

Treball final de grau

Estudi: Gr. Enginyeria Elèctrica

Títol: Estudis, ampliació i millores d'una central hidràulica

Document: 1. Memòria

Alumne: Rubén Molina Del Moral

Director/Tutor: Josep Xargayó Bassets

Departament: Enginyeria Elèctrica, Electrònica i Automàtica

Àrea: Enginyeria de Sistemes i Automàtica

Convocatòria (mes/any): setembre/2015

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	5
1.1. Antecedents.....	5
1.2. Objectius	6
1.3. Especificacions o abast	6
2. ENERGIA HIDRÀULICA	7
3. TIPUS DE CENTRALS	10
4. ELEMENTS D'UNA CENTRAL HIDRÀULICA.....	13
4.1. Turbines	14
4.1.1. Turbines d'acció	17
4.1.2. Turbines de reacció	18
4.2. Generador	22
4.3. Multiplicador de velocitat	22
4.4. Transformador.....	23
4.5. Elements de control.....	23
4.6. Elements de protecció	24
4.7. Serveis auxiliars	24
4.8. Automatització.....	24
5. CENTRAL MINI HIDRÀULICA	25
5.1. Emplaçament	25
5.2. Descripció de la zona	25
5.3. Estudi del cabal d'aigua.....	26
5.4. Salt de nivell.....	28

5.5. Energia produïda.....	29
6. SELECCIÓ DE TURBINES.....	31
6.1. Descripció de la Turbina.....	32
6.2. Element hidràulic complementari de la turbina	35
7. SELECCIÓ DEL GENERADOR.....	36
7.1. Model del generador.....	36
7.2. Descripció del generador.....	39
7.3. Conceptes a tenir presents en l'estabilitat d'un generador.....	40
7.3.1. Criteri d'estabilitat d'àrees.....	41
8. SELECCIÓ DEL TRANSFORMADOR	45
8.1. Descripció del transformador.....	46
9. SISTEMES DE PROTECCIÓ I CONTROL.....	49
9.1. Protecció en baixa tensió	49
9.1.1 Relé control de freqüència	50
9.1.2. Relé control de sincronisme.....	52
9.1.3. Relé control de tensió	54
9.1.4. Contactor	56
9.1.5. Relé tèrmic.....	58
9.1.6. Protector del motor del generador.....	59
9.1.7. Interruptor magnetotèrmic.....	60
9.1.8. Interruptor diferencial	61
9.1.9. Fusibles	62
9.1.10. Transformador amb rectificador de ac a dc.....	63

9.2. Protecció en mitja tensió	64
9.3. Posada a terra.....	66
9.3.1. Instal·lació terra en BT	66
9.3.2. Instal·lació terra en MT	67
10. AUTOMATITZACIÓ	69
10.1. PLC	70
10.2. Selecció del PLC	71
10.3. Selecció dels sensors.....	72
10.4. Guia Gemma.....	75
10.5. Entrades i sortides dels autòmats.....	78
10.5.1. Alarmes.....	78
10.5.2. Accions	79
10.6. Funcionament dels contactes i actuadors.....	80
10.7. GRAFCET	83
11. INSTAL·LACIÓ ELÈCTRICA.....	86
11.1. Quadres elèctrics	86
11.1. Elements complementaris	88
12. RESUM DE PRESSUPOST.....	92
13. CONCLUSIÓ	93
14. RELACIÓ DE DOCUMENTS	94
15. BIBLIOGRAFIA.....	95
16. GLOSSARI	96
A. CÀLCULS.....	97

A.1. Càlcul de la secció del cablejat de BT	97
A.2. Càlcul de la instal·lació de MT	100
A.3. Càlcul dels contactors, fusibles, relé tèrmic i magnetotèrmics	103
A.4. Càlcul de la capacitat de la bateria de dc	103
A.5. Càlcul de la bateria de condensadors	104
B. DIAGRAMA DE CONTACTES.....	106
B.1. Alarmes.....	106
B.2. Accions	107
B.3. GRAFCET de les alarmes.....	108
B.4. GRAFCET de les accions	111
C. GRAFCET	113
C.1. Alarmes	113
C.2. Accions.....	113
D. SCADA.....	114
E. ESTUDI ECONÒMIC.....	116

1. INTRODUCCIÓ

Les centrals hidroelèctriques són instal·lacions que ens permeten aprofitar l'energia potencial gravitatòria continguda en l'aigua dels rius, en el procediment de transformar-la en energia mecànica i després en elèctrica mitjançant turbines hidràuliques acoblades a generadors elèctrics.

En resum, l'energia potencial gravitatòria existent per generar energia elèctrica, utilitza l'aigua que flueix d'un nivell superior a un altre inferior. Aquesta s'origina de dues maneres: per corrents naturals descendents d'aigua i per canvis de nivell d'estuaris o altres aigües existents als oceans.

En darrer terme, el fluid en la seva caiguda entre dos nivells tendeix a circular fins a arribar a la turbina hidràulica, la qual, transmet l'energia a un generador on es transforma en energia elèctrica.

1.1. Antecedents

Des de l'antiguitat la corrent d'aigua va ser aprofitada per diversos usos, com per moldre gra o triturar materials per a la producció de paper, motiu pel qual encara es conserven molins d'aigua, formats per rodes hidràuliques, en diferents zones del planeta. A més, en el transcurs de l'Edat Mitjana les rodes hidràuliques de fusta ja podien arribar fins a una potència màxima de 50 CV o 36,8 kW, degut a l'evolució del seu funcionament, la qual cosa, va permetre el desenvolupament de la indústria tèxtil i metal·lúrgica.

Al mateix temps, l'energia hidroelèctrica va tenir una evolució considerable gràcies a l'enginyer civil britànic John Smeaton, que va construir per primera vegada grans rodes hidràuliques de ferro colat.

Tot i que, no va ser fins al començament de la Revolució Industrial quan es va arribar a aprofitar l'energia de l'aigua per a la producció elèctrica. El creixement industrial al nord d'Europa va provocar una gran demanda d'energia que es va poder satisfer, gràcies a la hidroelectricitat, ja que l'extracció de carbó encara no era lo suficientment potent com per cobrir les necessitats industrials.

Altrament, la primera central hidroelèctrica va ser construïda a Northumberland (Regne Unit), a l'any 1880. Un any més tard, es va aplicar per l'energia procedent de les cataractes del Niagara per aportar electricitat a l'enllumenat públic, posteriorment van començar a originar-se més de 200 centrals a Estats Units i Canadà.

En darrer terme, l'energia hidràulica va tenir un creixement ascendent degut a les innovacions tecnològiques sorgides a finals del segle XIX i a principis del XX, concretament en relació a la invenció del generador elèctric i a la millora de les turbines hidràuliques.

1.2. Objectius

Com ja sabem, en una central hidroelèctrica disposem d'una sèrie d'elements per tal de poder realitzar les diferents funcions, que al cap i a la fi, ens serveixen per a poder originar electricitat a través de la força de l'aigua.

El que es pretén, és a partir d'una central amb una quantitat no molt elevada en quant a la potència, realitzar una recollida de dades reals per a poder-les estudiar i treballar amb elles. Posteriorment, amb la informació obtinguda podrem escollir les diferents màquines a instal·lar en una central hidroelèctrica.

En definitiva, l'objecte principal és fer una elecció idònia dels elements en funció de la quantitat de cabal existent i de la potència consumida que es requereixi.

Tot seguit, complementarem la central amb els elements de protecció necessaris per tal de que la central hidroelèctrica treballi d'una manera òptima i segura. Així mateix, per a l'estudi dels diferents dispositius de protecció farem referència a diferents catàlegs existents en el mercat.

Finalment, es vol realitzar un estudi econòmic de tot el conjunt de la instal·lació per veure la seva viabilitat.

1.3. Especificacions o abast

Es vol modernitzar una central hidroelèctrica a partir d'una ja existent, de manera que ens basem amb els materials que ja estan en funcionament amb la missió d'aconseguir una millora i poder actualitzar el màxim possible tot el conjunt de la instal·lació.

Acte i seguit, adoptem per agafar una solució per tal de dissenyar una central, escollint les màquines i solucions necessàries.

