



EPS

Escola Politècnica
Superior

Treball final de grau

Estudi: Grau en Enginyeria Elèctrica

Títol: Rehabilitació d'una central hidroelèctrica a les Planes d'Hostoles

Document: 1. Memòria

Alumne: Jordi Boix Tura

Director/Tutor: Josep Xargayó Bassets

Departament: Enginyeria Elèctrica, Electrònica i Automàtica

Àrea: ESA

Convocatòria (mes/any): juny/2014

Índex

1.	Introducció	3
1.1	Antecedents	3
1.2	Objecte	3
1.3	Especificacions i abast	3
2.	L'energia hidroelèctrica	4
2.1	Centrals minihidràuliques	5
2.1.1	Situació actual de l'energia minihidràulica a Catalunya	5
2.2	Tipus de centrals hidroelèctriques	6
3.	Central de les Planes d'hostoles	10
3.1	Característiques principals	10
3.2	Càlcul del salt net disponible	11
3.3	Estat actual de les instal·lacions	14
3.3.1	Generador Síncron	15
3.4	Paràmetres a tenir en compte per l'estabilitat del generador i el sistema	15
3.4.1	Criteri d'estabilitat d'àrees	16
4.	Remodelació equips electromecànics	19
4.1	Turbina	19
4.2	Generador	22
4.2.1	Banc de condensadors	25
4.3	Transformador	27
5.	Remodelació Proteccions	31
5.1	Protecció del generador	31
5.2	Proteccions de mitja tensió	33
5.3	Proteccions en baixa tensió	37
6.	Renovació de la línia d'interconnexió de la central	41
6.1	Càlcul de la intensitat i potència màxima admissible de la línia	42
6.2	Càlcul de les pèrdues ocasionades per la instal·lació	43
6.3	Elecció del suport	43
7.	Renovació de l'equip d'automatització de la central	45
7.1	CPU, font d'alimentació i mòduls de comunicació	45
7.2	Guia gemma del procés a automatitzar	47
7.3	Marxa de preparació F2	49
7.4	Producció Normal F1	49
7.5	Marxa de tancament F3	51
7.6	Parada per assegurar la seguretat D1	52

7.7	Producció tot i defectes D3	53
7.8	Tractament de defectes D2	53
7.9	Preparació posterior a defecte A5	54
7.10	Posada en la posició inicial A6	55
7.11	Parada obtinguda A4	56
7.12	Mòduls d'entrades i sortides.....	56
7.13	Interacció amb l'operador	60
8.	Remodelació dels circuits de terres	62
8.1	Posada a terra de la part en BT	62
8.2	Posada a terra de la part en MT	62
9.	Renovació d'Equips auxiliars	65
9.1	Font d'alimentació i bateries.....	65
9.2	Elements Hidràulics	66
9.3	Equip de radiofreqüència	67
9.4	Central de mesures.....	67
10.	Resum del pressupost.....	69
11.	Conclusions	70
12.	Relació de documents	71
13.	Bibliografia.....	72
14.	Glossari	74
A.	Estudi de viabilitat econòmica.....	75
A.1	Normativa i cànons actuals aplicables a la venda d'energia	75
A.2	Anàlisi de la viabilitat econòmica de la central projectada	77
A.3	Anàlisi d'una central "hipotètica".....	82
B.	N de Manning	85
C.	Càlcul de la potència de curtcircuit de la instal·lació	86
D.	Càlculs i especificacions de la posada a terra.....	88
E.	Característiques dels cables de la línia d'interconnexió	90
F.	Programa.....	91

1. INTRODUCCIÓ

1.1 Antecedents

Al terme municipal de les Planes d'Hostoles, s'hi troba ubicada una central hidroelèctrica concretament al costat del riu Brugent. L'aigua de la central arriba mitjançant un canal de derivació a cel obert d'una longitud de 610m i després s'utilitzen 150m de canonada forçada fins arribar a la central. El salt brut disponible és de 32.5m entre la coronació de la presa i el desguàs de la central. El cabal màxim de concessió que podem utilitzar per a turbinar és de 500 litres/segon.

1.2 Objecte

Fa uns anys el generador de la central es va embalar i va esclatar. Aquest fet va provocar la destrucció dels elements de la central. A dia d'avui el propietari està interessat en rehabilitar la central per tornar a produir electricitat. És per això que l'objectiu del present projecte és comprovar la viabilitat tècnica i econòmica de la re-obertura de la central. S'analitzaran els components elèctrics, hidràulics i la línia d'interconnexió entre el transformador de la central i la xarxa elèctrica més pròxima per així determinar quins són els elements més idonis per les característiques que ens ofereix la central. A més a més i per garantir el bon funcionament de la central s'automatitzaran els processos que siguin necessaris.

1.3 Especificacions i abast

La realització d'aquest projecte comprèn la realització dels càlculs elèctrics i hidràulics indispensables per renovar tota la maquinària de què es compon la central i l'automatització necessària per garantir el bon funcionament de les instal·lacions. A més a més s'analitzaran tots els costos derivats de la rehabilitació de la central ja que actualment en el context de crisi en què ens trobem un dels aspectes més importants de qualsevol projecte és la seva viabilitat econòmica. Queda exclosa d'aquest projecte l'obra civil necessària per remodelar la central

2. L'ENERGIA HIDROELÈCTRICA

L'energia hidroelèctrica és aquella energia que s'obté d'aprofitar l'energia potencial d'una massa d'aigua situada a la llera d'un riu per convertir-la primer en energia mecànica i després en energia elèctrica.

Aquest tipus d'energia porta molts anys explotant-se. Els agricultors de l'antiga Grècia ja utilitzaven molins d'aigua per moldre el blat i fer farina. L'energia cinètica de l'aigua en moviment fa girar el molí i es converteix en l'energia mecànica que fa girar el moli. A finals del segle XIX l'energia hidroelèctrica es va convertir en una font per generar electricitat. La primera central hidroelèctrica es va construir l'any 1880 a Northumberland, Regne Unit però no va tenir èxit degut a certs reptes tècnics que encara quedaven per solucionar i es va tancar dos anys i mig després de la seva obertura. Es per això que la primera central hidroelèctrica moderna es considera que és la desenvolupada gràcies a les patents de Nikola Tesla a les cascades del Niàgara l'any 1882.

L'energia hidroelèctrica proporciona casi un 20% de l'electricitat a tot al món. A Espanya aquest valor també és de aproximadament el 20%, la potència instal·lada amb energia hidroelèctrica, és de 19.843 MW aproximadament, el que representa un 19,4% de la potència total instal·lada a dia 31 de desembre del 2013

Actualment les centrals hidroelèctriques són de gran importància ja que serveixen per suplir els increments de demanda. La demanda elèctrica es modelada com una variable aleatòria mitjançant una corba duració-càrrega. Expressa la probabilitat de que la demanda de potència esperada en un període determinat, superi o iguali un determinat valor. Normalment es realitza l'aproximació de suposar que la seva forma es similar a una històrica ja coneguda i calcular mitjançant tècnica predictives, només la punta de la demanda o la energia del període corresponent.

La forma de la corba afecta directament la composició del mix energètic de la generació i el seu funcionament. En un sistema com l'Espanyol, un increment moderat de la punta de la demanda és cobert per centrals de regulació hidràulica, que poden augmentar la seva potència de generació fàcilment.

2.1 Centrals minihidràuliques

La capacitat (potència) instal·lada en les centrals ens ha portat a definir diferents conceptes com centrals minihidràuliques, grans centrals hidràuliques, petites centrals hidràuliques etc. Els límits de potència per definir aquests conceptes varien molt segons el país en què ens trobem, normalment aquests límits ens el marquen aspectes com els recursos hidràulics de què disposa el país o les necessitats energètiques d'aquest. A la següent taula podem veure diferents límits per a diferents països.

País	Potència instal·lada per ser considerada petita central (MW)	Font
Brasil	<30	Brazil Law 9648 May 27, 1998
Canada	<50	Natural Resources Canada, 2009
Xina	<50	Wang (2010)
Unió Europea	<10	European small hydro-power association
Índia	<25	Ministry of new and renewable energy
Noruega	<10	Norwegian ministry of petroleum and energy
Suècia	<1.5	European small hydro-power association
Estats Units	5-100	US National Hydropower Association

Taula 1. Límits en MW de diferents països per la minihidràulica

Una de les definicions més vàlides actualment, seria la proposada per l'agència internacional de l'energia on es defineixen les petites centrals hidràuliques com les centrals hidràuliques amb una potència inferior a 10MW , i estant dividides en minihidràulica menys de 500kW i microhidràulica menys de 100kW. Per tant la central que estem rehabilitant, on la potència instal·lada serà aproximadament d'uns 132kW quedaria englobada en el terme de central mini hidràulica.

2.1.1 Situació actual de l'energia minihidràulica a Catalunya

Catalunya és la comunitat autònoma de l'estat espanyol que disposa de més instal·lacions d'energia minihidràulica en actiu, aproximadament 370 minicentrals en actiu. La potència instal·lada ascendeix a 275MW amb una producció d'energia elèctrica situada prop dels 500GWh

L'energia hidràulica té un pes molt important en la producció d'energia a partir de recursos renovables. A Catalunya la producció de les centrals hidràuliques, tant de gran capacitat com minihidràuliques, suposen un 80% de l'energia produïda amb fonts renovables.

2.2 Tipus de centrals hidroelèctriques

Podem trobar diversos tipus de centrals hidroelèctriques: les centrals d'embassament, les fluents o les de bombeig.

Les centrals d'embassament: es caracteritzen per tenir una presa que serveix per a emmagatzemar artificialment l'aigua procedent d'un riu, el que ens permet que aquesta aigua adquireixi una energia potencial que a posteriori aprofitarem per transformar en electricitat. Aquesta aigua es conduïda mitjançant una canonada forçada o un canal de derivació a la casa de màquines. Durant aquest procés l'aigua va perdent la seva energia potencial, que es va transformant en energia cinètica, és a dir va adquirint velocitat. Al arribar a la casa de màquines l'aigua impacta sobre els àleps de la turbina, transformant l'energia cinètica en energia mecànica de rotació. L'eix de la turbina està unit a un generador elèctric que, al girar, converteix l'energia mecànica de rotació en corrent altern. Aquest corrent mitjançant transformadors es injecta a la xarxa per a poder ser consumit. A més a més aquest tipus de central disposen d'un canal de desguàs per a retornar l'aigua turbinada al riu. A la figura 1 es pot observar la presa d'una central d'embassament.

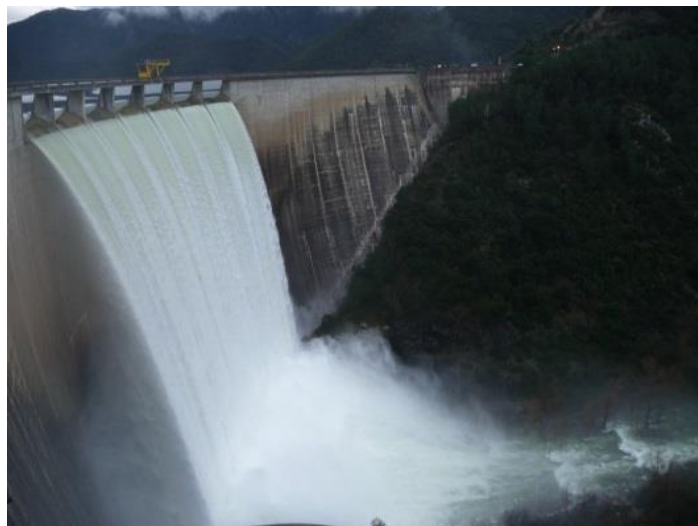


Figura 1. Presa de Susqueda

Les centrals de bombeig: aquest tipus de central han aparegut degut a que les companyies elèctriques havien de fer front a una demanda d'electricitat molt irregular. Aquest tipus de central són les que millor s'adapten a l'emmagatzemament d'energia a gran escala. Són un tipus molt peculiar de centrals hidroelèctriques on com a norma general hi trobem 2 preses. El funcionament d'aquestes centrals es caracteritza de manera que durant les hores punta l'aigua va de la presa superior a la inferior de tal manera que es genera electricitat de la mateixa manera que ho fan les centrals amb un sol embassament. D'aquesta manera aconseguim produir electricitat en uns moments en els quals el seu preu de venda és elevat. Durant les hores vall s'aprofita que el cost de l'electricitat es menor per bombejar tota l'aigua acumulada a la presa inferior a la superior, d'aquesta manera aconseguim que l'aigua pugui tornar a repetir tot el procés. Dins aquest tipus de central trobem una subdivisió, per una banda tenim les centrals de bombeig pur on la presa superior no té aportacions significatives d'aigua, i d'altre banda tenim les central de bombeig mixta on tenim aportacions d'aigua a la presa superior. A la figura 2 es pot observar una de les centrals de bombeig més gran d'Europa.

L'experiència en l'explotació d'aquestes centrals ha demostrat que l'eficiència del bombeig és del 92% mentre que l'eficiència del turbinat és del 89%. De tal manera que aquestes central són consumidores pures d'electricitat, però són les pròpies necessitats del mercat les que han portat a la seva aparició, degut a les grans avantatges econòmiques i tècniques que aporten. Mentre turbinen són unes centrals amb uns temps d'arrencada molt curts i amb una gran facilitat de regulació. A les hores vall es converteixen en consumidores d'electricitat d'aquesta manera contribueixen a l'emplenat de les hores vall.



Figura 2. Central subterrània de bombeig de Tavascan, una de les més grans d'Europa

Centrals fluents: normalment són centrals de poca potència (mini hidràulica). Són centrals que no disposen d'una presa pròpiament dita. Es construeix en el curs del riu una resclosa per a elevar el nivell de l'aigua, que facilita agafar la necessària pel canal de derivació. Degut a què no existeixen reserves d'aigua la potència generada depèn de l'aigua que circula pel riu. En temporades de sequeres importants podria arribar a no generar res ja que no hi ha suficient aigua disponible. D'altre banda en èpoques de pluges, pot no aprofitar la gran quantitat d'aigua disponible i la que no utilitza continua riu avall.

Un cop vista la classificació del tipus de centrals hidroelèctriques que existeixen podem deduir de quin tipus de central es tracta analitzant alguna de les seves característiques. Elements com la petita resclosa de que disposa per poder derivar l'aigua cap al canal de derivació, la potència de la central, aproximadament 150kW i al no disposar de reserves d'aigua per poder turbinar en èpoques de sequera, o altres moments. Són algunes de les característiques que ens fan prendre la decisió de classificar-la com a central d'aigua fluent.

En el present projecte es parlaran de molts elements relacionats amb les centrals de tipus fluent. A la figura que es mostra a continuació es pretén definir alguns elements característics d'aquest tipus de centrals

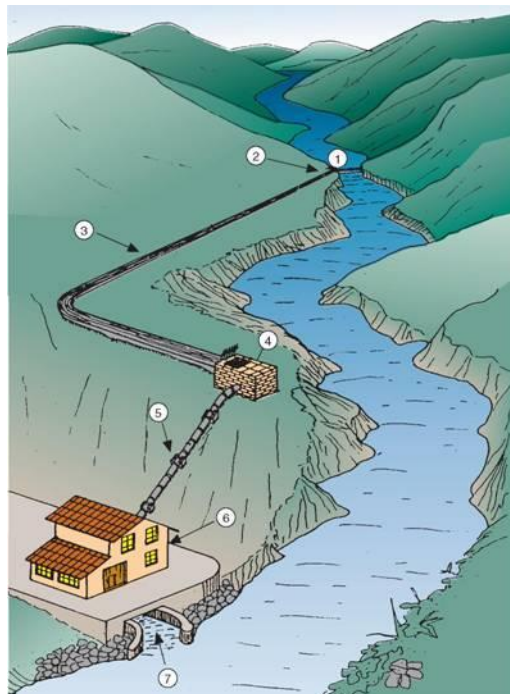


Figura 3. Principals elements d'una central fluent

El número 1 representa la resclosa on s'eleva el nivell de l'aigua, aquest fet permet que l'aigua sigui desviada cap el canal més fàcilment . Amb el numero 2 trobem una reixa per filtrar les partícules que porta l'aigua captada a més a més si el riu porta molta sorra en suspensió podem trobar un sedimentador, que facilita que la sorra precipiti i no continuï cap a la turbina provocant problemes en els àleps. El número 3 ens indica el canal de derivació. Es poden trobar molts tipus de canals de derivació que a cel obert, tapats, rectangulars trapezoïdals, circulars. A vegades no és viable econòmicament construir tot el tram de canonada forçada des de la captació fins a la central pel seu elevat cost econòmic per tant és realitza una part d'aquest recorregut mitjançant un canal. L'objecte número 4 és una construcció és on s'hi troben ubicades les reixes i el sedimentador en el cas de que el canal sigui a cel obert, ja que no tindria cap sentit fer-ho al principi perquè durant el tram de canal podríem tornar a caure elements no desitjats dins l'aigua . L'element número 5 és la canonada forçada aquesta permet que l'aigua arribi fins a la vàlvula de la turbina en òptimes condicions. El número 6 és la casa de màquines i és on s'hi troben ubicats els elements electro-mecànics que permeten transformar l'energia de l'aigua amb electricitat. Per últim el número 7 és el canal de desguàs, que és el que condueix l'aigua procedent del turbinat de nou al riu.

3. CENTRAL DE LES PLANES D'HOSTOLES

Les Planes d'Hostoles és un municipi situat a la zona sud-est de la comarca de la Garrotxa. Aquest municipi és a travessat pel riu Brugent de Nord a Sud, cosa que va fer que durant la revolució industrial a la seva llera s'hi establissin diferents fàbriques tèxtils, que d'aquesta manera podien aprofitar el recursos hidràulics que els hi ofería el riu per a fer funcionar les seves fàbriques. Avui en dia moltes d'aquestes fàbriques ja han abaixat les seves persianes, però el seu llegat continua present i al curs del riu hi trobem ubicades nombroses centrals minihidroelèctriques. El present projecte pretén rehabilitar una d'aquestes central, per produir una altre vegada electricitat.

3.1 Característiques principals

La mini central hidroelèctrica que centra l'atenció d'aquest projecte es troba situada a la llera est del riu Brugent. A les coordenades UTM: 463063X 4654903Y. Tal com s'ha mencionat anteriorment és una central del tipus fluent. L'aigua que arriba a la casa de màquines és desviada del curs del riu Brugent mitjançant una resclosa, i llavors es conduïda mitjançant un canal de derivació i una canonada forçada fins a la casa de màquines. La resclosa es troba ubicada a uns 750m riu amunt de la central. Aquesta resclosa té 3m metres d'alçada i està situada a les coordenades UTM: 462824X 4655413Y.



Figura 4. Reclosa que serveix per desviar l'aigua del riu

Tal com s'ha dit disposem d'un canal de derivació. Aquest canal té una longitud de 610m. És un canal a cel obert, rectangular i de formigó. Les dimensions d'aquest canal són 2x1,4m. A continuació del canal hi ha instal·lats 150m de canonada forçada d'1m de diàmetre.

3.2 Càlcul del salt net disponible

Un dels aspectes més importants que influeixen en la potència que es pot extreure de la central és el salt net disponible de què es disposa. La diferència de cota entre coronació de la resclosa i el desguàs és de 32,5m. Elements com la rugositat del canal, turbulències, colzes etc produeixen que l'aigua perdi part de la seva energia, així doncs l'alçada de què es disposa per turbinar es veu minvada. Aquesta pèrdua d'energia de l'aigua és coneguda com a pèrdua de càrrega.

Primer s'han de calcular les pèrdues provocades pel canal de derivació. El canal de derivació de la central és un canal rectangular tal com mostra la figura 4. Els paràmetres que defineixen un canal rectangular són els que es poden apreciar a la següent figura.

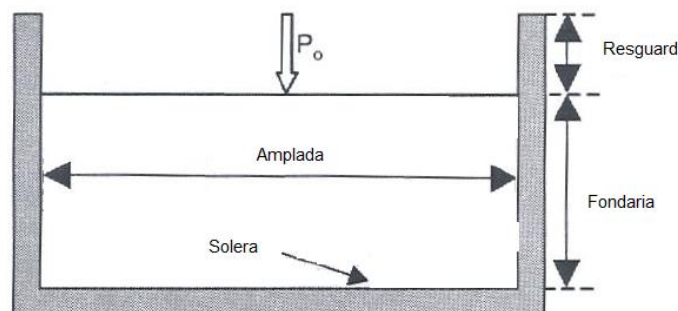


Figura 5. Paràmetres característics d'un canal rectangular

D'on P_0 és la pressió aplicada sobre el fluid que circula pel canal, normalment aigua, degut a que aquest canal es troba a l'aire lliure aquesta pressió és la atmosfèrica. Aquest punt es coneix com a superfície lliure del líquid. L'amplada del canal és la distància entre les dues parets laterals que formen el canal, en aquest cas 2m. La fondària és l'altura d'aigua que circula pel canal 1,05m. El resguard la distància entre la superfície lliure del líquid i l'alçada total de canal, això permet evitar vessaments d'aigua no desitjats i l'altura d'aquest és de 0,35m.

