIDEZ DIELECTRICA DEL AIRE Y SE PRODUZCA UN ARCO ELÉCTRICO QUE ELEVA LA TEMPEATURA Y FUNDE LOS MATERIALES QUE SE ENCUENTRAN EN SU CERCANÍA.

CON EL ESTUDIO DE CORTO CIRCUITO HEMOS OBTENIDO LOS NIVELES DE CORRIENTE DE FALLA EN DIFERENTES PUNTOS DEL CIRCUITO Y CON LAS CURVAS CARACTERÍSTICAS DEL RELEVADOR CO-8 SE HA CALCULADO LOS PARÁMETROS DE TRES RELEVADORES UBICADOS ESTRATEGICAMENTE EN EL CIRCUITO ELÉCTRICO.

EL ANÁLISIS PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES SE HA REALIZADO EN UNA RAMA DEL CIRCUITO, PERO ESTE ESTUDIO PUEDE LLEVARSE A CABO EN FORMA SIMILAR PARA CUALQUIER OTRA RAMA QUE SE DESEE. LA SELECCIÓN DE LA RAMA USADA PARA LA COORDINACIÓN DE PROTECCIONES NO OBEDECE A NINGUNA RAZÓN ESPECIAL, SIMPLEMENTE DE RECORRIÓ EL CIRCUITO EN FORMA VERTICAL.

EN LA SIGUIENTE GRÁFICA SE MUESTRAN LAS CURVAS DE LOS RELEVADORES, SE OBSERVA COMO OPERAN COORDINADA Y SELECTIVAMENTE LOS TRES DISPOSITIVOS DE PROTECCIÓN. AL TRASFORMADOR SE LE HAN CALCULADO LOS PUNTOS ANSI, LOS CUALES SE UBICAN UNO ARRIBA DE LA CURVA DE MÁXIMA INTERRUPCIÓN Y EL OTRO BAJO LA CURVA DE FUSION MÍNIMA DEL FUSIBLE.

BIBLIOGRAFÍA

- 1.- ANÁLISIS DE SISTEMAS ELÉCTRICOS DE POTENCIA
WILLIAM D. STEVENSON
EDIT. MC. GRAW HILL

- 2.- REDES ELÉCTRICAS I Y II
JACINTO VIQUEIRA LANDA
EDIT. REPRESENTACIONES Y SERVICIOS DE INGENIERÍA S.A.

- 3.- SUBESTACIONES ELÉCTRICAS
ENRIQUEZ HARPER
EDIT. LIMUSA

- 4.- EL ABC DE LAS INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES
ENRIQUEZ HARPER
EDIT. LIMUSA-NORIEGA

- 5.- EL ARTE Y LA CIENCIA DE LA PROTECCIÓN POR RELEVADORES
RUSSELL MASON
EDIT. C.E.C.S.A

- 6.- ANÁLISIS Y DISEÑO DE SISTEMAS ELÉCTRICOS
IRWIN LAZAR
EDIT. LIMUSA