En darrer terme, es vol implementar per mitjà d'un programa informàtic un control de maniobra que ens permeti saber en cada moment com estan executant la seva funció corresponent cada maquinària i activi una sèrie d'alarmes en funció dels possibles desperfectes que es puguin produir.

2. ENERGIA HIDRÀULICA

L'energia hidràulica o hidroelèctrica és aquella que s'obté de l'aprofitament de les energies cinètica i potencial de la corrent d'aigua, salts d'aigua o mareas. És un tipus d'energia renovable, donat que el seu impacte ambiental és mínim.

Per fer-nos una idea del seu ús a l'estat Espanyol, s'ha realitzat una recaptació de dades dels últims 25 anys de producció d'energia hidràulica.

Acte i seguit, es mostra una gràfica de barres, on es pot visualitzar l'evolució de la producció d'energia en els darrers 25 anys a Espanya:

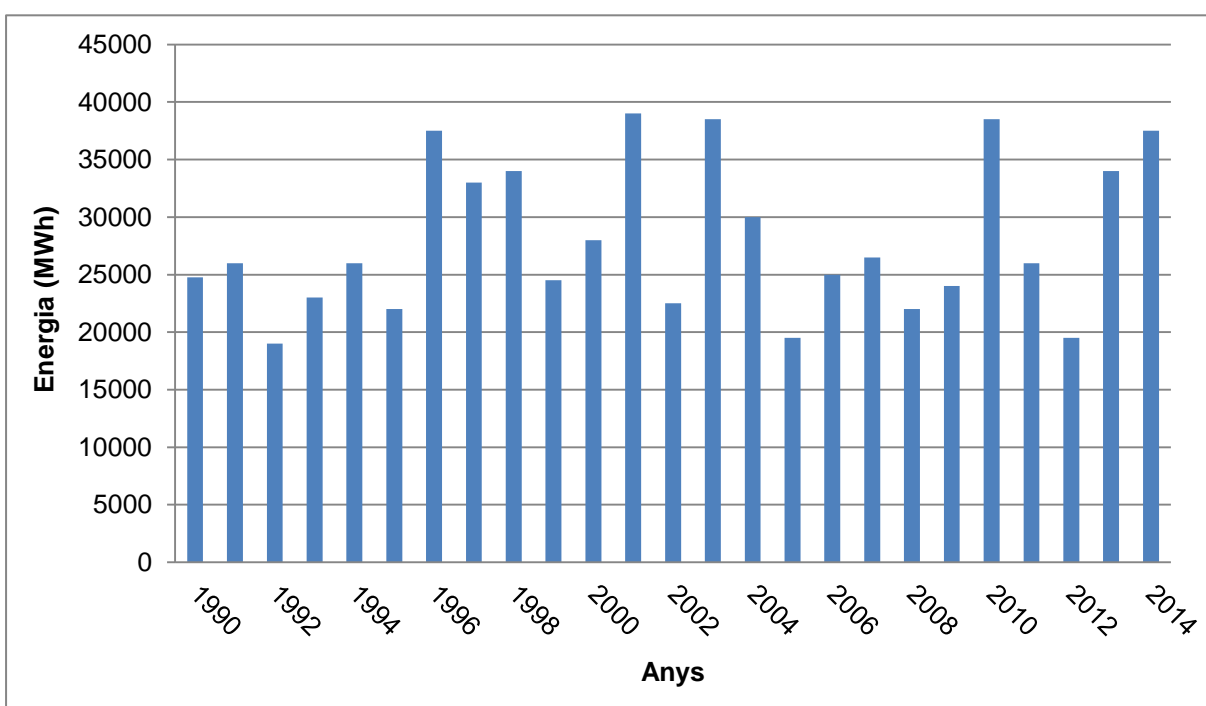


Figura 1. Producció d'energia hidràulica en els darrers 25 anys

Tal i com es pot veure, la producció d'energia elèctrica anual va variant en funció de la quantitat d'aigua disponible en la zona on es té instal·lada la central hidràulica. Per aquest motiu la producció d'energia elèctrica està directament relacionada amb les precipitacions produïdes durant l'any.

Canviant de tema, les minicentrals hidroelèctriques, a gran escala tenen un camp d'extensió limitat, ja que, en els països més desenvolupats els rius més importants ja tenen una o varies centrals.

Així mateix, a menor escala la generació d'electricitat amb minicentrals hidroelèctriques, si ofereix possibilitats de creixement, pel motiu de l'existència a la diversitat de cabals que encara són susceptibles, aquests poden ser aprofitats amb la implantació de la nova tecnologia.

Cal tenir present, que gran part del potencial europeu prové de la rehabilitació i ampliació d'instal·lacions ja existents. A la Unió Europea tenim un 68 %, amb més de 40 anys d'antiguitat.

A continuació, les avantatges que es poden presentar són: Energia renovable amb un alt rendiment ecològic, és inesgotable degut al cicle de l'aigua, és una energia neta no emet gasos i no produeix emissions tòxiques, els costos de manteniment i explotació són baixos i les obres d'enginyeria necessàries per aprofitar l'energia hidràulica tenen una duració considerable.

Per contra, tenim alguns inconvenients com: La construcció de grans embassaments pot deteriorar importants extensions de terreny, Impacte de la natura. Preses i embassaments poden ser destructius als ecosistemes aquàtics i degut a la repetició d'obertures i tancaments de les turbines el cabal del riu es pot modificar dràsticament provocant alteracions en els ecosistemes.

Pel que fa a la superfície terrestre predomina l'aigua amb un 71 %. L'energia hidroelèctrica té el seu origen de manera indirecta en el Sol, encarregat del cicle hidrològic natural, aquest cicle es produeix de forma en que la radiació procedent de les fusions nuclears escalfen la superfície terrestre, rius, llacs i oceans provocant l'evaporació de l'aigua.

Posteriorment, l'aire calent transporta l'aigua evaporada en núvols i boira a diferents zones del planeta, on es produeixen les precipitacions en forma de pluja i neu.

Acte i seguit, es mostra com es produeix un cicle hidrològic:



Figura 2. Cicle hidrològic de l'aigua

De manera resumida, les centrals i minicentrals hidroelèctriques transformen l'energia del fluid en electricitat amb l'aprofitament de la diferència de desnivell existent entre dos punts.

L'energia primer de tot es transforma en energia mecànica en la turbina hidràulica, aquest element activa el generador, que posteriorment transforma l'energia mecànica en elèctrica.

A més a més, les centrals hidroelèctriques, i dintre d'elles les minicentrals tenen una dependència exclusiva per les característiques que presenti la zona on es volen instal·lar.

Per últim cal remarcar, que quan es vulgui posar en marxa una instal·lació s'ha de tenir en compte la topografia del terreny i com influirà tant en la obra civil com en la selecció de la maquinària.

3. TIPUS DE CENTRALS

Les centrals hidroelèctriques es poden classificar per mitjà de 3 factors: la magnitud del volum embassat, la categoria de la instal·lació en el sistema total d'energia i l'alçada de caiguda del flux de l'aigua.

En referència a la magnitud del volum embassat tenim centrals amb emmagatzematge, les quals, es construeixen per mitjà d'una o més preses que formen els llacs artificials on es destina a dipositar un volum considerable d'aigua per sobre de les turbines.

Dins d'aquest àmbit, també existeixen les centrals sense emmagatzematge o d'aigua fluent, que es caracteritzen per no tenir embassament, el seu terreny no presenta molt desnivell i es imprescindible que el cabal del riu sigui lo suficientment constant per a garantir una potència determinada durant el seu funcionament.

Normalment predominen en zones amb poca alçada de salt i cabal elevat, tot i que, també s'apliquen en llocs amb bones condicions orogràfiques i poc cabal.

De manera resumida, capten una part del cabal del riu, el transporten fins a la central i una vegada s'ha utilitzat, es retorna al riu. És el tipus més habitual entre les minicentrals.

A continuació podem veure com és la constitució del terreny d'una central amb aigua fluent:



Figura 3. Central hidroelèctrica d'aigua fluent

Si ens centrem, a la categoria de la instal·lació en el sistema total d'energia existeixen les centrals de base, de puntes, les de reserva i les d'acumulació o de bombeig.