Una vegada coneguts els principals paràmetres que defineixen el canal, es pot procedir a calcular les pèrdues de càrrega mitjançant les formules de Manning i Chezy, però abans s'han de calcular tot una sèrie de variables que apareixen en aquestes fórmules. Primerament es calcularà la velocitat del fluid mitjançant l'equació 1 de la següent pàgina.

$$V=c*R*s \quad (Eq.1)$$

D'on V és la velocitat del fluid (aigua) en m/s, c és el coeficient de Manning que es pot obtenir mitjançant l'equació 2, la R és el radi hidràulic en m i s és el pendent de la superfície de l'aigua que adopta un valor de 0,0005 en la nostra instal·lació. La velocitat que el fluid assoleix a la instal·lació és de 0.85m/s

$$C=\frac{1}{n}*R^{1/6} \quad (Eq.2)$$

D'on n és el número de Manning, que indica la rugositat del material amb què treballem, per obtenir el valor de n s'utilitza la figura 35 de l'annex B a la pàgina 85, consultant aquesta figura s'obté que el valor de la n pel formigó és de 0,017. R és el radi hidràulic en m. Per calcular el radi hidràulic s'utilitza l'equació 3

D'on A és l'àrea mullada d'un canal rectangular i P és el perímetre mullat d'un canal rectangular, ambdós descrits per les equacions 4 i 5

$$R=\frac{A}{P} \quad (Eq.3)$$

Degut a que aquest canal es rectangular esdevé molt fàcil calcular la seva àrea, descrita per l'equació número 4.

$$A=b*y \quad (Eq.4)$$

D'on b és l'amplada del canal 2m i y és la fondària del canal 1,05. De tal manera que l'àrea són 2,1m². Per calcular el perímetre mullat s'utilitza l'equació numero 5

$$P=b+2y \quad (\text{Eq.5})$$

D'on b és l'amplada del canal 2m i y és la fondària del canal 1,05. De tal manera que el perímetre mullat del canal és de 4,1m. Finalment substituint els valors anteriors a l'equació nº 3 s'obté que el radi hidràulic és de 0,52m.

A més a més és necessari calcular el cabal màxim que pot passar pel canal que ve determinat segons l'equació 6

$$Q=A*V \quad (\text{Eq.6})$$

D'on A és l'àrea del canal rectangular i V és la velocitat de l'aigua, descrita per l'equació 1. El cabal màxim que pot circular pel canal és de 1,87m³/s.

Una vegada s'han calculat tots els paràmetres necessaris ja es poden calcular les pèrdues de càrrega del canal, sabent que les pèrdues de càrrega en metres d'un canal segons Manning es descriuen segons la següent equació

$$H_L = \left[V * \frac{n}{R^{2/3}} \right]^2 * L \quad (\text{Eq.7})$$

D'on H_L són les pèrdues de càrrega en metres provocades pel canal de derivació, V és la velocitat de l'aigua descrita per l'equació 1, n és el coeficient de Manning obtingut mitjançant la figura 35 de l'annex B a la pàgina 85, R és el radi hidràulic del canal calculat mitjançant l'equació 3 i L és la longitud del canal 610m

Si es realitza l'operació, s'obté que el valor de les pèrdues de càrrega provocades pel canal de derivació ascendeixen a 0,30 m.c.a.

Una vegada s'han calculat les pèrdues de càrrega provocades pel canal de derivació s'han de calcular les que provoca la canonada forçada, aquestes venen determinades per l'equació 8

$$H_L = 10.3 \cdot n^2 \cdot \left(\frac{Q^2}{D^{5.33}} \right) \cdot L \quad (\text{Eq.8})$$

D'on H_L són les pèrdues de càrrega en metres provocades per la canonada forçada, n és el coeficient de Manning obtingut mitjançant la figura 35 de l'annex B a la pàgina 85,. De tal manera que les pèrdues de càrrega provocades per la canonada forçada ascendeixen a un valor de 0,54m

Una vegada s'han calculat les pèrdues de càrrega provocades pels diferents elements de la instal·lació ja es pot obtenir el salt net disponible per a turbinar. Per determinar el salt net s'utilitza l'equació 9.

$$H = H_B - H_L(\text{canal}) - H_L(\text{canonada}) \quad (\text{Eq.9})$$

D'on H és l'alçada que es disposa per turbinar, H_B és l'alçada bruta de què es disposa i H_L són les pèrdues en m que provoquen el canal i la canonada respectivament. Conseqüentment obtenim que el salt net disponible per a turbinar és de 31,64m

3.3 Estat actual de les instal·lacions

A dia d'avui les instal·lacions es troben en molt mal estat. Això es degut a què en un moment determinat en què la central es trobava en funcionament es va desacoblar de forma intempestiva de la xarxa, no es disposava de les suficients proteccions i el generador es va embalar, és a dir la seva velocitat va augmentar fins a uns valor que poden oscil·lar des de un 150% i un 350% el nominal. Aquesta velocitat tant elevada va provocar el sobreescalfament del generador, i la seva posterior explosió. Degut a això la majoria dels elements que es trobaven a l'interior de la central van ser destruïts. Els elements exteriors, com el canal de derivació o la canonada forçada no van patir danys ja que al trobar-se a una certa distància l'ona expansiva no els va afectar. La turbina serà analitzada amb més detall en apartats posteriors.

3.3.1 Generador Síncron

EL generador que es trobava instal·lat anteriorment a la central era un generador síncron. Com es pot comprovar el resultat d'un mal funcionament del generador i del seu grup de regulació van ser nefastos per la central, amb les respectives pèrdues econòmiques que això va suposar. És per aquest motiu que en aquest apartat s'analitzen les principals característiques del generador síncron, i els elements que afecten la seva estabilitat.

El generador síncron és una màquina elèctrica rotativa capaç de transformar energia mecànica en forma de rotació, aportada per la turbina en energia elèctrica. Bàsicament el seu principi de funcionament consisteix en que la turbina mou el rotor, que està alimentat mitjançant corrent continu (excitació), això provoca que s'indueixi un corrent altern sinusoïdal a l'estator, i aquest corrent és el que s'injecta a la xarxa mitjançant un transformador.

Un dels conceptes més importants quant a analitzar l'estabilitat de les màquines és la velocitat d'embalament. La velocitat d'embalament és aquella velocitat que pot arribar la màquina quan per algun motiu determinat hi ha una disminució brusca de la càrrega, els sistemes de control no actuen com pertocaria i la turbina continua treballant a règim nominal.

3.4 Paràmetres a tenir en compte per l'estabilitat del generador i el sistema

Com s'ha vist l'estabilitat és un paràmetre que s'hi ha de parar especial atenció ja que quan el generador es torna inestable pot arribar a tenir greus conseqüències com en el cas de la central en qüestió. A continuació s'analitzaran diferents aspectes que influeixen amb l'estabilitat dels generadors i dels sistemes elèctrics de potència en general.

Proteccions ràpides, l'ús de proteccions ràpides afavoreix l'estabilitat. Si es produeix un curtcircuit en una línia la potència transmesa serà pràcticament nul·la i el rotor accelerarà. Si les proteccions actuen en menys de 100ms es considera una actuació pràcticament instantània, i no dona temps a que s'acceleri el rotor.

Temps de reenganxament curts En les línies aèries les faltes són generalment de tipus transitori, electrocucions d'ocells, caigudes de branques i un cop extingit l'arc el problema queda solucionat. És per aquest motiu que com més ràpid sigui el reenganxament menys temps estarà accelerant el rotor.

La utilització d'interruptors unipolars, degut a que la majoria de faltes són faltes monofàsiques si s'utilitzen interruptors que només aïllin una fase, la que s'ha produït el curtcircuit, les altres fases poden continuar treballant i per tant la potència demandada no és 0, així s'aconsegueix que el generador no acceleri tant com en el cas de obrir les tres fases.

Utilització de vàlvules d'admissió ràpides, es poden instal·lar a les turbines vàlvules d'admissió ràpides (que actuïn en menys d'1 segon) de tal manera que es pugui tancar l'entrada d'aigua a la turbina durant el curtcircuit, amb la finalitat de disminuir la potència mecànica entregada al rotor i per tant disminuir l'acceleració del rotor.

Les característiques internes del generador també poden influir en la seva estabilitat. Com més gran sigui la constant d'inèrcia del generador més lentament es produirà el canvi d'angle en el rotor i conseqüentment accelerarà menys.

Per últim també influeix en l'estabilitat del generador l'estat de càrrega d'aquest en el moment de produir-se la falta, com menys carregat es trobi en aquell instant el generador millor seran les condicions per garantir l'estabilitat.

Un dels mètodes més utilitzats per trobar de manera ràpida l'angle crític del rotor i d'altres paràmetres com el temps màxim de reconexió de les proteccions és el criteri d'igualtat d'àrees. A continuació es realitzarà un petit exemple de com s'aplica el criteri d'igualtat d'àrees en un sistema elèctric.

3.4.1 Criteri d'estabilitat d'àrees.

Es disposa d'un generador a 50Hz amb una reactància transitòria de $0,25j$ pu, aquest es troba connectat a través d'un transformador d'impedància X_t $0,1j$ pu i d'una línia d'impedància $0,3j$ pu a un nus de potència infinita amb una tensió de 1pu. En aquestes condicions el transformador es troba subministrant una potència activa de $0,8$ pu amb un factor potència de $0,7$ inductiu.

En un moment determinat es produeix un curtcircuit trifàsic a terra. Les proteccions actuen de tal manera que es desconnecta la línia de forma instantània. Quan la falta ha desaparegut es reconnecten les proteccions. Es procedirà a calcular quin és l'angle crític del rotor del generador síncron, i quin és el temps màxim de reconexió de les proteccions.

Per començar s'ha de calcular quina és la potència que seria capaç d'entregar el generador, aquest potència ve definida per l'equació 10

$$P = \frac{E \cdot U}{X} \sin \delta \quad (\text{Eq.10})$$

D'on X és la reactància total del sistema, E la tensió interna del generador, U la tensió del nus de potència infinita i δ l'angle del rotor.

Per tant doncs s'ha de calcular la tensió interna del generador, això es pot realitzar analitzant equivalent del circuit.

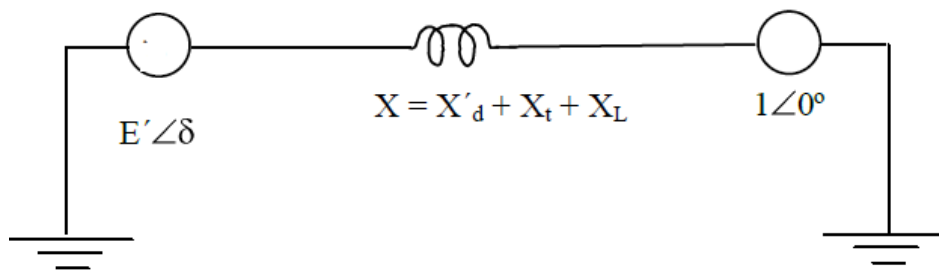


Figura 6. Esquema equivalent del circuit

Si es sap la intensitat que circula pel circuit, deduïble mitjançant la potència, i la tensió al bus de potència infinita, es pot obtenir fàcilment doncs la tensió interna del generador. Realitzant les operacions necessàries, s'obté que el valor de la tensió interna del generador és de 1,62pu. En aquest moments ja es pot calcular la potència entregada pel generador moments abans de la falta. Aquest potència ens la descriu la següent equació

$$P = 2,487 \sin \delta \quad (\text{Eq.11})$$

A més a més es pot calcular l'angle inicial del rotor, sabent que P és la potència activa que lliura el generador en l'estat inicial. Aquest angle té un valor de 18,77°.

Si es dibuixen en un mateix gràfic les corbes de la potència mecànica, la potència durant la falta, i la potència després de la falta es pot obtenir un gràfic com el mostrat a la figura 7

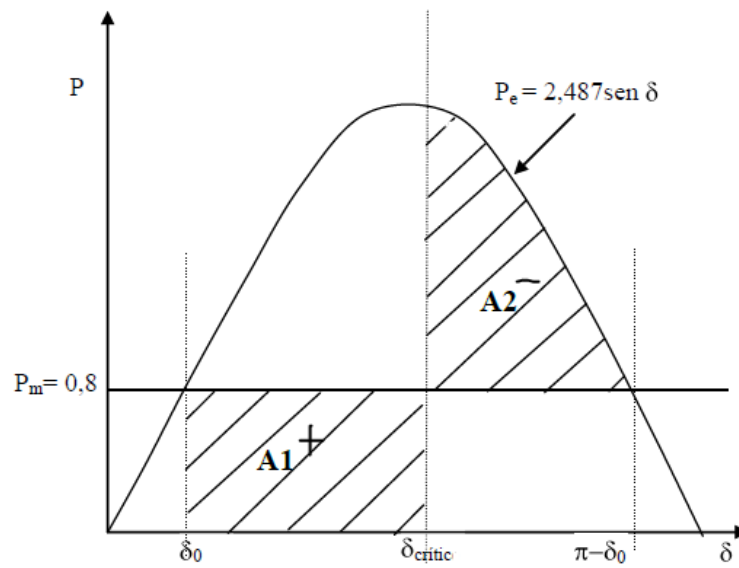


Figura 7. Criteri d'igualtat d'àrees

$A1^+$ és el transcurs de la falta, és a dir quan el rotor està accelerant i $A2^-$ quan ja s'ha solucionat la falta és a dir el rotor frena. Igualant aquestes dos àrees és pot obtenir l'angle crític del generador que pren un valor de $98,43^\circ$. A més a més es pot calcular el temps màxim que poden trigar a actuar les proteccions mitjançant l'equació 12

$$t = \sqrt{\frac{4H}{w_0 * P_{mec}} (\delta_{critic} - \delta_0)} \quad (\text{Eq.12})$$

D'on H és la inèrcia del generador (5s) i w_0 és la pulsació angular. Conseqüentment s'obté que per uns temps d'actuació de les proteccions superior a 0,33s el sistema esdevindria inestable.

4. REMODELACIÓ EQUIPS ELECTROMECAÑICS

Una vegada analitzada la situació actual de la central, es pot deduir que és necessària una remodelació a fons per tornar a obrir, en aquest apartat s'aniran analitzant els diferents components electromecànics que s'han de renovar o modificar per garantir el correcte funcionament de la central.

4.1 Turbina

Tal com s'ha comentat anteriorment l'explosió del generador de la central va malmetre tots els elements interiors, però la turbina al trobar-se situada a l'altre extrem, va patir alguns desperfectes. A continuació s'analitzen les principals característiques de la turbina la qual disposa la central per determinar, si s'ha de renovar o d'altre banda determinar quines accions correctores s'han de portar a terme.

L'antiga central estava formada per una turbina francis horitzontal, amb els següents paràmetres característics:

Marca	Planas Flaquer
Tipus	Francis Horitzontal
Velocitat nominal	1000rpm

Taula 2. Característiques principals de la turbina de la central

A la figura 9 es pot comprovar l'estat actual de la turbina.



Figura 8. Turbina existent

La turbina francis és una turbina a reacció, el fluid experimenta un canvi de pressió al passar pel rodet de la turbina. Aquest tipus de turbina consta dels elements mostrats a la següent figura

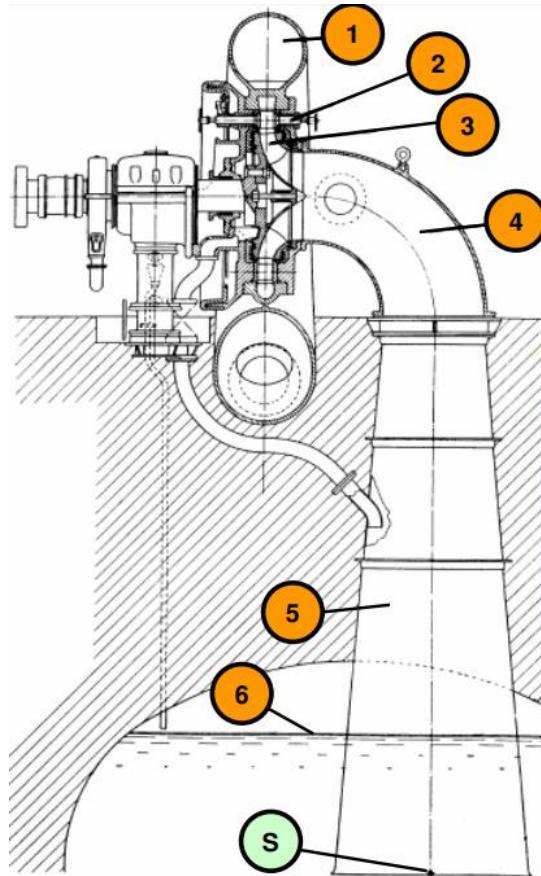


Figura 9. Principals elements constitutius d'una turbina Francis

Amb el número 1 la càmera espiral: és un conducte que envolta el rodet i que la seva disposició constructiva permet que l'aigua travessi aquesta càmera a una velocitat més o menys constant evitant així les pèrdues de càrrega.

El 2 és el distribuïdor, el distribuïdor està format per un número de pales mòbils i la seva funció és la de regular l'aigua que flueix fins al rodet.

La peça número 3 és el rodet, i és la peça més important de la turbina. En aquest component l'energia cinètica de l'aigua és transferida a la turbina en forma d'energia mecànica, que llavors pot ser convertida a elèctrica mitjançant el generador.

El 4 i 5 són respectivament el colze de sortida i el tub d'aspiració. El colze de sortida és la característica que ens permet veure que es tracta d'una francis horitzontal, ja que per les característiques constructives les francis verticals no disposen d'aquest element. El tub d'aspiració és una conducció que uneix la turbina amb el canal de descàrrega.

El 6 és la canal de descàrrega, el canal on l'aigua retorna al riu després de ser utilitzada per la turbina.

Les principals avantatges d'aquest tipus de turbina són: experimenten poques pèrdues hidràuliques, la qual cosa aporta un gran rendiment de l'equip. El seu disseny és molt robust garantint el seu funcionament durant dècades. No precisen d'un manteniment gaire elevat.

Una vegada coneguts els principals aspectes de la turbina, sabent que el preu de mercat d'una turbina de característiques semblants a la de la central tindria un valor de mercat d'uns 45.000€, preu força elevat es decideix d'aprofitar la turbina existent tot realitzant-hi algunes accions per millorar-la.

Primer de tot s'analitzarà al detall l'estat de tots els àleps que formen la turbina, els àleps que no estiguin en condicions òptimes per garantir el bon funcionament de la central es substituiran per àleps nous. Seguidament és repintaran totes les parts de la turbina necessàries per garantir que l'òxid no penetra en llocs no desitjats, evitant així possibles incidències a causa de l'òxid. Es greixaran totes les parts mòbils per evitar així friccions que puguin disminuir el rendiment de la turbina. I per últim s'instal·laran un conjunt de millores tècniques per a millorar la seguretat operacional de la turbina, aquestes millores es detallen a continuació.

La primera millora és la instal·lació d'un potenciòmetre lineal per saber en tot moment quina és la posició del distribuïdor de la turbina d'aquesta manera es pot saber sempre quina quantitat d'aigua s'està introduint a la turbina, i per tant la potència entregada.

Sensibilitat	0.01mm
Resistència	5kΩ
Tipus de senyal de sortida	Analògic, a 3 fils
Grau de protecció	IP 60

Taula 3. Característiques del sensor de posició del distribuïdor

A més a més es condicionarà el senyal de sortida del potenciòmetre per tal de que arribi amb les condicions desitjades al mòdul d'entrades analògiques de l'autòmat. Aquest condicionador de senyal serà un Pr Electronics model 4116 , on s'hi pot introduir una senyal de potenciòmetre lineal, i com a sortida s'obté una senyal analògica de 4-20mA.

La segona millora és la instal·lació d'una sonda PT-100 al coixinet de la turbina, per tal de saber en tot moment la temperatura del coixinet i poder identificar possibles incidències. Aquesta sonda podrà arribar a mesurar temperatures de 400C°, un valor prou elevat sabent que la temperatura de funcionament normal dels coixinets de la turbina és de 65C°. A més a més aquesta sonda també disposarà d'un condicionador de senyal per convertir la senyal a una senyal de 4-20mA i així anar connectada al mòdul d'entrades analògiques de l'autòmat tal com es fa amb el potenciòmetre.

4.2 Generador

Ja s'ha comentat varies vegades en aquest projecte que l'anterior generador de la central va quedar completament destrossat és per això que es substitueix per un de nou. S'han de seguir una sèrie de passos quant a elegir un generador, el primer seria triar la potència adequada pensant en el tipus de instal·lació de que es disposa. Per calcular la potència es realitza mitjançant la següent equació:

$$P=g*H*q*\eta \quad (\text{Eq.13})$$

D'on g és la gravetat, H és el salt net disponible (31,64m), q és el cabal màxim que es pot turbinar (0,5m³/s) i η és el rendiment del grup turbina generador, aquest serà considerat un 80% que és un dels rendiments més estandarditzats per grups electró-mecànics amb aquestes característiques.

D'aquesta manera la potència màxima disponible és de 124,15kW. Òbviament és impossible trobar al mercat un generador de 124,15kW, el que fa que s'instal·li un generador amb una potència lleugerament superior ja que els valors normalitzats que es troben al mercat acostumen a ser de 132kW.

Una vegada definida la potència del generador un dels altres aspectes importants a tenir en compte és si es tracta d'un generador síncron o un generador asíncron. Per saber quin tipus

és el millor per la central que s'està desenvolupant es comentaran les seves principals característiques.

Els generadors síncrons, són generadors que treballen a velocitat constant, la qual cosa facilita la regulació de tensió i freqüència. D'altre banda aquest tipus de generador és car, precisa d'un manteniment elevat i necessita de refrigeració, ja sigui per aire o per aigua.

Els generadors asíncrons són generadors simples, robustos i amb un manteniment baix a més a més la seva connexió a la xarxa es pot realitzar de manera senzilla. Com a inconvenient aquests generadors consumeixen grans quantitats de potència reactiva, la qual cosa pot provocar la instal·lació d'una bateria de condensadors per compensar el factor potència, tal com es veurà més endavant.

La central que s'està tractant, es una central de poca potència que es dissenya de manera que pugui ser tele operada, és a dir que en comptades ocasions hi hagi d'anar un persona a controlar quelcom o realitzar manteniments, per d'aquesta manera reduir costos. Aquestes característiques comporten instal·lar un generador asíncron.

Una de les característiques que determinarà l'elecció del generador es que la tensió de sortida en borns del generador sigui en baixa, és a dir 400V, de tal manera que realitzant els canvis oportuns a la instal·lació, es pugui tenir una central que injecta energia a la xarxa de baixa tensió o un central on s'injecta energia en barres d'una industria pel seu propi consum i d'aquesta manera reduir la factura elèctrica mes a mes.

Seguidament ja es poden buscar generadors comercials que satisfacin les necessitats imposades per les característiques de la central. Actualment a Catalunya s'hi troben instal·lades la majoria de marques capdavanteres en construcció i comercialització de generadors, Alstom, ABB, Siemens, Schneider. Una vegada s'han consultat la majoria de catàlegs d'aquest fabricants es creu convenient instal·lar un generador de la marca Siemens, degut al bon preu que realitza aquesta marca, i el seu servei post-venda de qualitat.

En aquest moment ja tenim les principals característiques del generador definides, aquestes es presenten en forma de taula resum a la taula 4, on es poden consultar els principals paràmetres d'aquests.

Marca	Siemens
Tipus	Asíncron
Tensió nominal	400V
Potència nominal	132kW
Freqüència	50Hz
Velocitat nominal	1000r.p.m
Grau de protecció	IP 21
Forma	B3
Moment d'inèrcia	4,02 kgm ²
Nivell sonor a plena càrrega	69dB
Factor de potència a mitja càrrega	0,75
Factor de potència a plena càrrega	0,86

Taula 4. Característiques del generador a instal·lar

D'altres característiques a destacar són: el gir del generador es realitzarà mitjançant rodaments lubricats amb grassa, el pic de corrent en l'arrancada pot ser de fins a 7,5 vegades el valor nominal, està construït amb acer de fosa.

A més a més com a mesura preventiva addicional s'instal·la una sonda PT-100 a un dels coixinets del generador que dona senyal a l'autòmat tal com es realitza amb el coixinet de la turbina. D'aquesta manera ens assegurem tenir informació sobre la temperatura de treball en una peça tant cara com és el generador, la qual representa un 20% de la inversió que s'ha realitzat a la central.

Quant al règim de treball, al tractar-se d'un generador asíncron aquest només podrà treballar acoblat a la xarxa ja que la creació del camp magnètic de l'estator es realitza mitjançant la xarxa d'aquesta manera es pot assegurar que s'està generant un sistema de tensions trifàsic a 50 Hz idèntic al de la xarxa. És per aquest motiu que s'haurà de col·locar un banc de condensadors per tal de compensar el factor potència, sinó aquest seria molt dolent.

Com a mesura complementaria s'instal·la un sensor de velocitat inductiu a l'eix que uneix turbina i generador. Mitjançant la instal·lació d'aquest sensor es pot obtenir la velocitat de la màquina, i mitjançant dues entrades a autòmat connectar el generador a la xarxa si es troba rodant a velocitat nominal, o d'altre banda si el generador es troba girant a una velocitat molt superior a la nominal desconcertar-lo per tal d'evitar problemes.

4.2.1 Banc de condensadors

Les instal·lacions de règim especial estant obligades a complir amb un certs mínims en quan a energia reactiva. El Reial Decret 1565/2010 estableix que el factor de potència de la instal·lació s'ha de mantenir entre 0,98 capacitiu i 0,98 inductiu penalitzant 0,086998€/kWh factors potència més dolents. S'ha de tenir present que la legislació actual ha derogat l'annex d'aquesta llei on s'establien bonificacions per valors molt pròxims a 1 de factor potència. Sabent doncs que el factor potència del generador treballant a règims més baixos que el nominal es bastant llunyà al 0,98 que exigeix la normativa s'ha d'instal·lar un banc de condensadors per tal d'eleva el valor de factor potència als nivells exigits per la normativa. Sinó s'adoptés aquesta mesura, pràcticament en molts moments, per no dir sempre la central estaria incomplint la normativa amb un sobre cost econòmic que faria pràcticament inviable l'operació de la central. A continuació es calcularà quin ha de ser el valor del banc de condensadors a instal·lar.

Primerament s'ha de calcular la potència de compensació. Per calcular la potència és necessari saber el factor potència inicial. Tal com s'ha comentat anteriorment l'element que fa que el factor potència de la instal·lació sigui dolent és el generador asíncron. Com més baix és el regim de càrrega del generador més dolent és el factor potència. És per aquest motiu que per determinar el factor potència inicial de la instal·lació s'agafa com a referència el factor potència del generador treballant a un 50% del seu règim nominal. Segons el fabricant el factor potència per a generadors asíncrons d'aquestes característiques a un règim del 50%, acostuma a ser un valor pròxim a 0,75. Per tant el factor potència inicial és de 0,75 i el factor potència desitjat a la instal·lació és 0,98. S'agafarà com a valor 0,99 assegurant així que amb la potència de compensació elegida es pot corregir amb escreix el factor potència inicial i d'aquesta manera complir sempre amb la normativa vigent, evitant penalitzacions. La majoria dels fabricants d'equips de compensació de reactiva ja ofereixen taules on depenent del factor potència inicial i el factor potència desitjat s'obté pràcticament de forma immediata la potència de compensació. A la figura 11 hi ha una taula facilitada per un d'aquest fabricants i és la que es farà servir per determinar la potència necessària de la instal·lació projectada.

Factor de potencia original	Factor de potencia deseado																				
	0,80	0,81	0,82	0,83	0,84	0,85	0,86	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,99	1,00
0,50	0,982	1,008	1,034	1,060	1,086	1,112	1,139	1,165	1,192	1,220	1,248	1,276	1,306	1,337	1,369	1,403	1,442	1,481	1,529	1,590	1,732
0,51	0,937	0,962	0,989	1,015	1,041	1,067	1,094	1,120	1,147	1,175	1,203	1,231	1,261	1,292	1,324	1,358	1,395	1,436	1,484	1,544	1,687
0,52	0,893	0,919	0,945	0,971	0,997	1,023	1,060	1,076	1,103	1,131	1,159	1,187	1,217	1,248	1,280	1,314	1,351	1,392	1,440	1,500	1,643
0,53	0,850	0,876	0,902	0,928	0,954	0,980	1,007	1,033	1,060	1,088	1,116	1,144	1,174	1,205	1,237	1,271	1,308	1,349	1,397	1,457	1,600
0,54	0,809	0,835	0,861	0,887	0,913	0,939	0,966	0,992	1,019	1,047	1,075	1,103	1,133	1,164	1,196	1,230	1,267	1,308	1,356	1,416	1,359
0,55	0,769	0,795	0,821	0,847	0,873	0,899	0,926	0,952	0,979	1,007	1,035	1,063	1,090	1,124	1,156	1,190	1,228	1,268	1,316	1,377	1,519
0,56	0,730	0,756	0,782	0,808	0,834	0,860	0,887	0,913	0,940	0,968	0,996	1,024	1,051	1,085	1,117	1,151	1,189	1,229	1,277	1,338	1,480
0,57	0,692	0,718	0,744	0,770	0,796	0,822	0,849	0,875	0,902	0,930	0,958	0,986	1,013	1,047	1,079	1,113	1,151	1,191	1,239	1,300	1,442
0,58	0,655	0,681	0,707	0,733	0,759	0,785	0,812	0,838	0,865	0,893	0,921	0,949	0,976	1,010	1,042	1,076	1,114	1,154	1,202	1,263	1,405
0,59	0,618	0,644	0,670	0,696	0,722	0,748	0,775	0,801	0,828	0,856	0,884	0,912	0,943	0,973	1,005	1,039	1,077	1,117	1,165	1,226	1,368
0,60	0,584	0,610	0,636	0,662	0,688	0,714	0,741	0,767	0,794	0,822	0,850	0,878	0,905	0,939	0,971	1,005	1,043	1,083	1,131	1,192	1,334
0,61	0,549	0,575	0,601	0,627	0,653	0,679	0,706	0,732	0,759	0,787	0,815	0,843	0,870	0,904	0,936	0,970	1,008	1,048	1,096	1,157	1,299
0,62	0,515	0,541	0,567	0,593	0,619	0,645	0,672	0,698	0,725	0,753	0,781	0,809	0,836	0,870	0,902	0,936	0,974	1,014	1,062	1,123	1,265
0,63	0,483	0,509	0,535	0,561	0,587	0,613	0,640	0,666	0,693	0,721	0,749	0,777	0,804	0,838	0,870	0,904	0,942	0,982	1,000	1,091	1,233
0,64	0,450	0,476	0,502	0,528	0,554	0,580	0,607	0,633	0,660	0,688	0,716	0,744	0,771	0,805	0,837	0,871	0,909	0,949	0,997	1,066	1,200
0,65	0,419	0,445	0,471	0,497	0,523	0,549	0,576	0,602	0,629	0,657	0,685	0,713	0,740	0,774	0,806	0,840	0,878	0,918	0,966	1,027	1,169
0,66	0,388	0,414	0,440	0,466	0,492	0,518	0,545	0,571	0,598	0,626	0,654	0,692	0,709	0,742	0,755	0,809	0,847	0,887	0,935	0,996	1,138
0,67	0,358	0,384	0,410	0,436	0,462	0,488	0,515	0,541	0,568	0,596	0,624	0,652	0,679	0,713	0,745	0,779	0,817	0,857	0,906	0,966	1,108
0,68	0,329	0,355	0,381	0,407	0,433	0,459	0,486	0,512	0,539	0,567	0,595	0,623	0,650	0,684	0,716	0,750	0,788	0,828	0,876	0,937	1,079
0,69	0,299	0,325	0,351	0,377	0,403	0,429	0,456	0,482	0,509	0,537	0,565	0,593	0,620	0,654	0,686	0,720	0,758	0,798	0,840	0,907	1,049
0,70	0,270	0,296	0,322	0,348	0,374	0,400	0,427	0,453	0,480	0,508	0,536	0,564	0,591	0,625	0,657	0,691	0,729	0,769	0,811	0,878	1,020
0,71	0,242	0,268	0,294	0,320	0,346	0,372	0,399	0,425	0,452	0,480	0,508	0,536	0,563	0,597	0,629	0,663	0,701	0,741	0,783	0,850	0,992
0,72	0,213	0,239	0,265	0,291	0,317	0,343	0,370	0,396	0,423	0,451	0,479	0,507	0,534	0,568	0,600	0,624	0,672	0,712	0,754	0,821	0,963
0,73	0,186	0,212	0,238	0,264	0,290	0,316	0,343	0,369	0,396	0,424	0,452	0,480	0,507	0,541	0,573	0,607	0,645	0,685	0,727	0,794	0,936
0,74	0,159	0,185	0,211	0,237	0,263	0,289	0,316	0,342	0,369	0,397	0,425	0,453	0,480	0,514	0,546	0,580	0,618	0,658	0,700	0,767	0,909
0,75	0,132	0,158	0,184	0,210	0,236	0,262	0,289	0,315	0,342	0,370	0,398	0,426	0,453	0,487	0,519	0,553	0,591	0,631	0,673	0,740	0,882

Figura 10. Determinació de la potència a compensar

Mitjançant la figura 10 s'obté una constant que mitjançant l'equació 14, permet calcular la potència a compensar.

$$P_c = P \cdot K \quad (\text{Eq.14})$$

D'on P_c és la potència de compensació necessària. P és la potència nominal del generador i K és la constant obtinguda mitjançant la figura 10. Substituint les variables pels seus corresponents valors s'obté que la potència de compensació necessària és de 98kVAR, degut a que al mercat no es troben bateries amb aquest valor exacte de compensació s'instal·la una bateria de 100kVAR

Un cop definida la potència de compensació el següent aspecte a tenir en compte és si es desitja compensar de manera fixa la reactiva, o d'altre banda de manera variable. En una central hidroelèctrica on el regim de funcionament de la turbina pot anar variant, i conseqüentment la potència injectada i per tant el factor potència del sistema. El mètode que s'adapta millor a la instal·lació que s'està dimensionant és el de compensar de manera variable.

Actualment al mercat es poden trobar molts tipus de bancs de compensació, en concret per la instal·lació es busca un banc d'una potència d'uns 100kVAR i de tipus variable. Tal com passa amb el generador totes les marques punteres ofereixen els seus productes.

Una de les marques que ofereix més informació sobre compensació de reactiva és Schneider, de tal manera que s'opta per instal·lar un armari marca Schneider. Dins la mateixa marca hi ha moltes eleccions possibles. Les modalitats Fast i Fix queden descartades, una per l'elevat preu i l'altre per les característiques tècniques. Per tant s'opta per instal·lar el model Varset, que són bateries automàtiques en baixa tensió. S'opta per instal·lar el model Varset 52884, que és un dels models més econòmics, pràcticament val 3 vegades menys que el següent model. Aquesta diferència de preu ve determinada ja que l'equip que s'instal·la no disposa de filtratge d'harmònics, però sabent que en aquesta instal·lació els harmònics venen provocats pel generador i aquests són controlats pel relé de protecció de generador evitant que sobrepassin un valor determinat es pot prescindir del filtre, amb el seu corresponent estalvi econòmic. Les principals característiques d'aquesta bateria de condensadors es poden apreciar a la taula 5

Potència reactiva	100 kVAR
Nº de passos	5 passos de 20 kVAR
Tensió de xarxa	400V
Freqüència	50Hz
Tensió assignada d'aïllament	690V
Grau de protecció	IP 31

Taula 5. Característiques bateria de condensadors

A més a més de totes les característiques esmentades anteriorment el banc de condensadors consta d'una alarma de temperatura, que es enviada a un relé i a una entrada de l'autòmat, d'aquesta manera es poden detectar possibles incidències abans que tinguin lloc i pugin tenir conseqüències devastadores.

4.3 Transformador

L'antic transformador de la central es va incendiar a conseqüència de l'esclat del generador i s'ha de substituir completament per un transformador nou.

A dia d'avui el mercat s'hi troben molts tipus de transformadors, secs, banyats amb oli, dissenyats especialment per exteriors etc. La primera decisió que s'hauria de prendre és

quin tipus de transformador es vol instal·lar a la central i una vegada presa aquesta decisió consultar el catàleg per veure si hi ha algun transformador d'aquest tipus que s'adapti a les característiques de la central.

Una de les principals característiques que determina el funcionament del generador és si és sec o en oli.

Els transformadors secs normalment s'instal·len a l'interior de la central, i per tant es redueix l'obra civil derivada de la construcció d'un centre de transformació. Aquest tipus de transformador té una capacitat d'evacuació del calor limitada i s'ha de tenir en compte per dissenyar un bon sistema de refrigeració de l'edifici.

Els transformadors d'oli requereixen sempre de la construcció d'una cubeta per recollir l'oli degut a qualsevol fuga o vessament. Al trobar-se submergit a l'oli i disposar de radiadors l'hi és molt més fàcil dissipar la calor podent aconseguir potències de funcionament molt més elevades. D'altra banda al tenir com a principal refrigerant oli s'ha de tenir molta cura d'aquest realitzant inspeccions de manteniment predictiu sovint per tal de comprovar que sigui capaç d'evacuar l'escalfor.



Figura 11. Transformador sec Schneider Trihal

En el cas de la central en qüestió on hi ha instal·lat un generador de 132kW es pot instal·lar perfectament un transformador sec ja que la potència és relativament baixa i d'aquesta

manera es redueixen els costos d'obra civil i manteniment. Ja que per evitar possibles problemes s'ha de realitzar un manteniment molt exhaustiu de l'oli i els sistemes de protecció.

Al mercat s'hi poden trobar molts tipus de transformadors secs. Les marques que ofereixen millors prestacions són Schneider i ABB.

A la taula 6 s'ha realitzat una taula comparativa de dos transformadors amb les pèrdues i mides d'ambdós transformadors de les respectives marques per intentar decidir quin és el que millor s'adapta a la central.

	ABB	Schneider
Tensions assignades	0,4/25kV	0,4/25kV
Potència nominal	160kVA	160kVA
Freqüència	50Hz	50Hz
Pèrdues en buit	750W	650W
Pèrdues en càrrega(75°C)	2550W	2350W
Pèrdues en càrrega(120°C)	2900W	2700W
Longitud	1,380m	1,100m
Amplada	0,780m	0,695m
Alçada	1,180m	1,285m
Pes	865kg	860kg
Grau d'aïllament	Ip 31 (carcassa)	IP 31 (carcassa)

Taula 6. Característiques dels transformadors de la central

Es pot comprovar com els paràmetres de pèrdues d'ambdós transformadors són semblants, seguint una mica menors a l' Schneider la qual cosa dificulta l'elecció del transformador. Si ens fixem en les mides dels 2 transformadors es pot comprovar com el transformador Schneider presenta unes mides més reduïdes, cosa que el fa més apte per a la central en qüestió, ja que l'espai dins la casa de màquines és reduït.

Quan s'està parlant de transformadors un aspecte molt a tenir en compte és la ventilació d'aquest, ja que una adequada ventilació del transformador garanteix la vida útil del transformador i una gran seguretat durant la seva operació ja sigui en règim nominal o en sobrecarregues transitòries. És per aquest motiu que es procedeix a calcular els orificis de ventilació necessaris a la casa de màquines, aquest seran calculats mitjançant les equacions 15 i 16 facilitades pel fabricant. S'utilitzen les fórmules per ventilació natural com és el cas de la central que s'està rehabilitant.

$$S = \frac{0,18P}{\sqrt{H}} \quad (\text{Eq.15})$$

D'on S és la superfície en metres quadrats del forat de ventilació de la part inferior del local, P la suma de les potències en pèrdues degudes a la càrrega del transformador expressats en kW (2,7kW) i H l'altura entre els 2 orificis de ventilació que és de 4m. De tal manera que s'ha de realitzar un orifici de ventilació de 0,12m²

A continuació es calcula la superfície del forat superior de ventilació mitjançant l'equació 16

$$S' = 1,10S \quad (\text{Eq.16})$$

S' és la superfície del forat de ventilació superior i S és la superfície del forat de ventilació inferior calculada mitjançant l'equació 14. Per tant la superfície del forat de ventilació superior és de 0,14m².

Com a ultima mesura preventiva contra possibles problemes del transformador aquest disposa d'una sonda PT-100 instal·lada a cada una de les fases del costat de baixa. Mitjançant aquestes sondes es poden detectar possibles sobreescalfaments. Aquestes sondes es troben situades al costat de baixa ja que les intensitat són molt més elevades i conseqüentment el risc d'algun problema en els bobinats és superior. El mateix fabricant ja incorpora el sistema de tractament de senyal de les sondes a l'interior del transformador, amb una alarma pre-configurada a 140C° de tal manera que es pugui donar senyal als sistemes d'automatització de la central.

5. REMODELACIÓ PROTECCIONS

Es decideix renovar totes les antigues proteccions de la central, ja que es trobaven en força mal estat i la majoria no complien els requisits de normativa actual.

5.1 Protecció del generador

La determinació de les proteccions del generador venen imposades per les seves característiques nominals. Al tractar-se d'un generador que genera a 400V fa que s'hagi de protegir d'acord amb el Reglament de baixa tensió i les seves instruccions tècniques complementaries. L'ITC 40 detalla exactament quines proteccions mínimes ha de disposar el generador.

Primerament ha de disposar de protecció contra sobreintensitats, mitjançant relés directes magnetotèrmics o una solució equivalent. Al mercat hi ha multitud de models que serveixen per aquesta aplicació. El primer paràmetre que es necessita saber és quin ha de ser el poder de tall d'aquest interruptor mitjançant l'equació 17

$$I_{cc} = k \frac{S_r}{\sqrt{3} \cdot U_n} \quad (\text{Eq.17})$$

D'on K és un coeficient de seguretat normalment 1,25 S_r és la potència de curtcircuit de la instal·lació i U_n és el voltatge nominal de la instal·lació 400V. El valor de S_r ha estat obtingut mitjançant els càlculs de l'Annex C a la pàgina 86. De tal manera s'obté que la intensitat de curtcircuit aportada per la xarxa serà de aproximadament 2kA. A més s'hi ha de sumar la intensitat de curtcircuit aportada pel generador. Aquesta es calcula mitjançant l'equació següent.

$$I_{CCG} = \frac{1,25 \cdot U_n}{3 \cdot X_G} \quad (\text{Eq.18})$$

D'on U_n és la tensió nominal del generador en kV i X_G és la impedància característica del generador calculada mitjançant l'equació 47 de l'Annex C a la pàgina 87. De tal manera que s'obté que la intensitat aportada pel generador és de 1,61kA.

Per tant sumant les intensitats s'obté que el poder de tall de l'interruptor ha de ser superior a 4kA. Gran part dels interruptors que es troben al mercat tenen valors molt superiors al calculat, ja que d'aquesta manera els fabricants s'asseguren que són vàlids per la majoria d'instal·lacions.

A més a més s'ha de calcular la intensitat nominal d'aquest interruptor, això es realitza mitjançant l'equació 19

$$I_N = \frac{P_g}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\alpha)} \quad (\text{Eq.19})$$

D'on P_g és la potència nominal de generador (132kW), U_n la tensió nominal de la xarxa (400V) i $\cos(\alpha)$ és el factor potència del generador(0,86). Amb aquestes condicions la intensitat nominal de l'interruptor ha de ser de 250A

Finalment s'opta per instal·lar un interruptor Schneider NSX 250N amb les següents característiques, de tal manera que es compleix amb escriu els paràmetres anteriorment calculats. A la següent taula es poden apreciar les principals característiques de l'interruptor

Tipus de protecció	Magnetotèrmica
Tensió de treball assignada	690V
Tensió d'aïllament assignada	800V
Intensitat nominal	250A
Freqüència	50Hz
Pols protegits	3
Poder de tall en servei	50kA a 400V i 50HZ

Taula 7. Característiques de la protecció magnetotèrmica del generador

Un avantatge d'aquest tipus de protecció és la possibilitat d'instal·lar una gran quantitat d'accessoris a aquest interruptor. A més a més existeix la possibilitat d'operar-lo mitjançant relés que poden ser connectats a les sortides de l'autòmat, d'aquesta manera es pot aconseguir connectar el generador quan es donen les condicions desitjades, per exemple que la central es troba connectada a la xarxa i no hi cap protecció disparada.