Les centrals de base, es caracteritzen en el subministrament de la major part de l'energia elèctrica, de manera continuada. Aquestes també es denominen centrals principals, són de gran potència i utilitzen generalment com a màquines motrius les turbines de vapor, de gas i hidràuliques.

Les centrals de puntes, es destinen exclusivament per cobrir les demandes d'energia elèctrica en les hores de més consum, en aquest període es posen en marxa i treballen de forma paral·lela amb la central principal. Si es dona el cas, que la central de base té poca potència, s'utilitzen grups electrògens en que la màquina motriu és un motor d'explosió, en canvi, si la central de base es major, s'utilitzen generalment petites amb motors Dièsel.

Les centrals de reserva, tenen la funció de reemplaçar total o parcialment a les centrals hidràuliques de base en situacions d'absència d'aigua o avaria en qualsevol element del sistema elèctric. Com a centrals d'aquest tipus s'utilitzen normalment les centrals tèrmiques, les quals, les màquines motrius són turbines de vapor i en instal·lacions de potència reduïda, els motors dièsel.

Les centrals d'acumulació o de bombeig, utilitzen la potència sobrant d'una central hidroelèctrica en les hores de baixa demanda, per augmentar aigua d'un riu o d'un llac fins a un dipòsit, per mitjà de bombes centrífugues accionades per els alternadors de la central, que s'utilitzen com a motors.

A més, en els períodes on es requereix una demanda elevada, els alternadors treballen com a generadors accionats per les turbines que usen l'aigua prèviament elevada en accions anteriors.

En última instància, segons l'alçada de caiguda d'aigua es donen les centrals d'alta pressió, on les alçades de salts d'hidràulica són superiors als 200 m. En aquests tipus s'utilitzen màquines motrius com: turbines Pelton o en salts de menys altitud les turbines Francis lentes. Es troben ubicades en zones d'alta muntanya, i aprofiten l'aigua de torrents, mitjançant conduccions de gran longitud.

Seguidament, es presenten les centrals de mitjà pressió, on les altures de salts oscil·len entre els 20 i 200 m. Les màquines motrius aplicades en la classe citada són: les turbines Francis mitjanes i ràpides en els casos de salts amb menys alçada.

Així mateix, tenim les centrals de baixa pressió amb alçades d'hidràulica a 20 m. En aquestes s'utilitzen les turbines Francis extra ràpides de les turbines d'hèlix i principalment les turbines Kaplan.

Com a punt final, es pot veure una taula on es classifiquen les centrals segons la potència consumida:

Classes de centrals	Potència
Micro centrals	$P_a < 100 \text{ kW}$
Centrals de petita potència	$100 < P_a < 1000 \text{ kW}$
Centrals de mitja potència	$1000 < P_a < 10000 \text{ kW}$
Centrals de gran potència	$P_a > 10000 \text{ kW}$

Taula 1. Classe de central segons la potència instal·lada

4. ELEMENTS D'UNA CENTRAL HIDRÀULICA

El punt següent tracta de les diferents unitats existents en tot el conjunt d'una central hidroelèctrica, les quals, serveixen per a realitzar les diverses funcions donades en tota la instal·lació.

Primerament, tenim la presa, encarregada de portar i dirigir l'aigua d'un canal, túnel, tubera forçada o entrada de la turbina. També s'utilitzen per augmentar el salt necessari i generar l'energia requerida. La seva construcció pot ser de formigó, fusta, maçoneria o per una combinació d'aquests materials.

Seguidament, existeixen els canals amb l'objectiu de transportar l'aigua des de la presa fins a la càmera d'aigua. Pot ser obert en la seva part superior o enterrat. Si es dona el cas de tenir un terreny òptim, el transport es pot dur a terme sobre ell, encara que, és típic la seva construcció artificial a partir de formigó.

Tot seguit, els sobreexidors són els elements que permeten alliberar part de l'aigua que és retinguda, evitant el seu pas per la sala de màquines.

En relació a la maquinària, disposem d'una sala de màquines, les quals, és la zona on estan ubicades les màquines com: les turbines, alternadors i els elements de regulació i control de la central, instal·lats en els quadres elèctrics.

Quant a la turbina, són uns elements amb la funció principal de transformar en energia mecànica l'energia cinètica d'una corrent d'aigua.

Així mateix, en l'alternador és un tipus de generador elèctric destinat a transformar l'energia mecànica en elèctrica.

Respecte a les conduccions, l'alimentació de l'aigua a les turbines es realitza a través d'un sistema complex de canalitzacions.

Primer de tot, tenim la càmera de càrrega, la qual, és un dipòsit on finalitza el canal i surt la tubera forçada en direcció a la turbina. La funció principal de la càmera de càrrega és doble. Per un costat, subministra la quantitat d'aigua necessària a la central en el moment de la posada en marxa i per un altre, absorbeix les oscil·lacions produïdes quan el cabal de la tubera i el canal no coincideixen.

Com ja hem mencionat, es té la tubera forçada, un conducte a pressió que surt de la càmera de càrrega i porta l'aigua a pressió fins a la turbina, evitant el desnivell existent.

Respecte a les seves característiques posseeixen les següents: geomètriques (pendent, dimensions), constructives (material utilitzat, diàmetre, espessor, tipus d'unions) i hidràuliques (cabal, velocitat del fluid, pèrdua de càrrega, pressió). Pel que fa a la instal·lació, poden ser aèries o enterrades.

Seguidament, les vàlvules són dispositius per a controlar i regular la circulació de l'aigua per les tuberes. Es col·loquen en la part final de la tubera forçada i abans de la turbina, són de tancament amb la missió de fer les funcions de vàlvula de seguretat.

Com a aclariment, si es dona el cas de que la vàlvula es tanca de forma brusca, es produeixen unes ones de pressió en la tubera, que s'anomenen cop d'ariet.

En darrer terme, tenim les xemeneies d'equilibri que són uns pous de pressió de les turbines que s'utilitzen per evitar el cop d'ariet, produït quan hi ha un canvi sobtat de pressió degut a l'apertura o tancament ràpid de les vàlvules en una instal·lació hidràulica.

4.1. Turbines

Les turbines hidràuliques són els elements principals per tal d'aprofitar l'energia de les centrals hidroelèctriques. Converteixen en energia mecànica l'energia cinètica, per mitjà del moviment d'una corrent d'aigua.

La seva peça més important és el rotor, que té una sèrie de pales impulsades per la força produïda per l'aigua en moviment, originant el seu gir.

També tenim els coixinets, utilitzats per a la separació de les peces mòbils i per absorbir la força i les altes temperatures. Hem de tenir presents que una de les fallades típiques en la turbina és el sobreescalfament pel motiu d'una alineació inadequada dels coixinets.

Quant al criteri de selecció del tipus de turbina a utilitzar en una central, ens hem de centrar en la velocitat específica, N_s , on el seu valor exacte s'obté per mitjà de la següent equació:

$$N_s = \frac{n_e \cdot \sqrt{N}}{h^{5/4}} \quad (\text{Eq.1})$$

El paràmetre n_e , són les revolucions per minut, el terme N , és la potència de l'eix o potència al fre i h és l'altura neta o altura del salt. Aquests valors s'agafen quan el rendiment es dona

en les condicions màximes. La velocitat específica és el número de revolucions que donaria una turbina semblant a la que es tracta de buscar entregant una potència de 1 CV, al ser instal·lada en un salt d'altura unitària.

Així mateix, aquesta velocitat, regeix l'anàlisi comparatiu de la velocitat de les turbines essent la base per la seva classificació. És emprat en la selecció de la turbina més adequada, per un cabal i altura coneguts, en instal·lacions hidràuliques, per a obtenir una normalització en la construcció de rodets de turbines.

Tanmateix els valors d'aquesta velocitat específica per els actuals tipus de turbines, construïdes amb major freqüència (Pelton, Francis, Hèlix i Kaplan) es presenten en el següent quadre:

Velocitat específica Ns	Tipus de Turbina
De 5 a 30	Pelton amb un injector
De 30 a 50	Pelton amb varis injectors
De 50 a 100	Francis lenta
De 100 a 200	Francis normal
De 200 a 300	Francis rapida
De 300 a 500	Francis doble bessona rapida o express
Més de 500	Kaplan o hélix

Taula 2. Tipus de turbina segons la velocitat específica

A banda d'això, també hem de tenir en compte el salt hidràulic net, per això tenim el salt brut com la distància vertical, donada entre els nivells de la làmina d'aigua en la presa i en el canal de descàrrega, en les turbines de reacció, o l'eix de tuberes en les d'acció. Una vegada sabem el salt brut, per deduir el net, s'han de tenir en compte les pèrdues de càrrega, en la llargària del seu recorregut.