A més el reglament també imposa que el generador també s'ha de trobar protegit contra subtensions, sobretensions, freqüència...gràcies a la proliferació de moltes instal·lacions de generació existeixen al mercat relés dissenyats específicament per aquest tipus d'aplicació.

Per assegurar el bon funcionament del relé en el conjunt de la central s'han de tenir en compte una sèrie de característiques. El relé ha de tenir compatibilitat amb sistemes Schneider NSX, ha de tenir un protocol de comunicacions robust i fiable podent disparar així la connexió del generador quan sigui necessari i complir amb les característiques tècniques exigides pel reglament.

Un relé de protecció del generador que ofereix les característiques esmentades anteriorment és l'Orion Italia SMPR-1. Aquest relé ha estat específicament dissenyat per la protecció de generadors de centrals elèctriques. Disposa de protecció contra sobre tensions i subtensions, control de la freqüència, factor potència, sobrecorrents, desequilibris de fases i inversió del sentit del corrent. Aquest últim aspecte és de vital importància per determinar si el generador consumeix corrent, és a dir actua com a motor.

En termes de comunicació disposa de la possibilitat de connexió mitjançant RS485 la qual cosa el fa vàlid per la connexió amb la majoria de PLC's del mercat.



Figura 12. Relé de protecció del generador

5.2 Proteccions de mitja tensió

La central es troba connectada a una línia de distribució de mitja tensió, aquesta línia és propietat d' Endesa això fa que s'hagin de seguir una sèrie de normes tècniques per tal d'assegurar la compatibilitat de la instal·lació projectada.

Per dimensionar les proteccions s'utilitza la norma tècnica particular d'instal·lacions d'enllaç en mitja tensió i la norma tècnica particular d'instal·lacions de connexió en mitja tensió mitjançant línies privades. Aquestes normes afecten majoritàriament totes aquelles instal·lacions connectades en barres de mitja tensió d'un C.T o en el seu defecte d'una línia.

En aquestes normes ja es detalla de quines proteccions s'ha de disposar per a complir amb la normativa. Per les característiques de la instal·lació és necessari instal·lar un seccionador de posada a terra i un interruptor automàtic que protegeixi contra sobreintensitats tant de fase com del corrent homopolar a més a més hauran de ser selectives per tal de no disparar les proteccions aigües amunt, és a dir a la subestació d'Endesa.

Les característiques elèctriques que han de complir aquestes proteccions ja estant completament definides per la companyia. Aquestes característiques són les mostrades a les taules 8 i 9, l'únic procés que s'ha de realitzar per determinar aquestes proteccions és buscar a les principals marques del sector els models que més s'adaptin a les característiques imposades per Endesa. A la taula número 8 s'hi poden observar els nivells d'aïllament assignats per aquest tipus d'instal·lació de MT.

Tensió		Tensió assignada de xoc tipus llamp		Tensió assignada a 50Hz durant 1 minut	
Assignada de la xarxa alimentadora	Més elevada pel material	A terra entre pols i entre borns de l'aparell de connexió obert	A la distància de seccionament	A terra entre pols i entre borns de l'aparell de connexió obert	A la distància de seccionament
25kV	36kV	170kV	195kV	70kV	80kV

Taula 8. Nivells d'aïllament de l'aparellatge

A la taula 9 s'hi poden observar els corrents mínims de curtcircuit mínims que hauran de ser capaços d'aguantar les proteccions.

Tensió assignada de la xarxa	Intensitat assignada de curta durada (límit tèrmic)	Valor de cresta de la intensitat de curt circuit admissible assignada (límit dinàmic)
25kV	20kA	50kA

Taula 9. Característiques del material de MT

D'aquesta manera es poden cercar al mercat elements que compleixin amb aquestes característiques.

Quan a l'interruptor automàtic s'instal·la un Schneider HVX 36-25-12-E, aquest interruptor automàtic va instal·lat dins una cel·la modular. A més la normativa imposa que aquest interruptor automàtic ha de tenir una intensitat nominal de com a mínim 630A. L'interruptor que s'instal·la compleix amb escriu totes les característiques mencionades anteriorment.

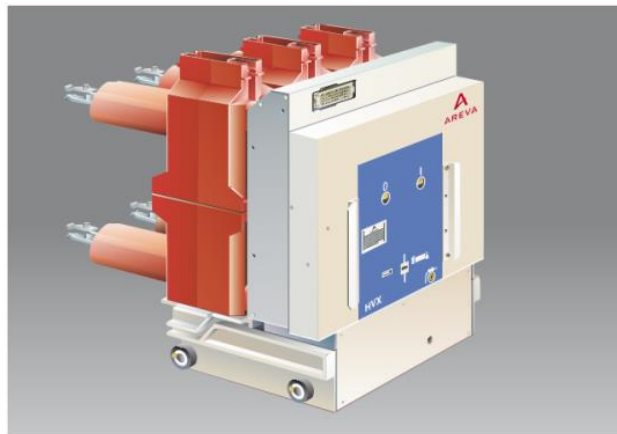


Figura 13. Interruptor Schneider HVX

Aquest aparell s'ha de complementar mitjançant un relé que sigui capaç de detectar quelcom més que les sobreintensitats, és per això que s'instal·larà un relé multi funció, d'aquesta manera a més de complir amb les normes d'Endesa es protegirà el transformador de potència de la instal·lació.

El relé que s'instal·la és un ABB REJ 525, aquest és un relé pensat especialment per protegir la sortida en Alta dels transformadors de potència. Aquest relé és capaç de detectar discontinuïtats de fase és a dir: el relé monitoritza les intensitat de fase mínimes i màximes mitjançant transformadors toroïdals i calcula la diferència entre elles, quan aquest valor és superior al configurat, l'etapa de protecció envia un senyal de dispar per obrir l'interruptor automàtic. També disposa de protecció contra fallades de l'interruptor, si quan es detecta una falla aquest no és solucionada en un temps de 0,10 a 1s el relé també genera un senyal d'alarma. A més també es pot utilitzar per detectar corrents de falta a terra i corrents homopolars. Aquest relé juntament amb l'Interruptor automàtic fan la funció de la cel·la de protecció d'obligada instal·lació segons normativa.



Figura 14. Relé de protecció ABB REJ 525

Finalment segons normativa és necessari instal·lar un seccionador. Aquest normalment no és considerat una protecció pròpiament dita ja que per obrir o tancar el seccionador és necessari primer obrir o tancar l'interruptor. D'altre banda el seccionador ofereix una seguretat visual als operaris ja que poden veure si la instal·lació, està en tensió o no.

Per saber els paràmetres que ha de complir el seccionador s'utilitzen els de la taula 8, òbviament els de la taula 9 queden descartats ja que tal com s'ha comentat el seccionador no té poder de tall.

Es procedeix a instal·lar un seccionador de posada a terra Schneider Flusarc de 36kV. Aquest seccionador serà una cel·la compacta aïllada amb gas SF₆. A continuació es detallen els principals elements que formen la cel·la mitjançant la figura 15.

Aquest seccionador serà un seccionador de posada a terra per tal de posar les parts desconnectades de les cel·les a terra i, ja que es tracta d'un seccionador multipolar, de posar aquestes cel·les en curtcircuit al mateix temps. Així s'aconsegueix també poder derivar els corrents que es pugin generar cap a terra aigües dins la central, aportant d'aquesta manera una protecció extra.

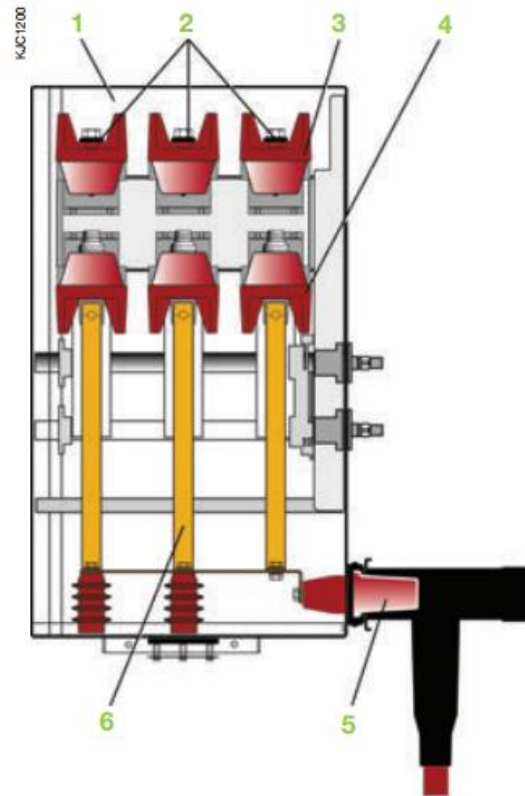


Figura 15. Parts del seccionador Flusarc

El nº 1 representa el gas que està aïllant la cel·la, el nº 2 són les barres principals del seccionador, els números 3 i 4 són els suports aïllants superior i inferior respectivament i el número 5 és per on s'introdueixen els cables. Finalment el nº 6 són les ganivetes.

Aquesta cel·la on s'hi troba instal·lat el seccionador de posada a terra també es pot conèixer amb el nom de cel·la de línia, d'obligada instal·lació segons normes de la companyia. Segons certes nomenclatures també es podria dir cel·la de sortida ja que aquesta cel·la és on surt l'energia cap a la xarxa. En aquest cas a la instal·lació no s'hi troba cel·la d'entrada ja que es una instal·lació en punta.

5.3 Proteccions en baixa tensió

Les proteccions que protegien els elements en baixa tensió de dins la central es van veure completament destruïts és per això que es decideix renovar la totalitat d'aquest elements.

A l'entrada de la instal·lació en baixa tensió s'instal·len uns fusibles per tal de protegir contra sobreintensitats els conductors de la instal·lació, evitant que es produeixi un sobreescalfament que pugui deteriorar l'aïllament o evitar possibles guspireigs a les connexions.

Per determinar el calibre dels fusibles s'ha de tenir en compte dos paràmetres, que els fusibles estan situats aigües amunt d' una bateria de condensadors i la intensitat admissible dels cables.

El corrent que circula per la instal·lació es calcula mitjançant la següent equació:

$$I_N = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot U_n \cdot \cos(\alpha)} \quad (\text{Eq.20})$$

D'on P és la potència màxima a entregar pel generador i U_n la tensió nominal de la instal·lació i $\cos(\alpha)$ el factor potència de la instal·lació(0,99). De tal manera que la intensitat que circula per la instal·lació és de 192,45A.

Per tant s'han de seleccionar uns fusibles d'una intensitat superior a 200A. Uns bons fusibles relació qualitat-preu i amb el calibre necessari són els Schneider GS2N3, aquests fusibles reuneixen les característiques mostrades a la taula 10

Tensió nominal	400V
Intensitat nominal	250A
Freqüència de treball	50Hz
Tensió d'aïllament	700V
Capacitat de tall	2000kA a 400V

Taula 10. Característiques dels fusibles de protecció en BT

Se sap que els fusibles, els cables i la intensitat nominal de la instal·lació han de seguir una certa relació, aquesta relació és mostrada mitjançant la següent equació

$$I_N \leq I_F \leq I_C \quad (\text{Eq.21})$$

D'on I_N és la intensitat nominal de la instal·lació I_F la intensitat nominal dels fusibles i I_C la intensitat admissible del cable.

Per tant perquè els fusibles protegeixin la instal·lació s'han de instal·lar uns cables els quals la seva intensitat admissible sigui superior a 250A. Els cables a instal·lar a la central són cables PRYSMIAN de 120mm². I discorreran per la casa de màquines en safata perforada. De tal manera que la seva intensitat admissible és de 279A tal com informa el fabricant mitjançant unes taules que ofereix on s'informa de la intensitat admissible del cable segons diverses variables.

Sección nominal	Método F		
	Bandeja perforada	Bandeja tipo escalera	Cables unipolares en contacto
mm ²	(7)	(8)	(9)
4 (12)	36	29	30
6 (12)	46	37	39
10 (12)	64	52	55
16 (12)	86	71	74
25	114	96	99
35	141	119	124
50	171	145	151
70	218	199	196
95	264	230	239
120	306	268	279
150	353	310	324
185	403	356	371
240	475	422	441
300	547	488	511
400	656	571	599

Figura 16. Intensitat admissible dels cables de potència

A més a més tal com s'ha comentat anteriorment s'ha de tenir present que hi ha un banc de condensadors instal·lat aigües avall i pot provocar disjunts intempestius dels fusibles degut a les elevades corrents generades durant la connexió-desconnexió de diferents etapes i possibles harmònics. Els mateixos fabricants ofereixen unes taules on es pot determinar el calibre dels fusibles segons la potència reactiva instal·lada. Per determinar el calibre dels fusibles de la instal·lació és realitza mitjançant la taula facilitada pel fabricant i mostrada a continuació a la figura 17

Capacidad en kvar	5	10	20	30	40	50	60	75	100	125	150
Fusible gG en A	20	32	63	80	125	160	200	200	250	400	400

Figura 17. Criteris d'elecció dels fusibles segons la potència de compensació

Es pot comprovar doncs que els criteris d'elecció utilitzats anteriorment porten a utilitzar el mateix tipus de fusible.

La resta d'elements de la central tal com equips de mesura, equips auxiliars i maniobra estan protegits contra sobreintensitats i contactes tant directes com indirectes complint així les condicions que imposa el RBT. Els principals elements de protecció que conformen la part de baixa tensió són interruptors magnetotèrmics o guardamotors i interruptors diferencials. Les característiques de la majoria d'aquests es detallen a continuació.

Els magnetotèrmics són Schneider IC60N de 3 o 2 pols segons el punt de la instal·lació que es trobin instal·lats. S'ha optat per instal·lar aquest magnetotèrmic ja que és molt polivalent i serveix tant per corrent altern com per corrent continu. La intensitat nominal d'aquest elements ha estat elegida segons les necessitats de la instal·lació aigües avall. En el cas dels motors com per exemple del grup hidràulic s'ha optat per utilitzar un guardamotors, ja que estant dissenyats específicament per aquesta funció.

Contra contactes tant directes com indirectes es poden trobar instal·lats diferents interruptors diferencials, segons les característiques del punt que està protegint. En la part de més potència de la central s'utilitzarà un diferencial de 300mA de sensibilitat, ja que si es reduís la sensibilitat aquest diferencial podria tenir molts dispars intempestius degut al soroll que pot circular per les línies. En els auxiliars s'instal·la un diferencial de 30mA ja que aquesta part de la instal·lació està en contacte molt més pròxim amb les persones, i d'aquesta manera s'aconsegueix suficient seguretat en cas de defecte.

6. RENOVACIÓ DE LA LÍNIA D'INTERCONNEXIÓ DE LA CENTRAL

La central consta d'una línia d'interconnexió de 250m que l'hi permet està interconnectada a la xarxa de mitja tensió de Catalunya. La línia d'interconnexió es troba a la intempèrie i es veu afectada per molts agents meteorològics externs, pluja, vent, sol a més a més es va veure afectada per les grans nevades del 2010. La línia d'interconnexió és l'element que permet vendre l'energia a l'exterior, per tant es considera de gran importància ja que sense línia per molt que es generés energia no es podria arribar a vendre, i per tant generar benefici. És per això que es renova de tal manera que es pugui garantir el bon funcionament de la instal·lació durant molts anys.

Per a construir una nova línia d'interconnexió s'ha de tenir present el reglament sobre condicions “técnicas y garantías” de seguretat en línies elèctriques d'alta tensió, d'ara endavant RLAT. I la normativa particular d'Endesa per a línies d'interconnexió privades.

Primer de tot és necessari saber les principals característiques de la línia que s'ha de renovar. Aquestes es troben resumides a la següent taula, on s'hi pot consultar la tensió nominal, la caiguda de tensió màxima permesa etc.

Característiques de la línia	
Tensió nominal(kV)	25
Freqüència (Hz)	50
Potència (kVA)	132
Caiguda de tensió %	6%
Factor de potència	1
Nombre de circuits	1
Nombre de conductors per fase	1
Longitud de la línia (m)	250

Taula 11. Característiques de la línia a renovar.

Degut a la poca potència a transportar i la longitud continguda de la línia es decideix instal·lar el conductor de secció més baixa que permet el reglament i comprovar mitjançant els càlculs dels paràmetres elèctrics de la línia, si instal·lar aquest conductor es suficientment segur.

El conductor més petit que permet el reglament és el 47-AL1/8-ST1A, més conegut per la seva nomenclatura antiga com L 56. Les principals característiques del conductor es mostren a la taula 12 de la següent pàgina

Material	Alumini-Acer
Secció Total(mm²)	54,60
Composició	6+1
Diàmetre total (mm)	12,6
Resistència elèctrica c.c a 20C° (Ω/km)	0,6129
Densitat de corrent d'alumini (A/mm²)	2,04
Coefficient de dilatació lineal (°C⁻¹)	18,6x10 ⁻⁶

Taula 12. Característiques del conductor de la línia d'interconnexió.

6.1 Càlcul de la intensitat i potència màxima admissible de la línia

Es calcularà la potència màxima admissible per la secció del cable i la intensitat màxima admissible. Paràmetres suficients per determinar si és realment segur instal·lar aquest cable.

Es comença buscant la intensitat màxima admissible del conductor. Per una secció nominal de cable d'alumini de 50mm², la densitat de corrent és de 4A/mm². D'altra banda, per una secció de 70mm², la densitat de corrent disminueix a 3,55A/mm².

Si la secció del conductor a utilitzar és de 54,60mm², interpolant s'obté que la densitat de corrent del conductor és de 3,89A/mm².

A més a més en el reglament també s'estableix que pels conductors de composició 6+1 s'ha d'aplicar un coeficient corrector a la densitat de corrent de valor 0.937. Finalment la densitat de corrent del conductor és de 3,65A/mm².

Com que la secció del conductor és coneguda, amb un valor de 54,6 mm² es pot obtenir fàcilment el valor de la intensitat màxima admissible del conductor 199,19 A.

Amb la intensitat màxima admissible del conductor ja s'està en disposició de calcular la potència màxima que es pot transportar per la línia.

$$P=\sqrt{3} \cdot U_N \cdot I_{\max} \cdot \cos \alpha \quad (\text{Eq.22})$$

D'on U_n és la tensió nominal de la línia, $I_{\max}$ la intensitat màxima admissible del conductor i $\cos \alpha$ el factor potència de la línia. Per tant la potència màxima transportable per la línia és

de 853kW. Es pot comprovar com la potència és molt superior a la que realment ha de transportar. Per tant queda demostrat que instal·lant aquest cable la línia de transmissió es suficientment segura.

6.2 Càlcul de les pèrdues ocasionades per la instal·lació

Pel fet que l'equip de mesura, en lloc d'estar situat en el punt de connexió, està situat en un punt distant del mateix, les pèrdues ocasionades en la línia que uneix aquests punts va a càrrec del propietari de la central, i per tant són objecte de càlcul del present projecte. Tal com obliga l'actual normativa de Endesa.

Les pèrdues seran calculades mitjançant la següent equació, facilitada per Endesa.

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot L \left[\frac{P}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos \varphi} \right]^2 \quad (\text{Eq.23})$$

D'on R és la resistència en Ω/km del cable (s'obté mitjançant la taula 12), L és la longitud de la línia en km (0,250), U és la tensió nominal de la instal·lació en kV(25) i $\cos \varphi$ és el factor potència de la instal·lació (0,99). S'obté doncs que les pèrdues provocades per la instal·lació ascendeixen a un valor de 4,36kW.

6.3 Elecció del suport

Al tractar-se d'un tram pla els 250m de la línia d'interconnexió es poden salvar utilitzant únicament un únic suport, tal com es mostra a l'Annex F de la pàgina 91 del present document on s'ha realitzat el càlcul de la línia mitjançant el programa IMEDXSA. El programa ja busca el suport que més s'adequa a les necessitats de la instal·lació. En aquest cas el suport que més s'adapta és el C-200-24. Cal remarcar que el programa simula la línia amb dos suports però en el cas de la central no és exactament igual, sinó que l'escomesa es troba a la paret de la casa de màquines, l'escomesa envia l'energia al suport anteriorment projectat, i aquest envia l'energia ja a la xarxa d'Endesa. Les principals característiques d'aquest suport són: la secció del cap és prismàtica de forma quadrada per així poder instal·lar diferents tipus de creuetes i té el tronc piramidal format per diferents trams soldats.

La instal·lació del suport juntament amb les cimentacions aïlladors i d'altres elements característics de la línia corren a càrrec de l'empresa que la construeix i, per tant no són objecte d'aquest projecte.



Figura 18. Suport metàl·lic similar al projectat

7. RENOVACIÓ DE L'EQUIP D'AUTOMATITZACIÓ DE LA CENTRAL

En els últims anys hi ha hagut una forta innovació en termes d'automatització és per això que es dona per obsolet l'equip de què disposava la central.

Per a poder determinar quin autòmat pot ser vàlid per la central que s'està projectant s'han d'analitzar algunes de les característiques tècniques, les quals ha de disposar.

7.1 CPU, font d'alimentació i mòduls de comunicació

En primera instància s'analitzaran els equips que conformen la unitat bàsica d'automatització, aquest són la CPU de l'autòmat, la font d'alimentació i els mòduls de comunicació per poder-se comunicar amb l'exterior, ja que la central està pensada per ser tele operada.

Primer de tot i com a condició inamovible, el PLC ha de disposar de la possibilitat de comunicar-se via Ethernet, ja que mitjançant un router i Ethernet la central està en permanent connexió amb A.C.A i Endesa. A més a més ha de tenir la possibilitat de comunicar-se mitjançant RS-485 ja que els relés de protecció del generador i de mitja tensió es comuniquen mitjançant RS-485.

A més a més ha de disposar d'una velocitat de processament suficientment ràpida per a poder processar sense problemes les diferents entrades/sortides dels diferents elements que conformen la central, ja que tal com s'ha vist en qüestió d'estabilitat de generadors moltes vegades es tracta de mil·lèsimes de segon.

La sèrie CJ2M d'Omron ofereix aquestes característiques. De tal manera que es decideix instal·lar un autòmat de la sèrie CJ2M d'Omron. Concretament es decideix optar per la CPU 32 ja que els models inferiors no disposen o del port Ethernet o d'una velocitat de processament prou ràpida. A més aquesta C.P.U disposa de la possibilitat de incorporar un Slot amb un targeta de comunicacions opcional, podent d'aquesta manera transmetre amb RS-485 a més a més d'Ethernet.

Una vegada definida la part principal de l'autòmat s'han d'anar definint la resta d'elements que conformen l'equip bàsic d'automatització de la central.

Es necessita poder alimentar la C.P.U de l'autòmat i els mòduls que ho necessitin. Aprofitant que es disposa d'un bus per alimentar la majoria de components auxiliars de la central que funcionen a 24V es prioritza a trobar una font d'alimentació que sigui capaç de transformar els 24V del bus d'alimentació als 5V que necessita per funcionar la C.P.U i els diferents mòduls.



Figura 19. Cpu i font d'alimentació

La font d'alimentació que compleix amb aquestes condicions és l'Omron CJ1W-PD025. Aquesta font d'alimentació reuneix les següents característiques

Tensió d'alimentació	24Vcc
Tensió de sortida	5Vcc
Potència de sortida	25W
Capacitat d'alimentació	Fins a 7 Mòduls
Compatibilitat	Qualsevol Mòdul de la sèrie CJ d'Omron

Taula 13. Característiques de la font d'alimentació

Un altre component que conforme l'equip bàsic d'automatització és el mòdul de comunicacions amb port RS-485 que permet la comunicació amb la majoria de relés de control de la central.

El mòdul seleccionat és el CJ1W-SCU41-V1 que disposa d'un port RS-485 permeten així la comunicació entre els diferents elements de la central.

En aquests moments els únics elements que queden per determinar de l'equip d'automatització bàsic són els mòduls d'entrades i sortides. Per poder determinar les

entrades i sortides necessàries mínimes, primer es necessari conèixer els principals graficets/guia gemma del procés a automatitzar.

7.2 Guia gemma del procés a automatitzar

El primer pas a realitzar és determinar en quins estats de funcionament es pot trobar la central. Una eina útil per representar-ho es la guia gemma.

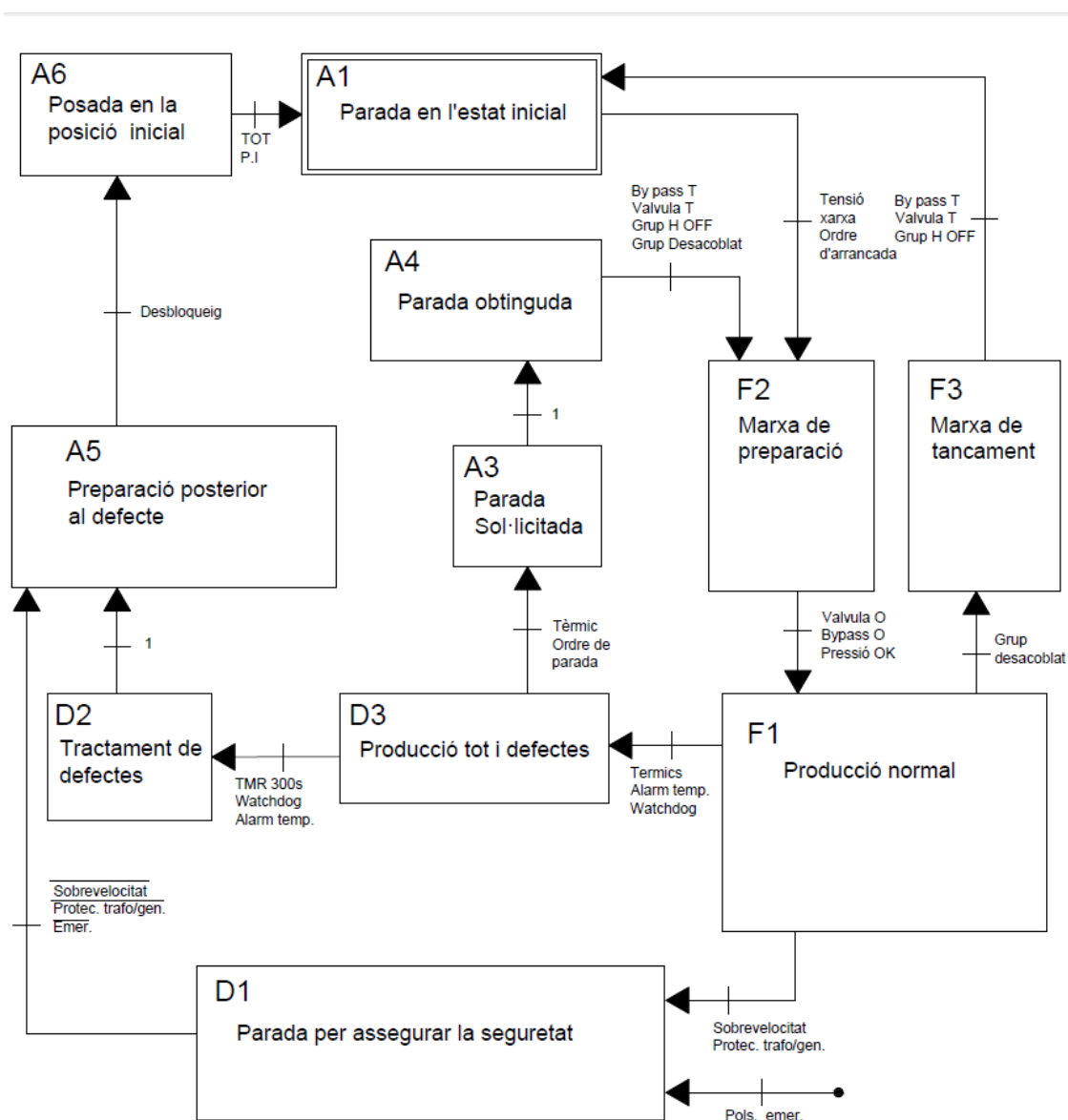


Figura 20. Guia gemma del procés

En la figura 20 s'hi pot veure representada la guia gemma on hi ha representats tots els estats en que es pot trobar l'equip d'automatització de la central. L'estat principal és el de funcionament normal, per arribar-hi primer s'ha de realitzar la marxa de preparació, que prepara els components auxiliars de la central de manera que la seguretat durant el funcionament normal de la central quedi absolutament garantida. A més a més s'imposa que per a que es pugui començar aquesta etapa hi hagi connexió amb la xarxa per garantir la qualitat de la tensió injectada i complir amb la normativa, a més per començar a produir s'ha d'haver rebut l'ordre. De la producció normal es pot passar a varis estats de funcionament. Les incidències més severes van directament a l'estat de parada per assegurar la seguretat. Aquestes incidències són incidències tals com que els relés de protecció del transformador o del generador informen d'una anomalia important en el comportament de l'equip. Prement el pulsador d'emergència també es pot arribar a aquest estat. Ja que si es prem el pulsador d'emergència quelcom greu està passant. Per les emergències es contempla un altre estat com és el D3 funcionament tot i defectes. Quan s'arriba a aquest estat pot ser degut a diferents problemes tècnics que es consideren menys rellevants. Aquests problemes poden ser alarmes de temperatura (generador, transformador, condensadors, turbina...) o el dispar de diferents magnetotèrmics que conformen la instal·lació de la central. La majoria d'aquestes alarmes es poden disparar intempestivament fàcilment. És per això que en aquesta etapa es permet seguir en funcionament la central però estant informat de que hi ha algun problema i si aquest problema no és eliminat en els posteriors instants ja és passa a l'estat D2 per a poder tractar aquests problemes. A l'estat D2 es realitzen diferents accions per portar la central a un mode d'operació segur i d'aquesta manera intentar garantir la seguretat per l'operari i pels components de la central. De l'estat D2 s'ha d'anar al A5 i A6 respectivament aquests estats serveixen per realitzar les modificacions oportunes als equips de la central i deixar-ho tot en la posició inicial per tal de tornar iniciar el procés. D'altre banda a partir de l'estat D3 es pot passar a l'A3 (estat transitori) i l'A4 respectivament, si l'operador de la central decideix parar la central ja que considera que les condicions ho requereixen.

Com es pot comprovar l'automatització d'una central està composta per diferents estats que simbolitzen el seu funcionament. Depenent de les condicions que porten a un estat, aquest estat pot presentar més o menys complexitat, és per aquest motiu que a continuació es detallen la totalitat d'aquests estats. Com a norma general els estats referents amb la seguretat presenten molta més complexitat ja que s'han d'analitzar totes les variables i prendre les decisions precises per no tenir pèrdues, ja siguin humanes o materials.

7.3 Marxa de preparació F2

La marxa de preparació s'utilitza per preparar tots els equips auxiliars de la central de tal manera que quan aquesta comenci a operar ho faci amb seguretat. Es pot observar el graficet de la marxa de preparació a la figura 21

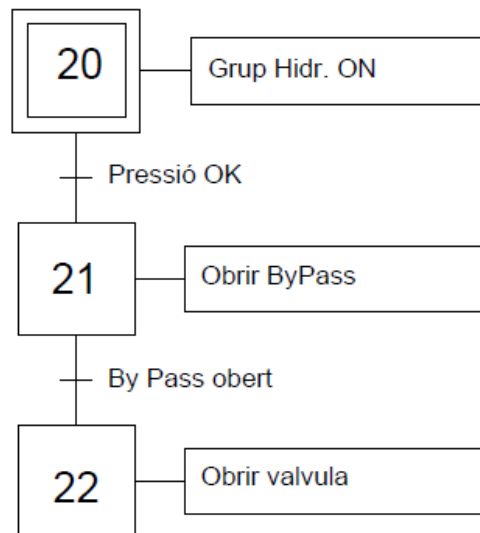


Figura 21. Graficet de la marxa de preparació

Aquesta marxa consisteix en que a partir del moment en que la central es troba connectada a la xarxa, és a dir el seccionador i l'interruptor de mitja tensió es troben tancats es procedeix a activar el grup hidràulic per assegurar que es disposa de la pressió hidràulica necessària per operar amb seguretat tots els elements hidràulics que maniobren la turbina. Un cop la pressió és correcta es procedeix a obrir el bypass per igualar les pressions a cada una de les bandes de la vàlvula, sinó es realitzés aquesta acció s'hauria de disposar d'un grup hidràulic molt més potent per a poder obrir la vàlvula. Un cop s'ha obert el Bypass es procedeix a obrir la vàlvula que dona pas a l'aigua a la turbina. Un cop oberta el procés ja passa al següent estat.

7.4 Producció Normal F1

En la figura 22 és pot veure el graficet del procés de funcionament normal de la central. Durant aquest procés és quan l'energia produïda pel grup turbina generador és injectada a la xarxa, hi és en aquest moment quan s'obté rendiment econòmic de la central

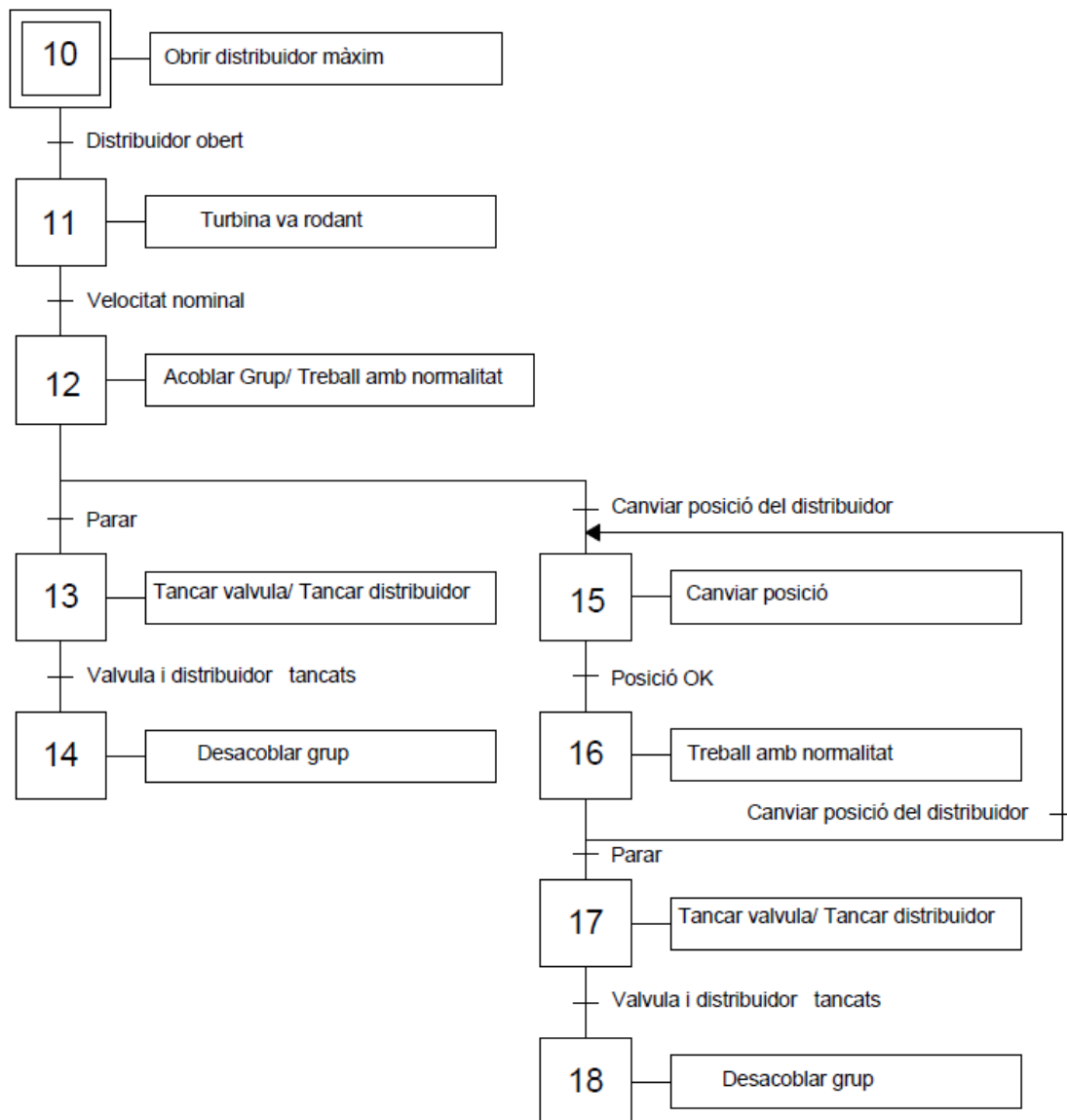


Figura 22. Grafet de producció normal de la central

Un cop s'ha realitzat el procés de marxa correctament ja es reuneixen les condicions necessàries per continuar amb el funcionament normal de la central. Primer de tot és necessari manipular el distribuïdor de que disposen les turbines francis per tal de que la turbina aconsegueixi la velocitat nominal. Un cop s'ha aconseguit la velocitat nominal es pot acoblar al grup. Aquest acoblament es realitza quan la turbina es troba girant a velocitat nominal ja que si es fes a velocitats més baixes podria portar problemes d'estabilitat. Un cop el grup està acoblat la central es troba funcionant en normalitat. En aquests moments tots els aspectes relacionats amb la captació d'informació de les diferents variables de la central són de vital importància ja que si succeeix alguna anomalia en el funcionament dels equips

de la central es pugui portar l'operació de la central a un mode d'operació segur. En aquest punt es pot rebre l'ordre de tancar, o d'altre banda es pot rebre l'ordre de canviar la posició del distribuïdor per variar el règim de producció. L'ordre de tancar normalment es rep telemàticament mitjançant el mòdul de comunicacions instal·lat ja que aquesta ordre estarà facilitada per A.C.A, Endesa o l'operador. Una vegada s'ha rebut l'ordre de tancar es procedeix a tancar la vàlvula d'admissió d'aigua a la càmera de càrrega de la turbina. Una vegada fet això es desacobla immediatament el grup i ja es pot procedir amb la marxa de tancament. Si es rep l'ordre de canviar la posició del distribuïdor, es canvia la posició del distribuïdor. Es canvia la posició del distribuïdor fins que aquesta és la correcta (aquesta mai serà inferior al 50%). Una vegada s'ha canviat la posició del distribuïdor i es rep l'ordre de tancar es procedeix a parar de la mateixa manera que s'ha descrit anteriorment.

7.5 Marxa de tancament F3

Durant la marxa de tancament s'acaben de realitzar les operacions necessàries per deixar els equips tal com es troben en l'estat inicial

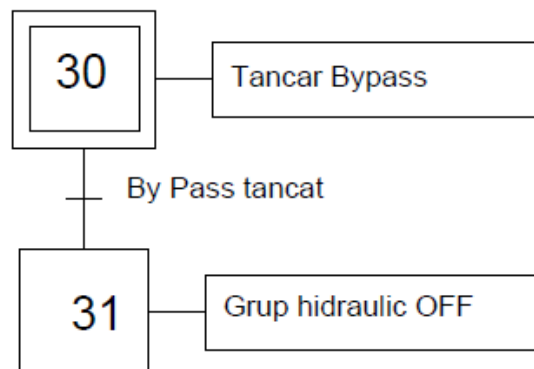


Figura 23. Procés de tancament

Les úniques accions que s'han de portar a terme en el procés de tancament és el tancament del bypass i desactivar el grup hidràulic per tal de no tenir consums innecessaris.

7.6 Parada per assegurar la seguretat D1

Aquest estat és el que gestiona els problemes més severos de la central. Tal com es pot veure a la figura 24 aquest grafcet disposa de diferents branques ja que no és el mateix que falli quelcom en el transformador o en el generador.

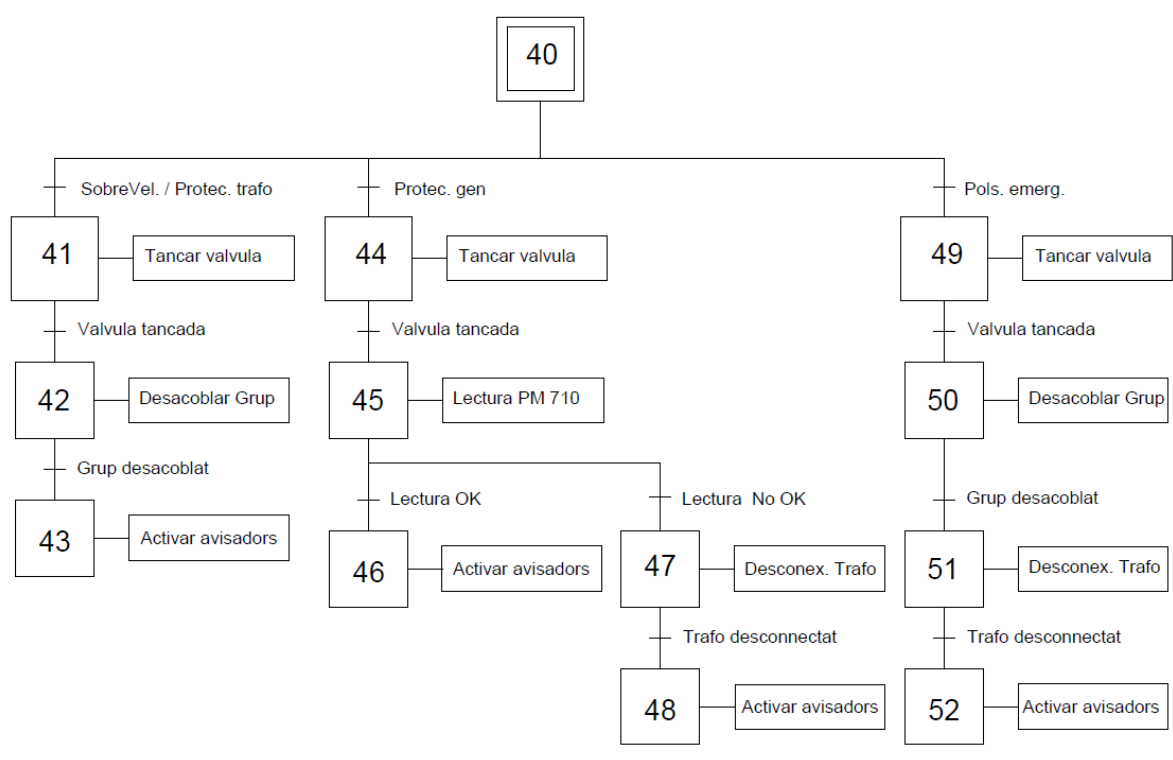


Figura 24. Grafcet de la parada per assegurar la seguretat

Si s'ha de parar la generació degut a que la velocitat del grup turbina-generador és molt més elevada que la velocitat nominal, en aquests casos el que es fa és tancar l'entrada d'aigua per tal de parar la turbina i desacoblar el grup turbina-generador de la xarxa per poder realitzar les accions corresponents. Si el problema el reporten les proteccions del generador, primer de tot es tanca la vàlvula per tal de que no s'acceleri i òbviament no cal desacoblar el grup després, ja que les proteccions hauran actuat i ja estarà desacoblat. El que s'ha de fer seguidament és realitzar una lectura del mesurador (PM 710) per tal de determinar si els paràmetres característics tensió, freqüència, harmònics i intensitat es troben dins d'uns valors preestablerts o d'altre banda es troben fora de control i per tant els problemes venen aigües amunt de la central. Si els problemes procedeixen d'aigües amunt de la central es procedeix a desconnectar el transformador per tal de garantir la seguretat de la central. Si es prem el pulsador d'emergència molt probablement és que les proteccions no

han actuat i per tant hi ha greus problemes. Automàticament es passa a desconnectar tots els equips electromecànics de la central. Finalment en tots els casos s'activen els avisadors acústics i lluminosos de que es disposen i a més a més s'envia de manera telemàtica l'informe de la incidència per tal de que els serveis de manteniment puguin actuar tant aviat com sigui possible.