En la següent taula, veiem per cada tipus de turbina, els marges de valors de salt net amb que treballen:

Tipus de turbina	Rang de salts net (m)
Kaplan i hélix	$2 < H < 20$
Francis	$10 < H < 350$
Pelton	$50 < H < 1300$
Michell-Banki	$3 < H < 200$
Turgo	$50 < H < 250$

Taula 3. Tipus de turbina segons el salt hidràulic net

De manera paral·lela, parlem del cabal, ja que un valor aïllat del cabal no és suficient per a escollir un tipus de turbina. El que es necessita és el règim de cabals típicament representat per la corba de cabals classificats (CCC) obtinguda de les dades procedents d'estudis hidrològics, previs a la selecció de la turbina.

Cal tenir present, que no tots els cabals representats en una CCC poden aplicar-se per a produir energia elèctrica. En primer lloc, no es té en compte el cabal ecològic que transita durant tot l'any per zones restringides o curtcircuitades. En segon lloc, cada classe de turbina només pot treballar amb cabals compresos entre el nominal, on s'obté el rendiment màxim i el mínim tècnic per sota del qual no és estable.

Acte i seguit, tenim una figura com a ajuda per a escollir el tipus de turbina en funció de l'altura del salt i el cabal.

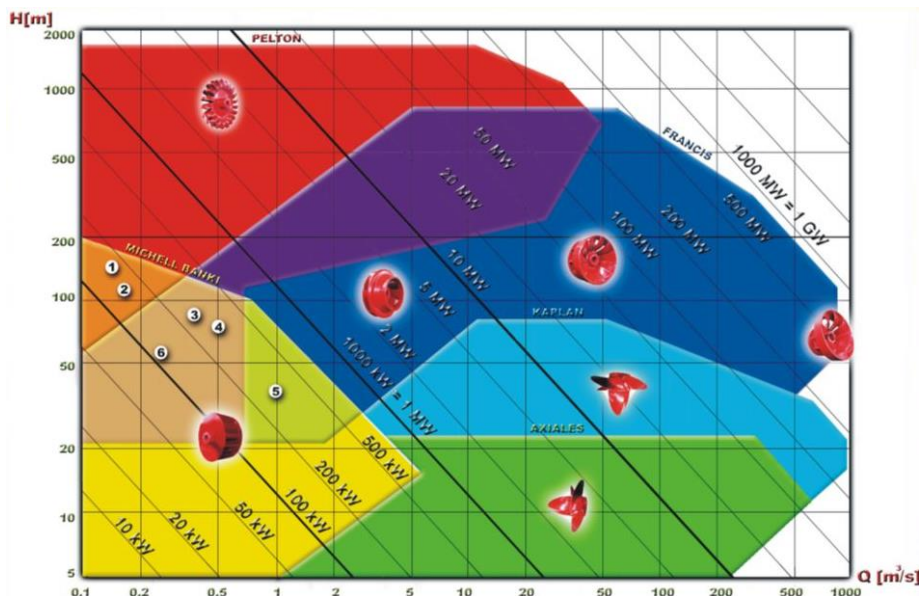


Figura 4. Selecció de turbines en funció de l'altura del salt i el cabal

Un cabal i un salt hidràulic defineixen un punt en la gràfica que reuneix les condicions operacionals de cada tipus de turbina. L'elecció final és el resultat d'un procés iteratiu, que respecti la producció anual d'energia, el cost d'adquisició i manteniment i la seva fiabilitat.

4.1.1. Turbines d'acció

Per una banda, tenim les turbines d'acció o les de Pelton, on l'aigua opera sobre el rodet mitjançant una o diverses tuberes en direcció tangencial o normal. La senzillesa de prendre entre certs límits la velocitat tangencial de la roda, possibilita adquirir un número de revolucions adequat per aquesta, la qual cosa, permet l'acoblament amb el generador elèctric i aconseguir per a ell la freqüència de 50 períodes/segon, en altres paraules, els dos elements s'han de sincronitzar respecte a la freqüència.

Una característica a destacar d'aquest tipus, és que ens proporciona un rendiment excel·lent, pel motiu de fer mínima la pèrdua per velocitat residual, essent aquesta la que afecta directament sobre l'element i no té funció de transport tan sols es manté per inèrcia, això ens implica que no hagi necessitat de que les pales tinguin un gran desenvolupament i s'eviti al mateix temps les pèrdues per fricció de l'aigua sobre les pales.

De manera global, les turbines d'acció són aquelles en les que l'energia de pressió de l'aigua es transforma totalment en energia cinètica. Tenen com a característica fonamental que l'aigua presenta la pressió màxima a l'entrada i a la sortida del rodet.

A destacar, que les turbines Pelton tenen un rendiment excel·lent entre 0,7 i 1,0 de la potència màxima. Motiu pel qual, no es requereix instal·lar moltes unitats en centrals d'aquests tipus.

Aquestes turbines es caracteritzen per utilitzar-se en salts d'alçada entre els 100 i 1800 m. Així mateix, la velocitat específica està limitada entre els valors de 10 a 75 i poden adoptar potències fins als 200 MW.

A continuació, es pot veure la constitució física d'una turbina Pelton:



Figura 5. Turbina d'acció o Pelton

4.1.2. Turbines de reacció

Per altra banda, les turbines de reacció de Francis o Kaplan destaquen, pel motiu, en que tan sols una part de l'energia de pressió de l'aigua es transforma en energia cinètica. En aquesta classe de turbines, el fluid té una pressió més baixa en la sortida que a l'entrada.

En comparació amb les turbines d'acció, on es pot veure la transformació total de l'energia cinètica en pressió produïda en el distribuïdor, en altres paraules, la velocitat de sortida de l'aigua per la tubera és la corresponent a tota l'alçada del salt, en la turbina Francis de reacció la transformació citada, no és completa perquè la velocitat d'entrada de l'aigua en el rodet és més petita que la corresponent al salt existent.

Convé fer ressaltar, que les turbines Francis consten dels elements següents: un distribuïdor, un mecanisme de tancament, un rodet, els coixinets i un tub d'aspiració.

El distribuïdor és un element constituït per àleps mòbils directors, amb la funció de dirigir l'aigua fins als àleps del rodet i regular el cabal admès, de manera que la potència de la turbina es pot ajustar a les variacions de càrrega de la xarxa elèctrica, a la mateixa vegada també influeix en el rendiment de la màquina. En resum, aquest element transforma l'energia de pressió a energia cinètica.

Les peces claus del distribuïdor són les paletes directrius, que donen el sentit adequat a l'aigua a l'entrada del rodet. Típicament el número de paletes col·locades en el distribuïdor

van de 12 a 21. Aquestes estan controlades per un mecanisme de biela-maneta, el qual, està format per una brida, la biela mateixa i una peça que uneix la biela amb l'anell giratori. Així mateix, tots aquests elements estan connectats entre si mitjançant uns passants i estan fixats axialment per greixadors i radialment per cargols.

En referència al rodet, és una peça imprescindible en qualsevol turbina, ja que, és on es produeix l'intercanvi d'energia entre la màquina i el fluid, aprofitant l'energia cinètica i potencial de l'aigua per a produir un moviment de rotació que es transfereix per mitjà d'un eix al generador. Es troba situat entre la sortida del distribuïdor i la entrada al tub d'aspiració.

Generalment, l'energia del fluid en l'instant de passar per el rodet és una acumulació d'energia cinètica, de pressió i potencial. Segons el salt realitzat per l'aigua o la velocitat específica que pot arribar a tenir el rodet, es pot utilitzar una o un altre. Normalment adopta velocitats entre 100 i 200 rpm.

Tenim dos tipus de rodets, els radials que són molt lents i arriben a velocitats específiques de fins a 100 rpm i els axials, molt ràpids amb velocitats superiors als 400 rpm.

Altre element a destacar, és el tub d'aspiració o difusor, el qual, consisteix en una conducció en forma de sífó que uneix la turbina amb el canal de descàrrega. La seva funció principal és la de recuperar la màxima quantitat d'energia cinètica de l'aigua a la sortida del rodet. A la sortida del rodet s'obté una pressió menor que la atmosfèrica i per tant un gradient de pressió dinàmica major a través del rodet.

Altament, la constitució exterior d'una turbina està formada per una càmera espiral. En la seva entrada es col·loca un descarregador per a evitar l'entrada de l'aigua quan el rodet es pari, en aquesta zona es col·loca una vàlvula. El distribuïdor s'uneix a la càmera per cargols de subjecció. A la part oposada del distribuïdor, es troba l'eix i el tub difusor, units amb cargols de subjecció a la càmera.

Així mateix, s'instal·len dos bastidors que subjecten l'eix de la turbina i que uneixen aquest amb l'acoblament per aconseguir transmetre el moviment rotatiu al generador.

Per altre banda, el que es pretén aconseguir és que el seu funcionament es realitzi amb el major número possible de revolucions, juntament amb això disminuir les seves pròpies dimensions i permetre l'acoblament amb alternadors que no presentin una superfície molt elevada.

Aquesta necessitat es requereix quan hem d'aprofitar salts de grans caudals i de poca alçada. Les turbines aplicades en aquest cas són les de Francis, s'eleva el número de revolucions disminuint el diàmetre del rodet, augmentant a la vegada la seva altura i modificant l'angle de les paletes.

En primer lloc, la turbina transforma la sumatòria d'energies en energia mecànica manifestant-se en el gir del rotor. Posteriorment, el rodet a la mateixa vegada transmet aquesta energia mitjançant un eix a un generador elèctric, on es realitza la conversió final en energia elèctrica. Cal tenir en compte, que el rotor pot tenir diverses formes depenent del número específic de revolucions per el qual ha estat dissenyada la màquina, també té dependència del salt hidràulic i del cabal de disseny.

Al principi, en l'inici del desenvolupament de les turbines, per obtenir un resultat òptim, era imprescindible variar l'angle d'admissió i de sortida de les paletes respecte al cabal absorbit, la qual cosa, era poc probable poder realitzar-ho en els rodets Francis, degut a l'existència dels seus elements diversos.

De manera paral·lela, si es redueix el número de paletes i es fabriquen amb menor longitud i més planes, es poden instal·lar aletes giratòries complementàries, patentades per el professor Kaplan. Cal ressaltar, que el rendiment d'aquests rodets és òptim, tot i tenir cabals de valor 1/4 del màxim i que estan constituïts per 2 o 4 pales per els salts reduïts i de 5 a 8 per altures més elevades.

Altrament, en el funcionament de les turbines es donen pèrdues de treball que influeixen directament en el rendiment. Aquestes pèrdues es produeixen per: el lliscament del fluid en el distribuïdor, a les pèrdues en el rodet provocades per el xoc d'entrada i canvi bruscat de velocitat entre els diversos filets sortints del distribuïdor, el lliscament de l'aigua en el tub d'aspiració, la distància existent entre el distribuïdor i el rodet, per on s'escapa una part del líquid, a les resistències passives pròpies del funcionament de la turbina i a la velocitat de sortida que sempre ha de tenir un valor determinat per afavorir la circulació de l'aigua.

A tall de recapitulació, es pot entendre que per aconseguir un rendiment màxim, cada turbina i naturalment el seu rodet han de calcular-se en base a dades com: l'altura del salt, cabal i número de revolucions. Si es dona el cas de que el salt o el cabal varien en una turbina, el rendiment es veurà influenciat per aquestes variacions.

El rendiment de la turbina Francis és òptim però en un marge reduït entre 0,6 i 1,0, motiu pel qual, han d'instal·lar-se en la central el número necessari de grups perquè individualment treballin amb càrregues superiors a 0,6 de la total, en altres paraules, amb bon rendiment.

Aquestes turbines es caracteritzen per utilitzar-se en salts d'alçada entre els 5 i 550 m. Així mateix, la velocitat específica està limitada entre els valors de 50 a 450 i poden adoptar potències fins als 375 MW.

La turbina Francis es divideix en els següents tipus: lenta per les caigudes elevades; veloc centrípeta axial, per alçades mitjanes i molt veloc per salts de poca altura. Cal tenir present que ens referim a la velocitat específica o al número de voltes específic, és a dir, la velocitat de gir del rodet.

Acte i seguit, tenim una mostra de la constitució física d'una turbina Francis i de les seves parts:

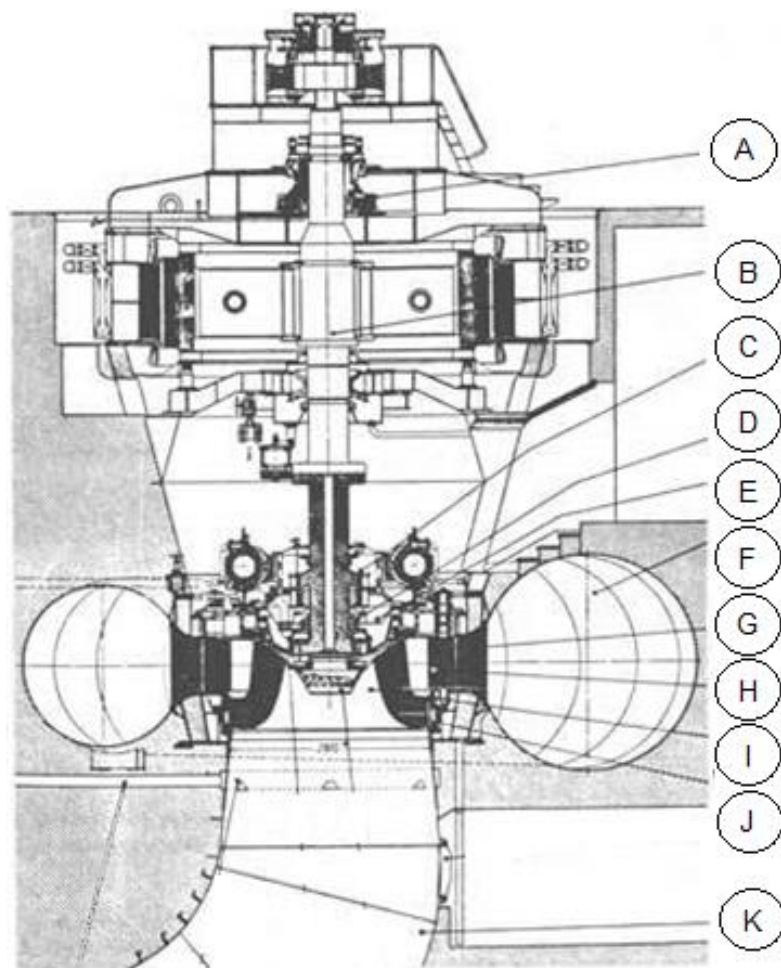


Figura 6. Turbina de reacció o Francis

La A, és el coixinet d'empenta; la B, és l'eix; la C, és el coixinet guia de la turbina; la D, és el segellat de l'eix; la E, és el pou de la turbina; la F, és la càmera espiral; la G, són les pales fixes; la H, són les pales directrius; la I, és el rodet; la J, són els àleps del rodet i la K, és el tub d'aspiració.

4.2. Generador

El generador té la funció de transformar en energia elèctrica la mecànica subministrada per la turbina. Depenent de la xarxa que es vulgui alimentar, es pot seleccionar entre generadors síncrons o asíncrons. Els generadors síncrons normalment són més utilitzats pel motiu de tenir una velocitat constant, la qual cosa, permet la regulació de la freqüència i la tensió.

Així mateix, posseeixen un rendiment elevat i necessiten complementar-se per un líquid refrigerant, essent els més empleats l'aire o l'aigua en els de volum petit i l'hidrogen en els de volum més gran.

Per altre banda, els generadors asíncrons ofereixen més facilitat de connexió a la xarxa i a més a més són simples, robustos i de baix manteniment. Avui dia, aquests tipus de generadors es troben en desús i la seva aplicació queda limitada a centrals de petita potència.