7.7 Producció tot i defectes D3

En aquest grafcet es tracten les incidències que es consideren d'una menor severitat que les anteriorment vistes.

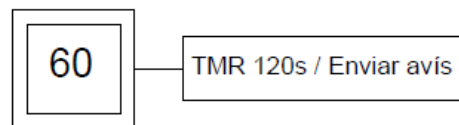


Figura 25. Grafcet de producció tot i defectes

En aquesta etapa les úniques accions a realitzar són engegar un temporitzador de tal manera que si la incidència ha estat transitòria com ara una pujada de temperatura deguda a una regulació de cabal, degut a un canvi d'escaló de la bateria de condensadors etc, es pot diferenciar de les que realment són importants i permanents. En aquest cas les incidències no afecten a l'estabilitat del generador i és per aquest motiu que es pot tenir un cert temps de marge. D'altra banda també s'envia un avís a l'operador de la central de tal manera que pot decidir si realment cal parar la central o no.

7.8 Tractament de defectes D2

En aquest cas també s'han de tractar de diferent manera les possibles incidències que porten a aquest estat. Aquest estat serveix per tractar problemes menys severs, ja que per exemple en aquest cas es tracten alarmes com poden ser alarmes de temperatures o watchdog's. El que no es un problema directament però si que pot derivar en futurs problemes si es continua operant la central.

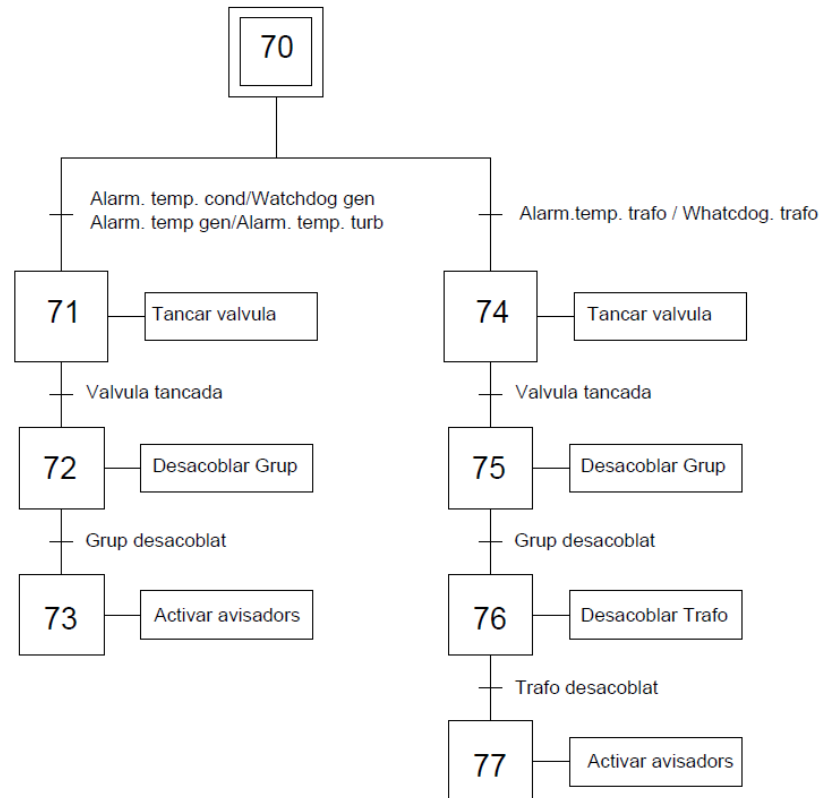


Figura 26. Grafcet del tractament de defectes

Tal com es pot observar en el grafcet de la figura 26 la diferència radica principalment en si el problema es troba localitzat en els equips de protecció de mitja tensió o en els equips de baixa (turbina, condensadors, generador). Si el problema es troba localitzat en els equips de baixa, s'ha de tancar l'admissió d'aigua de la turbina, desacoblar el grup i activar els avisadors de manera que es tingui constància de la incidència. D'altre banda si el problema es localitza a la part de mitja de la central, és necessari dur a terme una acció més. Aquesta acció es desconnectar el transformador de la xarxa mitjançant l'interruptor de mitja.

7.9 Preparació posterior a defecte A5

Aquest procés només consta d'una etapa d'espera on s'espera que l'usuari premi el boto de desbloqueig, senyal que s'ha solucionat el problema i ja es pot tornar a l'estat inicial.

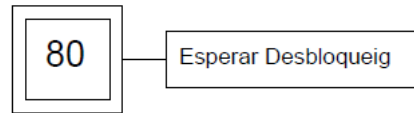


Figura 27. Grafcet de la preparació posterior al defecte

7.10 Posada en la posició inicial A6

En aquest estat es completen processos que s'han omès durant les parades d'emergència ja que no són crítics per la seguretat i poden suposar uns mil·lisegons importants tal com s'ha comprovat en el capítol de l'estabilitat del generador.

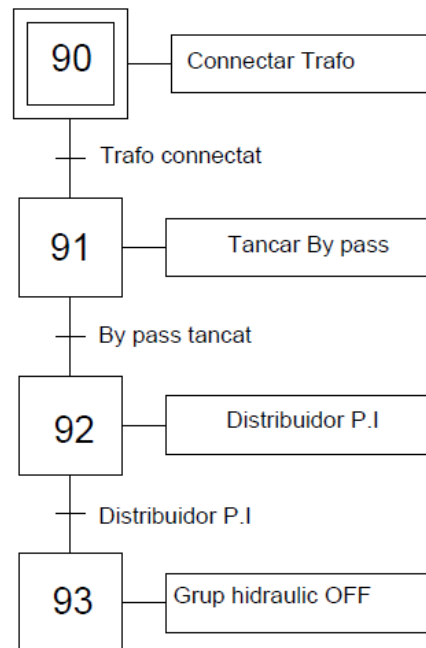


Figura 28. Grafcet de posada en la posició inicial

Per aconseguir la posició s'ha de reconnectar el transformador si és el cas, ja que és impossible treballar en illa. Tancar el bypass, posicionar el distribuïdor a la seva posició inicial i parar el grup hidràulic, ja que sinó s'està generant no hi ha motius de tenir-lo treballant.

7.11 Parada obtinguda A4

A aquest estat s'hi arriba mitjançant l'estat transitori A3. Després de rebre l'ordre de parada per part de l'operador de la central es procedeix a desacoblar el generador garantint així la seguretat al personal que rearma els diferents tèrmics caiguts i realitza inspeccions per mirar que ha causat el dispar del tèrmic.

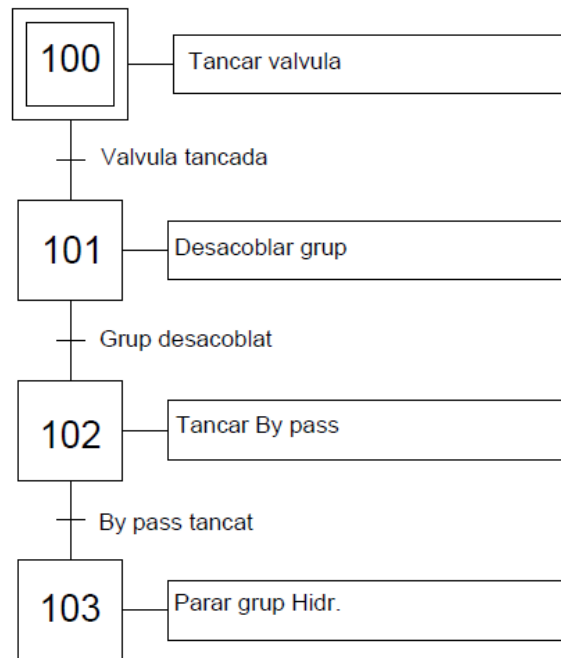


Figura 29. Grafet de parada obtinguda

7.12 Mòduls d'entrades i sortides

A aquestes alçades ja són coneguts tots els processos i variables que són necessàries per l'operació de la central, ja s'està en disposició de definir les entrades/sortides necessàries.

En total es necessita disposar de la informació de com a mínim 30 entrades per a poder portar a terme els processos descrits anteriorment. Aquestes entrades són entrades amb diferent topologia de senyal, moltes d'elles són entrades del tipus digital mentre que algunes de molt concretes són de tipus analògic.

Les entrades del tipus digital es connecten mitjançant mòduls d'entrades digitals OMRON CJ1W-ID211. Aquests mòduls són mòduls compatibles amb cpu's de la sèrie CJ2. Algunes

de les seves característiques més rellevants són: alimentació a 24Vcc, possibilitat de connectar-hi fins a 16 entrades. S'hauran d'instal·lar 2 mòduls d'aquestes característiques per poder processar les senyals de totes les entrades.

A les següents taules es detallen la relació d'entrades que corresponen a cadascun dels mòduls. A la taula 14 es poden consultar les entrades dirigides al primer mòdul d'entrades digitals instal·lat. La majoria d'aquestes entrades fan referència a alarmes o incidències ja que aquestes variables són d'especial interès ja que si no es tenen en compte poden sorgir greus problemes a la central.

Omron CJ1W-ID211 Mòdul 1 Entrades digitals	
Entrada	Descripció
I1.0	Grup Acoblat
I1.1	Grup hidràulic On
I1.2	Desbloqueig
I1.3	Relé d'emergència disparat
I1.4	Relé de sobre velocitat disparat
I1.5	Tèrmic mesura disparat
I1.6	Tèrmic Orion disparat
I1.7	Guardamotor Grup Hidr. Disparat
I1.8	Diferencial car. de bateries disparat
I1.9	Tèrmic aux. disparat
I1.10	Tèrmic valvules disparat
I1.11	Tèrmic car. De bateries disparat
I1.12	Watch dog Orion italia
I1.13	Relé protec. Gen disparat
I1.14	Connexió a la xarxa
I1.15	Relé de protecció trafo disparat

Taula 14. Mòdul 1 d'entrades digitals

A la taula 15 de la següent pàgina es poden consultar les entrades dirigides al segon mòdul d'entrades digitals instal·lat a la central. Aquest mòdul a més de les pròpies entrades necessàries pel procés disposa d'entrades lliures, per d'aquesta manera si es volgués en un futur ampliar la captació de dades de sensors. A més hi van referenciades moltes entrades que donen informació sobre quina posició tenen els diferents elements que permeten governar la turbina.

Omron CJ1W-ID211 Mòdul 2 Entrades digitals	
Entrada	Descripció
I2.0	Nivell min grup hydr.
I2.1	Pressió acumulador OK
I2.2	Pressió min acumulador
I2.3	Vàlvula tancada
I2.4	Vàlvula oberta
I2.5	Bypass obert
I2.6	Bypass tancat
I2.7	Alarma Temp. Condensadors
I2.8	Alarma Temp. Trafo
I2.9	Watch dog ReJ525
I2.10	Lliure
I2.11	Lliure
I2.12	LLiure
I2.13	LLiure
I2.14	LLiure
I2.15	LLiure

Taula 15. Mòdul 2 d'entrades digitals

Un cop definits els mòduls d'entrades digitals cal definir el mòdul d'entrades analògiques. Segons les necessitats es necessiten 4 entrades del tipus analògic, tot i això es decideix instal·lar un mòdul de 8 entrades, possibilitant d'aquesta manera l'ampliació de la instal·lació si fos necessari.

En aquest cas també s'instal·la un mòdul que sigui compatible amb la sèrie CJ2 d'Omron. Concretament s'opta per instal·lar el CJ1W-AD081-V1. Les principals característiques d'aquest mòdul són: la capacitat de processar fins a 8 entrades i tensió d'alimentació 5V. A més a més disposa de la possibilitat de poder processar diferents topologies de senyal d'entrada, en el present projecte s'utilitzarà una senyal de 4-20mA.



Figura 30. Mòdul d'entrades analògic

A la taula següent es pot veure la relació de les entrades que van dirigides al mòdul analògic.

Omron CJ1W-AD081 Mòdul 1 Entrades analogiques	
Entrada	Descripció
I3.0	Posició del distribuïdor
I3.1	Sensor de velocitat turbina-generador
I3.2	PT-100 coixinet turbina
I3.3	PT-100 coixinet generador
I3.4	Lliure
I3.5	Lliure
I3.6	Lliure
I3.7	Lliure

Taula 16. Mòdul 1 d'entrades analògiques

Per a poder controlar les variables de sortida del procés s'opta per instal·lar el mòdul CJ1W-OC211 d'Omron. Les principals característiques d'aquest mòdul són: possibilitat de connectar-hi 16 sortides digitals i possibilitat d'alimentació tant a 24V com a 5V

La relació del mòdul de sortides es mostra a la següent taula

Omron CJ1W-ID211 Mòdul de sortides digitals	
Sortida	Descripció
Q1.0	Desconnexió interruptor generador
Q1.1	Connexió interruptor generador
Q1.2	Seguretat distribuïdor
Q1.3	Seguretat Vàlvula
Q1.4	Motor grup hidràulic ON/OFF
Q1.5	Obrir distribuïdor
Q1.6	Tancar distribuïdor
Q1.7	Obrir vàlvula
Q1.8	Tancar vàlvula
Q1.9	Obrir Bypass
Q1.10	Tancar Bypass
Q1.11	Desbloqueig proteccions
Q1.12	Relé emergència
Q1.13	Desconnexió interruptor trafo
Q1.14	LLiure
Q1.15	LLiure

Taula 17. Mòdul de sortides

Degut a la directiva Europea 2006/42/CE i al Reial Decret 1215/1997 on s'estableix que una incidència en el circuit de comandament relacionat amb la seguretat no derivarà en situacions perilloses i el procés no es podrà posar en marxa de manera intempestiva i la intenció de garantir en tot moment la seguretat en tots els camps possibles de la central. S'instal·la un relé de seguretat a les sortides de l'autòmat i per tant complir amb la normativa vigent i assegurar la seguretat de les persones que operen la central.

Schneider ofereix un relé de seguretat, aquest relé consta d'un mecanisme de tal manera que l'arrencada dels dispositius només es possible si els relés vinculats a la seguretat es troben desactivats. D'altra banda si s'activa qualsevol de les variables que han de portar a una parada d'emergència aquest relé assegura que es talli l'alimentació dels relés de les sortides.



Figura 31. Relé de seguretat de les sortides

7.13 Interacció amb l'operador

Per poder operar la central són necessaris una sèrie d'elements que permetin triar quines accions dur a terme, donar les ordres d'arrencada i parada etc.

A dia d'avui pràcticament la totalitat de les centrals hidroelèctriques són teleoperades. És per això que s'equipa la central d'un mòdul de connexió telefònica per a poder intercanviar les dades amb A.C.A, Endesa i amb el propietari.

S'ha de tenir present que aquest mòdul ha de tenir la possibilitat d'interactuar tant amb RS-485 com Ethernet, com línia telefònica segons quina sigui la necessitat. Al mercat hi ha diferents empreses que ofereixen productes que s'adapten a les necessitats de la central. Una de les millors opcions es instal·lar un mòdul de la marca Wit, marca que ofereix més de 30 anys d'experiència en la telegestió del control de l'energia i de l'aigua. Si es consulta el catàleg de Wit es podrà veure com el mòdul que s'adapta més a les característiques requerides és el Easy Pro Wan . Les principals característiques es poden veure reflexades a la següent figura



Figura 32. Mòdul de comunicació remota

D'altra banda també és necessari poder operar la central quan s'està allà mateix, per això s'incorporarà una pantalla tàtil. Una pantalla tàtil de gran relació qualitat preu és la Delta Bop-B10S411, aquesta ofereix compatibilitat amb els sistemes Omron i el protocol RS-485, les característiques bàsiques del sistema d'automatització de la central.

Aquesta pantalla haurà d'incorporar un interfície d'interacció fàcilment intel·ligible on bàsicament s'hi mostrin les temperatures dels diferents elements de la central, les lectures que realitza la central de mesures i la potència que s'està generat en aquell moment com a mínim.

8. REMODELACIÓ DELS CIRCUITS DE TERRES

La instal·lació de terres, és una part important de la seguretat de la central, ja que permet desviar corrents de defecte i evitar electrocucions degut a contactes indirectes.

8.1 Posada a terra de la part en BT

La posada a terra és la unió elèctrica directa sense fusibles ni cap protecció d'una part del circuit elèctric o d'una part conductora mitjançant una presa a terra amb un elèctrode o amb un grup d'elèctrodes enterrats. Mitjançant aquesta instal·lació es pretén aconseguir que en el conjunt d'instal·lacions, l'edifici i les superfícies pròximes al terreny no hi hagi diferències de potencial perilloses i que, al mateix temps, permeti la desviació dels corrents de defecte o les descàrregues d'origen atmosfèric.

Es va realitzar la comprovació del valor de la posada a terra de la part de baixa tensió mitjançant tel·luròmetre el dia 09/05/14 i es va obtenir un valor de $7,42\Omega$. de tal manera que la instal·lació compleix les condicions establertes pel reglament.

Es connectaran al terra totes les masses metàl·liques que tinguin la possibilitat de trobar-se a potencial i qualsevol punt que pugui tenir un potencial perillós per l'operador.

8.2 Posada a terra de la part en MT

Comprovar la validesa de la posada a terra de la part de MT és molt més complicat ja que hi intervenen diverses variables com les tensions de pas que són de molt mal comprovar empíricament, és per això que es projecte una instal·lació nova mitjançant el mètode de càlcul i projecte d'instal·lacions de posada a terra per a centres de transformació connectats a xarxes de tercera categoria publicat per UNESA.

Primer de tot es necessari saber la resistència del terreny. La resistència del terreny és de $350 \Omega/m$, ja que es tracta d'un terreny pedregós amb presència de gespa, aquest valor ha estat obtingut mitjançant, la figura 37 facilitada a l'annex D de la pàgina 89 .

Primerament es buscarà el valor de la constant que ha de tenir la instal·lació de posada a terra.

Abans però es necessari buscar la resistència mínima del terra mitjançant l'equació 24

$$R_T = \frac{U_{am}}{I_{defecte}} \quad (\text{Eq.24})$$

D'on U_{am} és la tensió d'aïllament mínima recomanada per Unesa. $I_{defecte}$ és la intensitat màxima de defecte que es pot trobar a la instal·lació 650A. Substituint s'obté que el valor de la resistència màxima del terra ha de ser de $15,38\Omega$

En aquest moments ja s'està en disposició de calcular K_r

$$K_r = \frac{R_T}{\rho} \quad (\text{Eq.25})$$

D'on R_T és la resistència mínima del terra calculada anteriorment i ρ és la resistivitat del terreny. De tal manera s'obté que el K_r mínim de la instal·lació ha de ser de 0,0439.

Els instal·ladors de terra ja distribueixen un seguit de taules per tal de determinar com ha de ser la instal·lació del terra ràpidament. Consultant la figura 36 de l'annex D a la pàgina 89 es pot veure com la instal·lació necessària és un rectangle de set metres de llargada per quatre d'amplada amb una secció del conductor de 50mm^2 , enterrat a 0,8m de profunditat a més de 8 piques de 8m de fondària i 14mm de diàmetre.

EL següent pas es definir la tensió de pas exterior, la tensió de pas d'accés, la tensió de defecte i comprovar que siguin inferiors a les admissibles calculades a l'annex D de la pàgina 89.

$$U_p = K_p * I_d * \rho \quad (\text{Eq.26})$$

D'on U_p és la tensió de pas exterior, K_p és característica del terra instal·lat i ρ és la resistivitat del terreny. La tensió de pas exterior és de 939,98V inferior als 4.464V admissibles per tant el requisit de la tensió de pas ja es compleix.

Un cop comprovada la tensió de pas exterior, s'ha de comprovar la tensió de pas d'accés mitjançant l'equació 27

$$U_{pacc}=K_{pacc} \cdot I_d \cdot \rho \quad (\text{Eq.27})$$

D'on U_{pacc} és la tensió de pas d'accés, K_{pacc} és la característica del terra per la tensió de pas d'accés, I_d és el corrent de defecte i ρ és la resistivitat del terreny. En aquest cas la tensió de pas d'accés és de 2.039,67V molt inferior als 13.752V admissibles.

Finalment només queda calcular la tensió de defecte mitjançant l'equació 28

$$U_d=R_T \cdot I_d \quad (\text{Eq.28})$$

D'on R_T és la resistència del terra i I_d és el corrent de defecte. La tensió de defecte esdevé 6.917,13V inferior als 10.000V d'aïllament mínim establert per normativa

Tal i com s'ha comprovat les respectives tensions són en tots els casos inferiors, es per això que amb la instal·lació de terra projectada anteriorment queda suficientment garantida la seguretat. S'ha de tenir en compte però que aquest terra projectat s'ha de trobar a una distància prudencial del terra de BT. Aquesta distància queda definida per l'equació 29

$$D \geq \frac{\rho \cdot I_d}{2000\pi} \quad (\text{Eq.29})$$

D'on D és la distància mínima entre els terres, ρ és la resistivitat del terreny i I_d és el corrent de defecte. Aquesta distància esdevé 30m.

Amb totes les especificacions descrites anteriorment queden perfectament definides les accions a realitzar per garantir que els terres de la central siguin completament funcionals. . Aquesta instal·lació haurà de ser revisada cada 3 anys tal com estableix el reglament.

9. RENOVACIÓ D'EQUIPS AUXILIARS

Les instal·lacions descrites en els apartats anteriors d'aquest projecte necessiten de diferents elements auxiliars per poder funcionar. En aquest apartat es farà una descripció dels principals.