Les dues classes de màquines estan construïdes per una part estàtica, l'estator, i una part mòbil, el rotor. Cadascun d'ells es compon per un circuit elèctric, el debanat, que pot ser estatòric o rotòric.

El disseny del debanat estatòric és el mateix en les dues màquines, en canvi, el rotòric és molt diferent. Aquest, a través dels acoblaments requerits, es troba juntament a l'eix de la turbina, o del multiplicador, i rep l'energia mecànica produïda per la turbina.

L'energia citada és transformada en energia magnètica i transmesa al debanat estatòric, que en forma de corrent elèctric es produeix l'entrega a la xarxa a la qual es connecta.

4.3. Multiplicador de velocitat

Si es dona el cas de que la velocitat de la turbina i del generador no siguin equivalents, es requereix la presència d'un mecanisme per a enllaçar les dues màquines.

Aquesta funció es realitzada per un multiplicador format per un conjunt d'engranatges que augmenti la velocitat i a més a més absorbeixi les càrregues i fregaments produïts en el període de posta en marxa de la central.

4.4. Transformador

Els transformadors són màquines elèctriques estàtiques construïdes per dos debanats elèctrics per cadascuna de les fases enrotllats sobre un mateix nucli ferromagnètic. Un dels enrotllaments, anomenat primari, rep energia elèctrica amb uns valors determinats de tensió i intensitat.

Així mateix, l'energia produïda en aquesta zona es transformada en energia magnètica, instants després torna a convertir-se en energia elèctrica, amb uns valors de tensió i corrent diferents, en el segon debanat, anomenat secundari.

En resum, el transformador permet el canvi d'energia absorbida en un altre energia elèctrica per mitjà d'un camp magnètic que actua com a mitjà d'acoblament.

Per altre banda, cal tenir present que la tensió de treball dels generadors és mitja o baixa, i si suposem que el transport de l'energia es realitzarà a aquests nivells de tensió, les intensitats elèctriques circulants serien massa altes, la qual cosa, comportaria un malbaratament per pèrdues en els conductors, a més de que aquests han de tenir una secció elevada.

L'objectiu principal dels transformadors és augmentar el valor de la tensió generada de manera que la corrent a transmetre, disminueixi en la mateixa proporció, reduint-se d'aquesta manera les pèrdues i la secció en els conductors de MT.

4.5. Elements de control

Tenim el regulador de velocitat de la turbina, amb la funció de mantenir la velocitat de la turbina constant enfront a les variacions de càrrega.

El regulador de nivell amb la missió de mantenir constant el nivell d'aigua en la càmera de càrrega o en el canal. Actua sobre el regulador de la turbina.

El regulador de tensió del generador s'encarrega de mantenir constant la tensió en borns del generador i restablir amb el menor temps possible quan aquesta varia degut a les fluctuacions en la càrrega o pertorbacions en la xarxa.

Per altre banda, l'equip de sincronització vigila que es compleixin les condicions necessàries per la connexió en paral·lel de generadors síncrons, essent aquestes la igualtat de tensió i la coincidència de la freqüència amb la de la xarxa.

4.6. Elements de protecció

Primerament fem referència, a la xarxa de les terres, on es divideixen en dos circuits independents el de protecció caracteritzat per una instal·lació per minimitzar els efectes de les descàrregues atmosfèriques i falles d'aïllament. Així mateix, tenim el de servei, el qual, s'uneix al neutre dels transformadors.

D'altre banda existeixen els pararraigs o autovàlvules amb la funció de dirigir cap a terra les descàrregues d'origen atmosfèric.

També es tenen els transformadors de mesura i protecció, els quals, redueixen els valors d'intensitat o de tensió, segons cada cas, per a permetre la connexió dels diversos aparells de mesura i protecció.

Per últim, es donen les proteccions del generador, del transformador i de la línia elèctrica.

4.7. Serveis auxiliars

Es caracteritzen per ser unitats que no intervenen directament en la producció d'energia elèctrica però són imprescindibles per el seu control i aprofitament.

D'entrada, es té el transformador de serveis auxiliars amb la missió de modificar la tensió al nivell necessari per el funcionament dels serveis auxiliars.

Seguidament, trobem els serveis auxiliars en corrent continua, anomenats també serveis bàsics essencials, amb l'objectiu de garantir el funcionament dels elements imprescindibles de la central.

En acabat, es donen els serveis auxiliars en corrent alterna, els quals, es connecten directament a la sortida del transformador de serveis auxiliars i poden dividir-se en dos grups, els serveis auxiliars principals i els normals.

4.8. Automatització

Avui dia, el control d'una central hidràulica es duu a terme mitjançant un PLC o autòmat programable. Totes les maniobres, mesures, alarmes i senyalitzacions es monitoritzen en pantalles i panells de control. Es poden donar dos casos: funcionament normal o automàtic.

5. CENTRAL MINI HIDRÀULICA

En aquest apartat fem referència als estudis realitzats en una minicentral de baixa potència, amb un cabal normalitzat del canal de 1 a 5 m³/s, dependent de la variació del cabal del riu i un nivell de salt net de 10 m.

Primer de tot, ens basem en la seva situació actual i en com estan distribuïts i instal·lats els diferents elements de la zona.

Segonament, analitzarem durant un any, el 2014, amb dades reals l'evolució del cabal del riu Fluvià, per a poder saber quin és el període de l'any on es tindrà la màxima activitat de les diferents màquines instal·lades.

Acte i seguit, en funció de la quantitat de cabal i salt de nivell net es procedeix a escollir un tipus o un altre de turbina, tenint en compte la potència que es requereixi i les exigències de treball a que es vegi obligat de suportar.

Finalment, escollim l'alternador i el transformador més adient a les nostres condicions de treball. També es dissenyarà un programa de control, en el qual, ens permeti controlar el sistema turbina-generador, la connexió i desconnexió del sistema amb la xarxa i el control de velocitat de gir de la turbina.

5.1. Emplaçament

La central es troba ubicada a la població d'Arenys d'Empordà a 34 km de Girona, a la província de Girona, concretament a la comarca de l'Alt Empordà.

A destacar que properament tenim el riu Fluvià, a partir del qual, es destina a fer ús per el funcionament de la central.

5.2. Descripció de la zona

Tenim una edificació industrial utilitzada exclusivament com a central hidroelèctrica, està distribuïda per una sala interior de 92,4 m², on es situen els quadres elèctrics de tota la instal·lació i una sala de màquines de 33,6 m², on es troben la turbina, el multiplicador de velocitat i el generador.

A l'exterior tenim una façana de 195,40 m², des d'on es pot observar el canal i un jardí de 127,9 m², on instal·lem una torre elèctrica d'interconnexió que serveix com a suport dels

cables procedents del transformador i dur a terme la connexió amb la xarxa de MT de la companyia.

També es disposa d'un petit taller de 38,68 m² per a realitzar les reparacions oportunes i poder guardar els documents necessaris de la central.

5.3. Estudi del cabal d'aigua

Primerament fem referència, al riu del qual fem ús per a poder fer funcionar la central hidràulica. Aquest és el riu Fluvià, el qual, és un curs fluvial prepirinenc amb el seu naixement al massís del Puigsacalm i un recorregut d'uns 70 km en direcció est-oest. El seu règim es pot definir com pluvial, destacant uns ritmes d'oscil·lació propis dels rius mediterranis, a més també va variant contínuament.

A Sant Pere Pescador, es pot trobar el tram baix i la desembocadura del corrent que és del tipus plana deltaica. D'altre banda, el drenatge de les zones humides s'ha originat a través de la construcció de canals i regs. Amb aquesta xarxa de canals es deriven cabals per a reg i especialment en el nostre cas per a fer funcionar la central hidroelèctrica.

Respecte al seu comportament hidràulic està bastant condicionat en el seu últim tram per la influència del mar, factors com l'oscil·lació de la cota de làmina d'aigua del mar té una influència directa sobre l'aigua del riu. Així mateix, com a característica dels ambients deltaics, existeix un equilibri dinàmic a la desembocadura. Cal dir, que aquest equilibri està modificat en l'actualitat per les erosions formades a la desembocadura provocades per les sortides de les embarcacions.