9.1 Font d'alimentació i bateries

Tal com s'ha vist la majoria d'elements de maniobra funcionen a 24V. Les companyies distribuïdores ofereixen 230V/400V, valor ja típicament conegut, això fa necessari instal·lar un convertidor de 400V trifàsic a 24V per tal de poder alimentar la maniobra de la central. D'altra banda mentre està alimentant la maniobra el rectificador ha de ser capaç de carregar un joc de bateries. D'aquesta manera s'aconsegueix garantir el funcionament dels elements de maniobra quan no s'està connectat a la xarxa.

L'equip elegit per aquesta funció és el Woodward SEG BL18, aquest aparell és carregador de bateries i font d'alimentació, fent-lo així idoni per l'aplicació. Aquest aparell té les característiques mostrades a la taula següent

Tensió d'alimentació	400V Trifàsic
Factor potència	0,55 capacitiu
Protecció (elèctrica)	Fusibles automàtics tripolars
Tensió de sortida	24V DC $\pm 1\%$
Intensitat màxima de sortida	18A
Rendiment	90%
Grau de protecció	IP 20

Taula 18. Característiques del rectificador

En aquest apartat també es dimensionaran unes bateries que pugin garantir el funcionament dels equips d'automatització de la central. Consultant els datasheets facilitats pels fabricants dels respectius productes es pot calcular que aproximadament el consum sumat dels elements d'automatització bàsics ascendiria a 15A, agafant un cert marge de seguretat. Es volen dimensionar les bateries perquè hi hagi una autonomia de 2,5h, aquest temps inclou un gran marge de seguretat, pensant que la central està pensada per treballar connectada a la xarxa. Per calcular la capacitat de la bateria s'utilitza la fórmula de Peukert (equació nº29), fórmula que té en compte que les bateries no es descarreguen de forma lineal.

$$t = \frac{H}{\left(\frac{IH}{C}\right)^K} \quad (\text{Eq.30})$$

D'on t és l'autonomia de la bateria en hores de la bateria (2,5), H és el temps en hores indicat pel fabricant on s'indica amb quina base de temps està calculada la capacitat nominal de la bateria, normalment adopta un valor de 20. C és la capacitat de la bateria. I la intensitat de consum (15A) i K la constant de Peukert que adopta un valor de 1,3 per les bateries de plom àcid de tal manera que la capacitat de les bateries ha de ser aproximadament de 60Ah.

Finalment es decideix col·locar dues bateries de 12V i 55Ah així s'obté la capacitat i tensió desitjada. No es col·loca una bateria de 24V ja que l'oferta al mercat es molt limitada, la qual cosa fa que encareixi molt el producte.

9.2 Elements Hidràulics

En els apartats posteriors s'ha parlat d'elements tals com la vàlvula d'admissió de l'aigua, el distribuïdor de la turbina etc. Aquests elements es maniobren mitjançant equips hidràulics. El grup hidràulic serà un grup hidràulic Bosch Rexroth amb les següents característiques nominals

Model	Bosch Rexroth ABSKG
Pressió màxima de treball	250 bars
Potència instal·lada	2,2kW
Pes	45 kg

Taula 19. Característiques grup hidràulic

D'altra banda també es necessari instal·lar electrovàlvules que permetin regular la instal·lació de la manera que es desitja. Les electrovàlvules elegides són Electrovàlvules Vickers amb les característiques mostrades a la taula següent

Pressió màxima en P, A i B	350 bars
Pressió màxima al port T	207bar
Cabal màxim de circulació	76l/min
Voltatge del solenoide	24Vcc

Taula 20. Característiques de les electrovàlvules

A la següent figura es mostren el grup hidràulic i les electrovàlvules utilitzades.

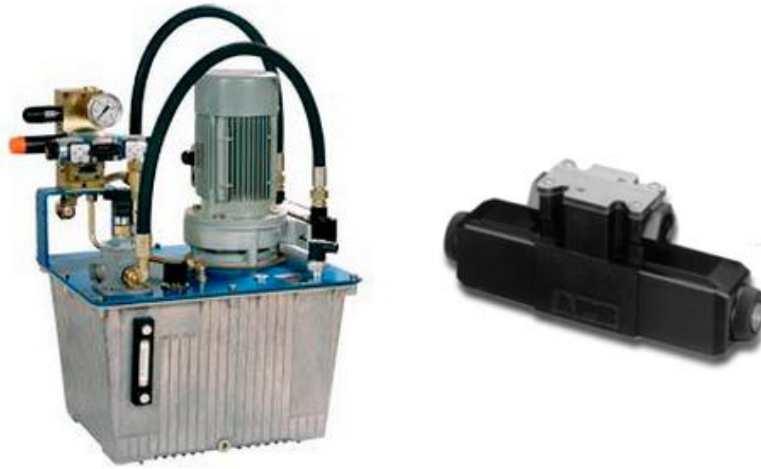


Figura 33. Grup Hidràulic i electrovàlvules

9.3 Equip de radiofreqüència

Se sap que entre la resclosa i la casa de màquines hi ha una distància de 650m. Òbviament a la resclosa s'hi troben instal·lats sensors de cabal, una comporta per regular el pas de l'aigua etc. Aquest elements necessiten trobar-se comunicats amb la casa de màquines per rebre les ordres de control. Ja de bon principi queda descartada la comunicació via cable, degut a la elevada distància. Realitzar la comunicació mitjançant cable requeriria d'una banda un cable molt resistent a les inclemències meteorològiques externes, o d'altre banda soterrar el cable, amb el respecte sobre cost econòmic d'instal·lació i manteniment quan hi hagués una averia. Es per això que s'instal·la un equip de radiofreqüència facilitant la comunicació entre els dos emplaçaments de la central hidroelèctrica. Aquest equip ha de tenir un abast mínim de 700m en exterior i ha de disposar d'algun dels protocols de comunicació que s'utilitzen a la central. Al mercat no es troben pràcticament aparells dissenyats per aquesta aplicació. Però Finalment es decideix instal·lar un transmissor EIPro que permet la comunicació per radio entre 36m i 56km (segons model) i disposa de connexió RS-485.

9.4 Central de mesures

La majoria dels elements instal·lats a la central mesuren variables com: tensions, intensitats, harmònics i un llarg etc. La majoria d'aquest elements però les utilitzen de forma interna i per

tant no es disposa d'una interfície home-màquina pròpiament dita que faciliti la lectura i posterior interpretació de les variables anteriorment esmentades per l'operador de la central. És per això que es decideix instal·lar una central de mesures que permeti llegir fàcilment les variables elèctriques necessàries. Una de les centrals amb més potencial que es troben avui en dia és l'Schneider PM710. Aquesta central de mesures mesura fins i tots més variables elèctriques de les que són necessàries. A tall d'exemple algunes de les mesures poden ser tensions, intensitats, factor potència, distorsió harmònica, potències...



Figura 34. Central de mesures Pm 710

10. RESUM DEL PRESSUPOST

El valor del present projecte de la rehabilitació d'una central hidroelèctrica a les Planes d'Hostoles és de cinquanta-set mil quatre-cents trenta-cinc coma setanta-nou euros, sense I.V.A.

11. CONCLUSIONS

Un cop finalitzat el projecte es pot afirmar que s'ha comprovat tant la viabilitat tècnica com la viabilitat econòmica de la central. Per aconseguir-ho primer de tot s'ha analitzat l'estat actual de les instal·lacions, fent especial èmfasi en el generador ja que és l'element que va malmetre l'antiga central. Una vegada analitzat l'estat actual s'han anat estudiant un per un els elements que conformen la central per tal de determinar quin era el més adient en cada cas. S'han renovat tots els elements necessaris i s'han aprofitat els elements possibles. A més s'ha comprovat que tots els elements instal·lats tinguessin compatibilitat entre ells, per exemple que els relés de protecció fossin capaços de disparar a les proteccions que complementen. A més s'ha analitzat la línia d'interconnexió entre la central i la xarxa elèctrica més pròxima i al veure que el seu estat era deplorable s'ha projectat una línia totalment nova per d'aquesta manera assegurar el funcionament de la central durant molts anys. S'ha definit completament l'equip d'automatització de la central i, a més, s'ha descrit la totalitat dels processos a automatitzar i definint com s'ha de portar a terme aquesta automatització i com ha de ser la interacció home-màquina. Per acabar, una vegada definits tots els components que conformen la central, i per tant la inversió a realitzar, s'ha estudiat la viabilitat d'aquesta inversió. Per analitzar aquesta viabilitat s'han utilitzat varis indicadors econòmics com poden ser el Van o el Tir i s'han comparat amb indicadors borsaris, a més s'ha calculat els anys que es triga a recuperar la inversió i els beneficis que es generen. Per reforçar aquest estudi s'ha comparat la central projectada amb una central hipotètica d'unes característiques molt semblants a la projectada.

Jordi Boix Tura

Graduat en Enginyeria Elèctrica

La Celler de Ter, 29 de maig de 2014

12. RELACIÓ DE DOCUMENTS

El present projecte consta de cinc documents: memòria, plànols, plec de condicions, estat d'amidaments i pressupost.

13. BIBLIOGRAFIA

ABB. Relés multifunció (<http://www.abb.es/product/es/9AAC30300976.aspx?country=ES> , 15 d'Abril de 2014)

Bateries Yuasa YPC 55-12 (<http://www.yuasaeurope.com/en-gb/industrial/products/yu-power/>, 7 de maig de 2014)

BOE. Diari oficial del butlletí oficial de l'estat (http://www.boe.es/diario_boe/, 6 d'Abril de 2014)

El Economista (<http://www.eleconomista.es/>, 10 de maig de 2014)

Endesa. Nueva normativa
(<http://www.endesaonline.es/ES/regimen/teguia/normativa/index.asp#faq1A>, 10 d'Abril de 2014)

Generador Siemens 1LE1501-3AC53
([http://www.motology.co.th/download/motors/\(2\)%20Standard%20Motor%20catalog.pdf](http://www.motology.co.th/download/motors/(2)%20Standard%20Motor%20catalog.pdf), 6 de març de 2014)

Interrupctor Schneider HVX (<http://www.schneider-electric.com/products/ww/en/3100-mv-circuit-breakers-mv-contactors/3110-indoor-circuit-breakers/60665-hvx/>, 14 de març de 2014)

Mataix Claudio, Turbomaquinas hidráulicas: turbinas hidráulicas, bombas, ventiladores, Editorial ICAI, Madrid 2009

Omron. Automats programables
(http://industrial.omron.es/es/products/catalogue/automation_systems/programmable_logic_controllers/default.html, 11 de març de 2014)

Orion Italia. Relés de protecció (<http://www.orionitalia.com/products/Smpr-1.htm>, 10 de febrer de 2014)

Pantalla tàctil Delta

(<http://www.deltawww.com/Products/CategoryListT1.aspx?CID=060302&PID=651&hl=en-US&Name=DOP-B10S411>, 2 de maig de 2014)

Rojas Rodríguez Sebastián, Centrales hidroeléctricas: teoría y problemas, Editorial Universidad de Extremadura, Cáceres 1997

Schneider Central de mesures PM 710 (<http://www.schneider-electric.com/products/cl/ls/4100-sistemas-de-monitoreo-energetico/4115-medicion-basica-multi-funcion/917-pm700/>, 25 d'abril de 2014)

Schneider NSX 250 (<http://www.schneider-electric.com/products/es/es/4200-interruptores-automaticos-de-potencia-e-interruptores-en-carga/4230-interruptor-automatico-de-caja-moldeada/1887-compact-nxs-630a/>, 25 de març de 2014)

Schneider. Productes (<http://www.schneider-electric.com/products/es/es/>, 15 d'Abril de 2014)

Seccionador Schneider Flusarc 36 (<http://www.schneider-electric.com/products/www/en/3500-mv-switchgear/3530-gas-insulated-ring-main-units-for-secondary-distribution-systems/60712-flusarc-36/>, 26 d'abril de 2014)

Wlt solutions. Sondas i sensores (<http://www.wit-italia.com/es/index.aspx>, 17 d'Abril de 2014)

Zopetti Júdez Gaudencio, Cenrales hidroeléctricas: su estudio, montaje regulación y ensayo, Editorial Gustavo Gili, Barceelona 1974

14. GLOSSARI

C.T: centre de transformació

MT: mitja tensió

BT: baixa tensió

A.C.A: agència catalana de l'aigua

C.p.u: central processing unit

Plc: programable logic controller

RLAT: reglament sobre condicions tècniques i garanties de seguretat en línies elèctriques d'alta tensió.

RBT: reglament electrotècnic de baixa tensió

SF₆: hexa-fluorur de sofre

ITC: instrucció tècnica complementaria

Mca: metres columna d'aigua

Unesa: Asociación Española de la Industria Elèctrica

VAN : valor actual net

TIR: taxa interna de retorn

BCE: European Central Bank

A. ESTUDI DE VIABILITAT ECONÒMICA

En aquest apartat s'analitzarà si la central projectada és viable en termes econòmics. Es demostrarà que els fluxos de caixa són positius i que la central genera beneficis. Els primers determinen si el projecte evita problemes de tresoreria i el segon la remuneració de la inversió. Per simplificar el model, suposarem que el període de pagament a proveïdors és el mateix que el de cobrament de clients. Per estudiar la viabilitat econòmica de la central s'ha de saber en quin grup de producció es troba englobada la central que es projecta. Un cop es sabut el grup de producció en que es troba es poden identificar les diferents opcions que contempla la normativa per la venda d'energia i si rep algun tipus de retribució. S'ha de recalcar que el país en que es troba la central, Espanya és un dels països on la legislació elèctrica es més confusa i dispersa, a més a més no existeix cap tipus de política energètica definida fins al moment. Degut als motius exposats anteriorment la veracitat d'aquesta part del present projecte es pot veure afectada en qualsevol moment.

A.1 Normativa i cànons actuals aplicables a la venda d'energia

Per a determinar quin és el preu i les condicions de venda de l'energia generada a la central s'ha de consultar si aquesta es troba engloba en un règim de producció especial, o en un règim de producció ordinari. Si es consulta l'article 27.1 de la Llei 54/1997 defineix que es consideren instal·lacions de règim especial les instal·lacions de generació amb un potència inferior instal·lada a 50MW. La potència instal·lada a la central és de 132kW per tant queda definida com a central en règim especial. A més a més aquest article no s'ha vist derogat per la nova normativa del sector elèctric, Reial Decret Llei 9/2013, en el qual s'adopten mesures urgents per garantir l'estabilitat econòmica del sistema. Aquest article serà d'obligada consulta durant tot aquest apartat ja que va derogant articles de tota la normativa existent fins al moment que afecta al sector elèctric. Una vegada es té constància de que es tracta d'un règim especial s'ha de definir el grup i subgrup en que es troba. Aquesta informació es troba al Reial Decret 661/2007 article 2. El Reial Decret en qüestió té molts dels seus articles derogats però aquest encara es troba actualment en vigor ja que només especifica la classificació de les centrals. La central hidroelèctrica projectada que és una central hidroelèctrica de 132kW es troba englobada dins el grup B.4 (centrals hidroelèctriques de potència no superior a 10MW). Un cop es sap el grup el qual forma part només s'ha de consultar el preu de venda, peatges i altres paràmetres que afecten a les despeses i ingressos de la central.

A l'hora de vendre l'energia la normativa vigent actual contempla dues opcions, la injecció de l'energia al sistema a una tarifa regulada, o d'altra banda la venda en el mercat de producció d'energia sense percebre cap prima. En el present projecte s'opta per la injecció de l'energia al sistema mitjançant una tarifa regulada.

El Reial Decret 9/2013 estableix que la tarifa regulada de venda la marca l'IET 221/2013 pel qual s'estableixen els peatges d'accés a partir de l'1 de gener del 2013 i les tarifes i primes de les instal·lacions del règim especial. Si es consulta l'IET 221/2013 es troba que el grup B.4 té una tarifa regulada de 8,6541c€/kWh durant els primers 25 anys i de 7,7887c€/kWh a partir de llavors. Actualment aquest tipus d'activitat no es troba retribuïda. D'aquesta manera queda definit el preu de venda de l'energia produïda a la central.

Una vegada analitzada la normativa per vendre, s'han d'analitzar els impostos o peatges que ha de pagar la central projectada.

Primerament en el Reial Decret llei 14/2010, s'estableixen peatges pels productors d'energia elèctrica, transportistes i distribuïdors. S'estableix un peatge d'accés de 0,5€/MWh a abonar a l'empresa distribuïdora o transportista a la que s'estigui connectat.

A més si es consulta a l'ACA s'ha de pagar un cànon d'aigua per usos hidroelèctrics. Aquest cànon bé regulat pel decret legislatiu 3/2003. Hi ha l'opció d'escollir un dels dos sistemes proposats per determinar el cànon de l'aigua. En el cas de la central projecta es decideix escollir el primer sistema. Aquest sistema utilitza una determinació objectiva de la quota. Per determinar quina quota s'ha de pagar anualment a ACA s'utilitza la següent equació:

$$C = T_i \cdot P_i \quad (\text{Eq.31})$$

D'on C és la quota a pagar en €, T_i és el tipus de tarifa aplicable en €/kWh i P_i és l'energia produïda al cap de l'any. Per determinar la tarifa aplicable s'utilitza el règim de producció i aquesta té un valor de 0,0059€/kWh en règim ordinari i 0,00039€/kWh en el cas de règim especial.

A.2 Anàlisi de la viabilitat econòmica de la central projectada

Primerament cal determinar els ingressos i les despeses de la central projectada. Els ingressos són molt fàcils de determinar ja que només procedeixen d'una activitat, la venda d'energia. Per calcular els ingressos que es comptabilitzen durant un any s'utilitza l'equació 32

$$V=E \cdot P_v \quad (\text{Eq.32})$$

D'on V són els ingressos provocats per les vendes d'energia en €, E és l'energia produïda a la central i P_v és el preu de venda de l'energia (8,6541c€/kWh). Per tant és necessari determinar quina és l'energia produïda durant un any a la central, mitjançant l'equació 33

$$E=P \cdot H \cdot 365 \quad (\text{Eq.33})$$

D'on E és l'energia produïda a la central durant un any en KWh, P és la potència instal·lada a la central 132kW, H són les hores de funcionament diàries (2h) i 365 són els dies de l'any. Per tant l'energia produïda en un any és de 96.360kWh i els ingressos per vendes d'aquesta energia ascendeixen a 8.339,09€.

Una vegada determinats els ingressos de la central cal determinar tots els costos. El primer cost que es determinarà és el cost de peatge mitjançant l'equació 34

$$C_p=0,5 \cdot E \quad (\text{Eq.34})$$

D'on E és l'Energia produïda en MWh i 0,5 és el cost del peatge de cada MWh produït. D'aquesta manera el cost de peatge és de 48,18€ l'any.

Un altre cost és el cost del cànon de l'aigua que es determina mitjançant l'equació 31, el cost del cànon de l'aigua és de 37,58€ l'any.

Seguidament s'ha de tenir en compte l'origen dels recursos necessaris per portar a terme el projecte. En aquest cas es considerarà un estructura de finançament força habitual, en la que es permet manllevar com a màxim el 60% del cost del projecte. El 40% restant es pagarà amb fons propis. Arrodonint, es considera que 40.000€ són recursos propis de l'empresa i els 30.000€ restants s'obtenen mitjançant un préstec bancari. Per un finançament d'aquestes característiques es pot considerar un tipus d'interès de mercat d'un 4,5%, per simplificar es suposa que és de tipus fix. Per calcular la quota anual constant a pagar s'utilitza la següent equació.

$$q = \frac{C_0 i}{1 - (1+i)^{-N}} \quad (\text{Eq.35})$$

D'on q és la quota a pagar anualment. C_0 són els diners manlevats, i és el tipus d'interès i N són els anys a que es demana el préstec. De tal manera que la quota anual ascendeix a aproximadament 1.900€

Per tant durant els primers 25 anys s'han de comptabilitzar uns costos financers de 1.900€ any. També, i en aplicació del principi de no gratuïtat dels recursos, es pot establir un cost d'oportunitat pels 40.000€ que aporta l'empresa. Per això s'ha de tenir en compte, que en el mercat financer seria possible obtenir un rendiment lineal del 2% anual, que implica repercutir 800€ anuals a l'explotació.

Una vegada definits els costos que provenen d'aspectes referents a impostos, finançament etc. S'ha de comptabilitzar els costos derivats de la part operativa de la central.

Per comptabilitzar aquests costos s'ha de tenir en compte que durant l'any s'han d'anar realitzant manteniments a la central. Aquest manteniment podria suposar un valor de 1.200€ any, a més es poden detectar certs problemes per manteniment preventiu o poden sortir certs problemes derivats d'un equip. És per això que també s'ha de comptabilitzar una partida de 2.000€ destinada a costos de reparacions.

A més s'han de comptabilitzar unes despeses derivades de l'amortització del material, és a dir la depreciació dels béns de la central tant pel seu ús com per la possible obsolescència tècnica. Per determinar els costos d'amortització es realitza mitjançant la següent equació

$$A = \frac{I}{N} \quad (\text{Eq.36})$$

D'on A són els costos derivats de l'amortització, I la inversió a realitzar a la central i N els anys de vida del projecte que es poden estimar en uns 50. Per tant els costos d'amortització esdevenen de 1.339,94€ l'any

Vistos els costos i el ingressos ja s'està en disposició de calcular el marge brut, aquest marge indica si es generen els suficients recursos per almenys poder recuperar el costos operacionals de la central. Per calcular el marge brut es realitza mitjançant l'equació numero 37.

$$MB = V - C_p - C_A - C_M - C_R - C_F \quad (\text{Eq.37})$$

D'on MB és el marge brut en euros, V són els recursos generats per les vendes, C_p C_A C_M C_R C_F són respectivament el cost de peatge, el cost de l'aigua, el cost de manteniment, el cost de les reparacions, el cost financer. Aquests costos han estat calculats anteriorment i substituint-los a l'equació s'obté un valor de marge brut de 3.153,33€ anuals.

Una vegada conegut el marge brut de benefici anual es pot calcular el marge net o benefici anual. Per calcular-lo, a més de les despeses s'ha de tenir en compte el cost de l'amortització dels béns i el cost d'oportunitat. Per calcular el marge net s'utilitza la següent equació.

$$MN = MB - A - C_o \quad (\text{Eq.38})$$

D'on MN és el marge net en euros, MB és el marge brut, A és l'amortització i C_o és el cost d'oportunitat. Per tant el marge net anual que es pot obtenir de la central és de 1.013,39€ l'any.

Un altre aspecte important a tenir en compte és el flux de caixa. En poques paraules el flux de caixa analitza les entrades i sortides d'efectiu en un període determinat. Aquest indicador serveix per analitzar la liquiditat que es té durant l'explotació de l'empresa i d'altre banda és

un pas necessari per poder calcular el valor actual net (VAN) i la taxa interna de retorn (TIR). Per calcular el flux de caixa s'utilitza la següent equació

$$FC = MB - t(MB - A - C_0) \quad (\text{Eq.39})$$

D'on FC és el flux de caixa en euros, MB és el marge brut, t són els impostos que ha de pagar l'empresa, que inclou el de societats i altres, que aproximadament suposen un 36%, A és l'amortització dels béns de l'empresa, i C_0 és el cost d'oportunitat del projecte. D'aquesta manera el flux de caixa generat per l'empresa és de 2.788,51€

A partir de totes les dades calculades anteriorment es poden determinar diferents índexs que permeten avaluar diferents paràmetres sobre la viabilitat de l'empresa, però abans s'ha de tenir en compte que als 25 anys de l'exploració de la central canvien moltes de les condicions anteriorment descrites i per tant s'han de tornar a calcular aquestes dades calculades anteriorment.

En primera instància als següents 25 anys el preu de venda del kWh passa a ser de 7,7887c€/kWh. Per tant els ingressos per vendes passen a ser inferiors 7.599,32€. Les despeses provinents de l'aigua i dels peatges del sistema es mantenen. També es mantenen els costos de manteniment i reparacions. El cost financer del préstec desapareix ja que aquest ha estat retornat al banc i també el cost de oportunitat que amb el flux de caixa generat torna a estar disponible. Degut a que la vida útil de la central és de 50 anys els costos d'amortització continuen existint.

Per tant els nous índexs pels següents 25 anys d'operació són: marge brut 4.313,56€ l'any, marge net 2.973,21€ l'any i un flux de caixa de 3.243,05 € l'any. En aquest moment en que disposem les dades en els primers 25 anys i dels 25 següents de la central ja s'està en disposició de calcular diferents índex.

Primerament és calcularà el període de retorn, és a dir el nombre d'anys que es triga a generar els recursos que permetin recuperar la inversió realitzada. Es calcula el període de retorn mitjançant l'equació número 40

$$P_r = \frac{Inv}{\overline{FC}} \quad (\text{Eq.40})$$

D'on P_r és el període de retorn, Inv és la inversió realitzada al projecte i FC és el flux de caixa del projecte, degut a que el flux de caixa dels primers 25 anys és més desfavorable s'utilitza aquest ja que s'obtindrà el període en el pitjor dels casos. Operant s'obté que el període de recuperació de la central és de 24,91 anys. Aquest indicador el podem comparar amb un altre indicador molt utilitzat pels experts en borsa com és el PER. Aquest índex informa sobre els anys que es tarda a recuperar via dividend la inversió dipositada en accions. A dia 15 de maig de 2014 el PER de les empreses constructores que cotitzen a l'ibex 35 es situa per sobre els 70 anys, el PER d'empreses tals com Inditex, Banc Sabadell, Grifols etc tenen un PER de 25 anys i ja per obtenir un PER de 15 anys o inferior s'hauria de recórrer a grans multinacionals com Santander, Gas Natural o IBERDROLA. És per això que es pot considerar que la inversió en un central com la projectada és prou bona ja que si es compara el període de retorn amb el període de retorn via dividend de diferents empreses de l'IBEX 35 es pot comprovar que ocuparia una posició intermitja.

Un altre índex a tenir en compte és el VAN (valor actual net). Aquest índex permet calcular el valor actual d'un nombre de fluxos de caixa futurs originats per una inversió. El VAN d'una inversió es pot calcular mitjançant la següent equació

$$VAN = N \cdot FC - INV \quad (\text{Eq.41})$$

D'on N són els anys de vida del projecte FC és el flux de caixa del projecte, i INV és la inversió a realitzar. S'obté que el VAN del present projecte és de 69.989,48€.

Un altre índex a tenir en compte és el TIR (taxa de rendibilitat interna). Bàsicament aquest índex serveix per determinar si el projecte empresarial és rentable. Per calcular el TIR s'utilitza la següent equació

$$INV = \frac{(FC \cdot N)}{(1+R)^N} \quad (\text{Eq.42})$$

D'on Inv és la inversió a realitzar en el present projecte, FC és el flux de caixa, N són els anys de vida del projecte i R és el TIR del projecte. Operant s'obté que el TIR del projecte és aproximadament d'un 1,5%. Aquest valor es pot comparar amb la rendibilitat de diverses empreses energètiques. Gas natural té un rendibilitat aproximada del 4% i Iberdrola d'un 5% però per exemple si es compara amb Gamesa té una redibilitat del 0,5%. Així doncs la

rendibilitat del projecte proposat es trobaria en una posició intermitja de les empreses energètiques que cotitzen a l'IBEX 35.

A més s'ha de tenir en compte que els diners de benefici generats a la central es poden veure afectats mitjançant deflacions o inflacions, es per això que es decideix passar aquest diners a valor actual per tenir una referència més exacte del que podria passar per fer-ho s'utilitza l'equació 43

$$V_F = \frac{F_N}{(1+i)^N} \quad (\text{Eq.43})$$

D'on V_F és el valor futur del diner, F_N és el valor actual dels fluxos de caixa generats i és el tipus d'interès de mercat que es podria suposar un 2% i N és el número d'anys els quals es vol calcular el valor del diner. S'ha de tenir en compte que s'ha de realitzar pels primers 25 anys i llavors pels següents 25 anys i sumar-ho. D'aquesta manera el valor del diner projectat en els pròxims cinquanta anys seria aproximadament de 87.517€ amb una depreciació futura (i teòrica) del diner del 2% . Si s' inverteixen 70.000€, se n'obtindran amb diner d'avui 96.389€. Per tant seria aconsellable realitzar el projecte.

Mitjançant el petit anàlisi econòmic que s'ha realitzat del projecte es pot considerar que és un projecte que té un període de retorn i una rendibilitat, en la línia de moltes possibles inversions que es poden realitzar en borsa. Amb la inestabilitat actual del mercat podria resultar millor invertir en centrals hidroelèctriques que no pas en segons quin tipus d'empresa o fons d'inversió.

A.3 Anàlisi d'una central "hipotètica"

Una partida important dels diners invertits a la central es dediquen a la part de MT. Prescindint de transformador, seccionador, interruptor i una part de la línia d'interconnexió s'arriba a poder reduir el pressupost en un 20%. És per aquest motiu que s'analitzarà la viabilitat d'una central que injecti energia a la xarxa de baixa. La inversió a realitzar en aquest segon cas és de 55.176€.

El fet de dissenyar la instal·lació perquè és pugui utilitzar injectant directament en baixa, implica tenir presents alguns aspectes de normativa. Les instal·lacions generadores en baixa tensió han de tenir com a potència màxima d'injecció 100kW establert per l'ITC 40 del

reglament de baixa tensió la qual cosa s'haurà de tenir en compte si es desitja prescindir de la unitat d'interconnexió en mitja tensió i injectar directament a una xarxa de baixa.

Una vegada conegudes les principals diferències entre la central projectada i una hipotètica central de les mateixes característiques però que injecti energia a la xarxa de baixa es realitzarà el mateix anàlisi que amb la central projectada per a comparar la viabilitat de cadascuna d'elles.

Tal com s'ha fet anteriorment primerament es calcularan els ingressos per vendes mitjançant les equacions 32 i 33 respectivament. En aquest cas però s'ha de tenir en compte que la potència només són 100kW no 132kW com anteriorment. El règim de treball de la central es manté en les mateixes condicions que anteriorment de tal forma que els ingressos per vendes ascendeixen a 6.317,5€, valor lleugerament inferior al calculat anteriorment.

Els costos operatius de la central es mantenen inalterables degut a que el règim de funcionament és exactament el mateix i el desgast es podria considerar idèntic. De tal forma que els costos imputables a una central que injecti en baixa són: 37,58€ en concepte de cànon de l'aigua, 48,18€ en concepte de peatge, 1.200€ de manteniment i 2.000€ de reparacions. Degut a que la inversió s'ha vist reduïda també es veu reduïda l'hipoteca, és per aquest motiu que els costos financers es veuen reduïts a aproximadament 990€ l'any. Els cost d'oportunitat de la inversió a realitzar continua sent 800€ anuals, ja que els 40.000€ d'inversió "in cash" hi són igualment.

En aquest punt només queda conèixer el cost de l'amortització de la central. Aquest es pot calcular mitjançant l'equació 36. Per tant el cost d'amortització de la central ascendeix a un valor de 1.103,5€. En aquests moments ja s'està en disposició de calcular el marge brut, el marge net i el flux de caixa mitjançant les equacions 37, 38 i 39 respectivament. El marge brut per la central que s'està analitzant en aquests moments ascendeix a 2.041,74€, el marge net a 138,24€ i el flux de caixa a 1.991,97€. Es pot veure que tot i que la inversió que es realitza és molt més baixa aquests índexs es veuen reduïts. Seguidament es calcularà el període de recuperació, el VAN i el TIR per d'aquesta manera tenir unes eines més precises per comparar les dues centrals.

Per calcular els període de retorn de la inversió s'utilitzarà l'equació 40, de tal forma que en aquest cas el període de retorn de la inversió és de 27,70 anys. D'entrada el període de retorn de la inversió ja és lleugerament superior que en la central projectada.

El VAN de la central que s'està estudiant aquests moments ascendeix a un valor de 44.422€. Com es pot comprovar ja no és equiparable als pràcticament 70.000€ de VAN calculat anteriorment. És a dir el valor d'una central que injecta energia a la xarxa de baixa és inferior respecte a una central que injecta energia en MT.

Finalment es pot calcular la rendibilitat d'aquesta hipotètica central mitjançant l'equació 42. La rendibilitat de la central es d'aproximadament el 1%. Rendibilitat lleugerament inferior de la que s'obté amb la inversió de la central projectada.

Així doncs reduint la potència de la central en 32kW, tot i reduir la inversió en un 20% i els costos del préstec en uns 900€ l'any, la hipotètica central que injecta energia a la xarxa de baixa es incapaç d'igualar els números de la central projectada. Si es reflexiona es veu que 32kW dia a dia al llarg d'un any acaben sumant molt, degut això els ingressos es veuen reduïts uns aproximadament 2.000€ l'any. En aquest punt és on radica la principal diferència i si a més es té en compte que els costos operatius de la central varien mínimament ja queda explicat el fenomen que està succeint. Ras i curt els ingressos es veuen significativament minvats mentre que els costos d'operació són pràcticament inalterables. D'aquesta manera tot i que la inversió sigui significativament inferior els recursos que es poden destinar a recuperar-la són inferiors, i per tant s'allarga el període de recuperació de la central i conseqüentment el punt el qual la central comença a generar benefici net.

B. N DE MANNING

Figura en la qual es pot determinar el coeficient de Mannig segons sigui la naturalesa del canal.

Corrientes Naturales	Número de Manning
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente	0,027-0,033
Limpias, orillas rectas, fondo uniforme, altura de lamina de agua suficiente, algo de vegetación	0,033-0,040
Limpias, meandros, embalses y remolinos de poca importancia	0,035-0,050
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados	0,060-0,080
Lentas, con embalses profundos y canales ramificados, vegetación densa	0,100-0,2001
Rugosas, corrientes en terreno rocoso de montaña	0,050-0,080
Areas de inundación adyacentes al canal ordinario	0,030-0,2001
Cunetas y Canales revestidos	Número de Manning
Hormigón	0,013-0,017
Hormigón revestido con gunita	0,016-0,022
Encachado	0,020-0,030
Paredes de hormigón, fondo de grava	0,017-0,020
Paredes encachadas, fondo de grava	0,023-0,033
Revestimiento bituminoso	0,013-0,016
Cunetas y canales sin revestir	Número de Manning
En tierra ordinaria, superficie uniforme y lisa	0,020 - 0,025
En tierra ordinaria, superficie irregular	0,025 - 0,035
En tierra con ligera vegetación	0,035 - 0,045
En tierra con vegetación espesa	0,040 - 0,050
En tierra excavada mecánicamente	0,028 - 0,033
En roca, superficie uniforme y lisa	0,030 - 0,035
En roca, superficie con aristas e irregularidades	0,035 - 0,045

Figura 35. N de Manning per determinar la rugositat del canal

C. CÀLCUL DE LA POTÈNCIA DE CURTCIRCUIT DE LA INSTAL·LACIÓ

És necessari determinar la potència de curtcircuit de la instal·lació per tal de determinar el poder de tall de l'interruptor de baixa.

Primer de tot s'ha de calcular la impedància característica del transformador, mitjançant l'equació nº 44

$$X_t = \frac{\varepsilon \cdot S_B}{S_N} \quad (\text{Eq.44})$$

D'on ε és la tensió de curtcircuit del transformador en tant per cent (6%). S_B és la potència de base que s'ha triat 100kVA i S_N és la potència nominal del transformador 160kVA. De tal manera s'obté que la impedància característica del transformador és de 0,0375Ω.

També es necessari calcular la impedància característica de la línia mitjançant l'equació 45

$$X_L = X_C \cdot L \quad (\text{Eq.45})$$

D'on X_C és la impedància característica del conductor 0,6129Ω i L la longitud de la línia en km, la línia projecta fa 250m, per tant la impedància característica és de 0,153225Ω. S'ha de tenir en compte que aquest valor no és de base i per tant si es vol utilitzar amb la resta s'ha de passar a la base que toca.

Per obtenir la potència de curtcircuit es realitza mitjançant l'equació 46

$$S_R = \frac{S_{\text{base}}}{X_{\text{eq}}} \quad (\text{Eq.46})$$

D'on S_{Base} és la potència de base elegida per fer els càlculs i X_{eq} és la impedància característica del sistema, suma de les anteriors. Operant s'obté que la potència de curtcircuit és de 749.063,67 VA.

Per calcular la intensitat de curtcircuit que aporta el generador es necessari saber la seva impedància. La seva impedància es calcula mitjançant la següent equació.

$$X_G = \frac{X''_d \cdot S_B}{S_N} \quad (\text{Eq.47})$$

D'on X''_d és la reactància subtransitoria del generador (0,12), S_B és la potència de base que s'ha triat (100kVA) i S_N és la potència nominal del generador (132kVA). De tal forma s'obté que la impedància característica del generador és de 0,0909 Ω .

D. CÀLCULS I ESPECIFICACIONS DE LA POSADA A TERRA

A continuació es calcula la intensitat de defecte

$$I_D = \frac{U_N}{\sqrt{R_t^2 + X_E^2}} \quad (\text{Eq.48})$$

D'on U_N és la tensió nominal R_T és la resistència de posada a terra i X_E és la inductància de la instal·lació que adopta un valor típic de 25 Ω . Per tant la intensitat de defecte és de 506,73A

Seguidament es calcula la intensitat de pas admissible

$$U_{Padm} = \frac{10K}{t_{cc}^n} \left(1 + \frac{6 \cdot \rho}{1000} \right) \quad (\text{Eq.49})$$

D'on t_{cc} és el temps que tarden a actuar les proteccions (0,5s) K i n són constants que depenen del temps de protecció de les actuacions (72 i 1) i ρ és la resistivitat del terreny. Operant s'obté que la tensió de pas admissible és de 4.464V

Per calcular la tensió de pas d'accés s'utilitza la següent equació

$$U_{Pacc} = \frac{10K}{t_{cc}^n} \left(1 + \frac{3 \cdot \rho + 3\tau}{1000} \right) \quad (\text{Eq.50})$$

D'on t_{cc} és el temps que tarden a actuar les proteccions (0,5s) K i n són constants que depenen del temps de protecció de les actuacions (72 i 1) i ρ és la resistivitat del terreny i τ és la resistivitat del formigó (2.500). Operant s'obté que la tensió de pas d'accés és de 4.464V.

A la figura 36 es poden consultar les constants i especificacions de la instal·lació de posada a terra projectada

Rectángulo 7,0 x 4,0 m

Sección conductor = 50 mm²; diámetro picas = 14 mm; L_p = longitud de la pica en m;
K_r: en Ω/Ω.m; K_p, K_c = K_{p(acc)}: en V/(Ω.m)(A)

Configuración		LP (m)	Resistencia Kr	Tensión de paso Kp	Tensión de contacto ext. Kc = Kp(acc)	Código de la configuración	
Profundidad = 0,5 m	Sin picas	-	0,094	0,0184	0,0553	70-40/5/00	
		2	0,076	0,0165	0,0362	70-40/5/42	
		4	0,064	0,0134	0,0271	70-40/5/44	
		6	0,056	0,0113	0,0215	70-40/5/46	
		8	0,049	0,0097	0,0177	70-40/5/48	
		2	0,068	0,0143	0,0302	70-40/5/82	
		4	0,055	0,0108	0,0201	70-40/5/84	
		6	0,046	0,0087	0,0148	70-40/5/86	
		8	0,040	0,0072	0,0115	70-40/5/88	
	Profundidad = 0,8 m	Sin picas	-	0,091	0,0129	0,0528	70-40/8/00
			2	0,073	0,0113	0,0353	70-40/8/42
			4	0,062	0,0093	0,0266	70-40/8/44
6			0,054	0,0079	0,0212	70-40/8/46	
8			0,048	0,0068	0,0175	70-40/8/48	
		2	0,066	0,0101	0,0294	70-40/8/82	
		4	0,053	0,0078	0,0198	70-40/8/84	
		6	0,045	0,0063	0,0147	70-40/8/86	
		8	0,039	0,0053	0,0115	70-40/8/88	

Figura 36. Característiques de la instal·lació de posada a terra

A la següent figura es pot consultar la resistivitat del terreny on es troba construïda la central.

NATURALEZA DEL TERRENO	RESISTIVIDAD EN OHMIOS x METRO
Terrenos pantanosos	de algunas unidades a 30
Limo	20 a 100
Humus	10 a 150
Turba húmeda	5 a 100
Arcilla plástica	50
Margas y arcillas compactas	100 a 200
Margas del jurásico	30 a 40
Arena arcillosa	50 a 500
Arena silíceas	200 a 3000
Suelo pedregoso cubierto de césped	300 a 500
Suelo pedregoso desnudo	1500 a 3000
Calizas blandas	100 a 300
Calizas compactas	1000 a 5000
Calizas agrietadas	500 a 1000
Pizarras	50 a 300
Rocas de mica y cuarzo	800
Granitos y gres alterados	1500 a 10000
Granitos y gres muy alterados	100 a 600
Hormigón	2000 a 3000
Basalto o grava	3000 a 5000

Figura 37. Resistivitat del terreny

E. CARACTERÍSTIQUES DELS CABLES DE LA LÍNIA D'INTERCONNEXIÓ

A la següent figura es poden consultar les característiques elèctriques i dimensionals del conductor de la línia d'interconnexió L56

Designación		Sección	Nº de hilos	Diámetro (mm)		Masa por unidad de comprimento	Carga de Rotura Nominal	Resistencia Eléctrica máxima a 20°C	Modulo de Elasticidad Final	Coefficiente de dilatación lineal	Capacidad Nominal ⁽¹⁾
Nueva	Antiga	mm²	Aluminio	hilos	Cond.	kg/km	kN	Ω/km	N/mm²	1/K	A
28-ALi	L 28	27,8	7	2,25	6,75	76,1	5,01	1,0268	60000	23,0E-6	155
43-ALi	L 40	43,1	7	2,80	8,40	117,8	7,33	0,6630	60000	23,0E-6	205
55-ALi	L 56	54,6	7	3,15	9,45	149,1	9,00	0,5239	60000	23,0E-6	235
76-ALi	L 80	75,5	19	2,25	11,25	207,6	13,60	0,3804	57000	23,0E-6	295
117-ALi	L 110	117,0	19	2,80	14,00	321,5	19,89	0,2456	57000	23,0E-6	390
148-ALi	L 145	148,1	19	3,15	15,8	407,0	24,43	0,1941	57000	23,0E-6	450
188-ALi	L 180	188,1	19	3,55	17,8	516,9	30,09	0,1528	57000	23,0E-6	530
279-ALi	L 280	279,3	37	3,10	21,7	770,2	46,08	0,1033	57000	23,0E-6	680
381-ALi	L 400	381,0	61	2,82	25,4	1054,1	64,77	0,0759	55000	23,0E-6	835
454-ALi	L 450	454,5	61	3,08	27,7	1257,5	74,99	0,0637	55000	23,0E-6	935
547-ALi	L 550	547,3	61	3,38	30,4	1514,4	90,31	0,0529	55000	23,0E-6	1055
638-ALi	L 630	638,3	61	3,65	32,9	1766,0	102,12	0,0453	55000	23,0E-6	1165

Figura 38. Característiques dels conductors d'alumini

F. PROGRAMA

Dins del CD adjunt a continuació, s'hi troben els fitxers que defineixen la línia d'interconnexió entre la central i la xarxa elèctrica. Es pot consultar tan l'arxiu en format Imedexsa com els informes que genera el mateix programa en pdf.