Pel que fa, a la procedència de l'aigua a la central s'utilitza un canal amb unes dimensions de profunditat de 6 m, de llargària de 1.000 m i d'amplada de 3 m.

Nosaltres imposarem un criteri que ens permeti aproximar el màxim possible la quantitat de cabal aportada per el canal. Per el riu circula una quantitat determinada de cabal, imposem que el cabal del canal és aproximadament un 75% del riu de procedència, ja que, al reduir les dimensions del canal per on es transporta el fluid, el cabal es veu lleugerament reduït.

Prèviament, s'havia pensat en mesurar el cabal de forma instantània del canal, per mitjà d'un càlcul, el qual, ens permet saber la quantitat a través de la distància i el temps en el recorregut de l'aigua d'un punt de referència a un punt determinat. Dividint la velocitat calculada per el temps d'un punt a l'altre obtenim el cabal.

Així mateix, no s'ha decidit adoptar aquest mètode pel motiu de la variació de cabal continua existent en el riu, ja que, aquest no és constant.

Acte i seguit, es mostra una taula amb el total i la mitjana de la quantitat de cabal existent en el riu Fluvià i en el canal proper a la central, per mesos i per any.

Mesos		Cabal del riu Fluvià (m ³ /s)	Cabal del canal de la central (m ³ /s)
Gener	Total	83,82	62,87
	Mitjana	2,70	2,03
Febrer	Total	58,71	44,04
	Mitjana	2,10	1,57
Març	Total	34,95	26,21
	Mitjana	1,13	0,85
Abril	Total	84,05	63,04
	Mitjana	2,80	2,10
Maig	Total	45,45	34,08
	Mitjana	1,47	1,10
Juny	Total	43,10	32,32
	Mitjana	1,44	1,08
Juliol	Total	47,66	35,74
	Mitjana	1,54	1,15
Agost	Total	51,67	38,75
	Mitjana	1,67	1,25
Setembre	Total	52,97	39,73
	Mitjana	1,77	1,32
Octubre	Total	65,80	49,35
	Mitjana	2,12	1,59
Novembre	Total	35,25	26,44
	Mitjana	1,17	0,88
Desembre	Total	127,53	95,65
	Mitjana	4,02	3,09
Tot l'any	Total	730,96	548,22
	Mitjana	1,99	1,50

Taula 4. Total i mitjanes de cabals del riu i canal

Les dades del riu Fluvià s'han estret per mitjà de l'ACA, Agència Catalana de l'aigua. S'han obtingut les quantitats de tots els dies de l'any 2014, a partir d'aquestes, s'han realitzat les mitjanes i els totals per cada mes i per tot l'any.

5.4. Salt de nivell

Primer de tot com a aclariment, es defineix com salt brut la distància vertical H , entre els nivells de lamina d'aigua, mesurat entre dos punts, la presa d'aigua i el canal de descàrrega.

El salt net es dedueix del resultat de restar al salt brut, les pèrdues provocades per el lliscament de l'aigua amb les parets de la trajectòria per les que circula i a les turbulències donades durant el recorregut. El seu càlcul compleix els principis de la dinàmica de fluids.

Amb referència a com realitzar les mesures del salt, és recomanable fer ús d'un nivell i una regla o cinta agrimensora, tot i que, actualment la mesura es realitza amb teodolits electrònics, que són instruments utilitzats per obtenir angles verticals i horitzontals.

A continuació es mostra una figura, per a poder apreciar la manera d'agafar els punts adequats en la seva mesura:

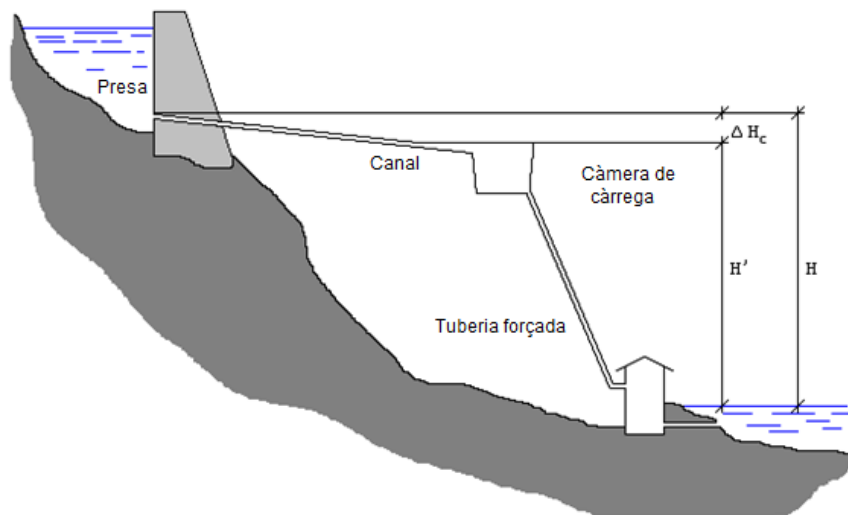


Figura 7. Salts brut i net en una central hidràulica

La variable H es refereix al salt brut, sense tenir en compte les pèrdues donades en el canal, mentre que, la variable H' ens indica el salt net.

En darrer terme, en el nostre cas ens referenciem a uns 10 m de salt net, dada proporcionada per la persona encarregada del manteniment de la central. Aquesta dada, posteriorment serà aplicada per el càlcul de l'energia produïda per la central, com es pot veure en el següent apartat.

5.5. Energia produïda

Una vegada sabem la quantitat de salt i cabal que ens pot proporcionar el canal a través del corrent per a fer funcionar la central, es pot saber la potència total útil necessària en el recinte.

Per el càlcul de la potència total útil, apliquem la següent fórmula:

$$P_{inst} = \gamma \cdot Q \cdot H \cdot \eta_t \cdot \eta_m \cdot \eta_g \cdot \eta_{tr} \quad (\text{Eq.2})$$

El paràmetre P_{inst} és la potència instal·lada o potència útil nominal en kW, γ és el pes específic de l'aigua ($9,81 \text{ kN/m}^3$), la Q és el cabal en m^3/s , la H és el salt net en m, la η_t és el rendiment de la turbina, la η_m és el rendiment del multiplicador, la η_g és el rendiment del generador, la η_{tr} és el rendiment del transformador.

Pel que fa als rendiments, per a centrals hidroelèctriques es pot prendre el producte de tots per una aproximació compresa entre 0,8 i 0,85.

Tot seguit, per a deduir l'energia produïda a la central es realitza mitjançant la següent equació:

$$E_{prod} = P_{inst} \cdot h \quad (\text{Eq.3})$$

El terme E_{prod} és l'energia produïda en la central, P_{inst} és la potència instal·lada i h és el número d'hores que la central està en funcionament. Per a deduir les hores de funcionament imposen els següents criteris: si la quantitat de cabal del canal és major de 1.500 l/s les hores de funcionament són de 24 hores, si està entre 1.500 i 800 l/s són de 16 hores i si és menor de 800 l/s són de 12 hores.

A continuació, es mostra una taula amb el total i la mitjana de la quantitat de potència total útil i de l'energia produïda de la central.

Mesos		Potència útil turbina + generador o total (kW)	Hores en funcionament	Energia produïda (kWh)
Gener	Total	3.378,11	744,00	76.867,02
	Mitjana	169,10	24,00	4.045,63
Febrer	Total	3.671,87	672,00	88.124,98
	Mitjana	131,14	24,00	3.147,32
Març	Total	2.185,42	432,00	32.458,47
	Mitjana	70,50	13,94	1.047,05
Abril	Total	3.271,14	504,00	61.315,27
	Mitjana	112,80	17,38	2.043,84
Maig	Total	2.842,08	524,00	49.563,17
	Mitjana	91,68	16,90	1.598,81
Juny	Total	2.695,36	480,00	43.907,13
	Mitjana	89,85	16,00	1.463,57
Juliol	Total	2.980,44	504,00	53.297,32
	Mitjana	96,14	16,26	1.719,27
Agost	Total	3.231,36	512,00	59.308,50
	Mitjana	104,24	16,52	1.913,18
Setembre	Total	3.312,96	524,00	63.095,25
	Mitjana	110,43	17,47	2.103,17
Octubre	Total	4.114,94	560,00	81.389,27
	Mitjana	132,74	18,06	2.625,46
Novembre	Total	2.204,36	456,00	33.780,70
	Mitjana	73,48	15,20	1.126,02
Desembre	Total	7.975,81	744,00	191.419,33
	Mitjana	257,28	24,00	6.174,82
Tot l'any	Total	41.863,86	6.656,00	834.526,42
	Mitjana	119,95	18,31	2.417,35

Taula 5. Totals i mitjanes de potències i energia produïda

Els valors dels totals i mitjanes de les potències i energies, s'obtenen a partir dels valors diaris de cada mes, en el cas dels mesos. Així com, en tot l'any s'agafen els totals i les mitjanes de cada mes.

6. SELECCIÓ DE TURBINES

Per a començar, teníem instal·lada una turbina d'uns 35 anys de vida, degut al seu desgast de coixinets i el seu estat avançat de deteriorament, s'ha decidit adoptar per el canvi de la turbina i seleccionar una de nova.

Cal remarcar, que en l'elecció d'una turbina hem de tenir present les condicions existents de treball, és a dir, el cabal existent i el salt hidràulic, que ens pot aportar l'aigua del canal procedent del riu Fluvià.

A partir d'aquests paràmetres podem adquirir una turbina que s'aproximi el màxim possible als requisits exigits. Per a poder escollir-la utilitzem un gràfic, el qual, a l'eix d'ordenades tindrem el salt hidràulic net i a l'eix d'abscisses la velocitat específica.

Un altre punt important a considerar, és realitzar una aproximació respecte a la potència necessària a instal·lar en la central hidràulica. Una vegada és coneguda, podem realitzar una distribució equitativa de les màquines respecte a la potència instal·lada.

Per a fer un càlcul aproximat utilitzarem l'equació 2, amb el cabal en el cas més restrictiu, és a dir, quan es dona el cas de potència màxima per a garantir un funcionament òptim en condicions de màximes exigències.

Sabem que el cabal màxim que circula per el canal és de $4,44 \text{ m}^3/\text{s}$, el salt hidràulic és de 10 m i amb un rendiment del 0,85 de tota la instal·lació. Amb aquests valors ens resulta una potència a instal·lar de 370,23 kW en el grup turbina-generador.

Posteriorment hem de repartir una potència més o menys igual en el grup de màquines de turbina-generador. Es decideix escollir una turbina d'una potència d'uns 200 kW.

Una vegada sabem la quantitat de CV que podrà consumir la turbina, es pot calcular la velocitat específica per mitjà de l'equació 1.

Altres termes necessaris són la velocitat de la turbina d'uns 250 rpm i el salt hidràulic net existent d'uns 10 m. A partir d'aquí, tenim un resultat de 231,75.

Finalment, quan ja tenim la velocitat específica i el salt hidràulic utilitzem un gràfic per a escollir la turbina. En l'eix d'ordenades des dels metres de salt net corresponent, tracem una línia horitzontal fins que talli amb una altre traçada vertical des de l'eix d'abscisses en la velocitat específica. A partir d'aquest punt, es pot seleccionar la turbina que més s'adapti a les nostres necessitats.

A continuació, es pot veure el gràfic com a ajuda per a la selecció d'una turbina que compleixi les exigències necessàries:

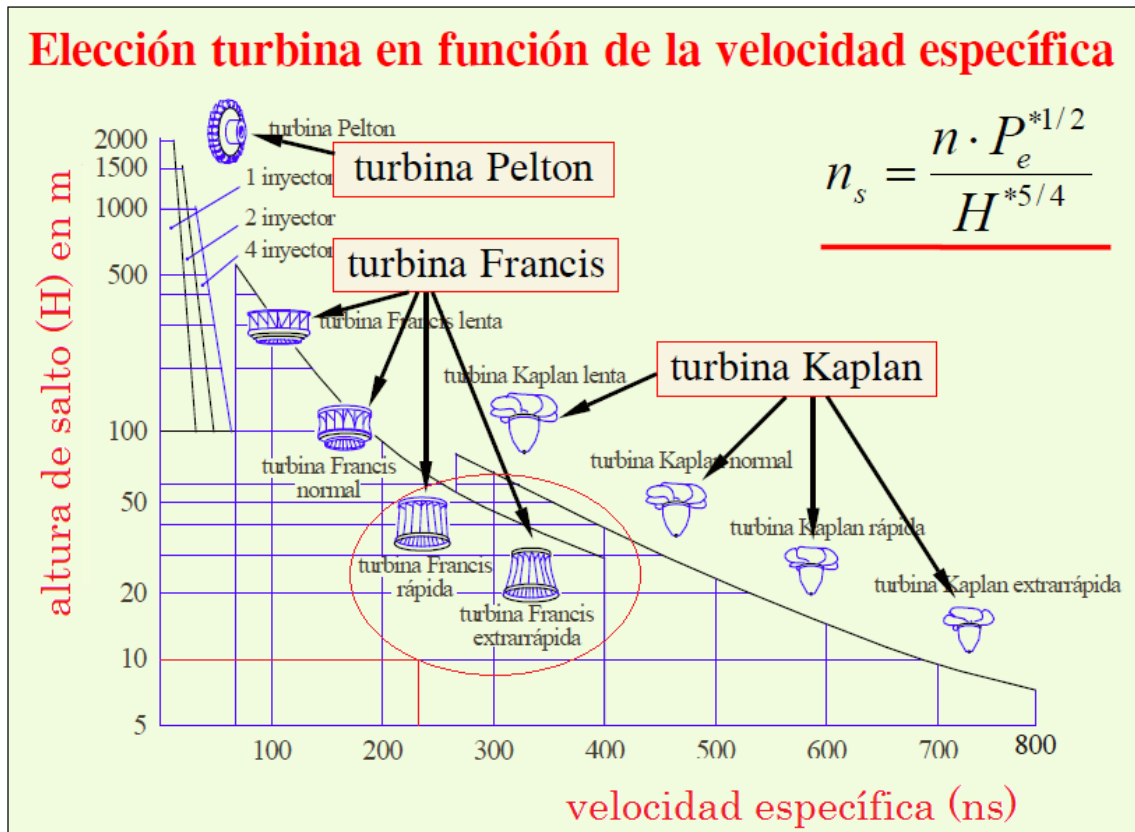


Figura 8. Gràfic per a selecció d'una turbina

Segons les nostres necessitats adoptem per a escollir una turbina Francis ràpida o extra ràpida. A la figura de dalt estan marcades les línies horitzontal i vertical i el cercle que ens remarca les dues classes de turbines.

A l'eix d'ordenades tenim els salts nets i al d'abscisses correspon a la velocitat específica que es pot arribar a utilitzar.

6.1. Descripció de la Turbina

Respecte a la selecció de la turbina, es decideix seleccionar una turbina Francis originada a Xina, del fabricant ELECTWAY. Ens hem decantat per aquest fabricant, pel motiu que ens ofereix una màquina eficient i bastant econòmica.

Acte i seguit, es pot veure la constitució física de la turbina:



Figura 9. Turbina Francis HL260

Es caracteritza per a tenir una càmera espiral, amb una forma de cargol per a permetre que la velocitat del fluid es mantingui constant en cada punt de la zona. També es troben el predistribuidor i el distribuïdor, per a minimitzar les pèrdues d'aigua i dirigir-la de forma adequada cap al rotor.

Tanmateix, com ja s'ha mencionat es té l'element més important el rotor, on es dona l'intercanvi d'energia entre la màquina i el líquid. Pot tenir diverses formes depenent del número específic de revolucions pel qual ha estat dissenyada la màquina, el salt hidràulic i el cabal de procedència.

En darrer terme, es disposa del tub d'aspiració que es troba la sortida amb la missió de donar constància al flux i recuperar el salt perdut en les instal·lacions que es troben en funcionament per sobre del nivell d'aigua a la sortida.

A continuació, es presenta una taula amb les especificacions de la màquina:

País d'origen	Xina
Fabricant	ELECTWAY
Model	HL260
Certificació	IEC 60193
Velocitat síncrona	250 rpm
Potència	200 kW
Eficiència	87,50%
Diàmetre	1,2 m
Amplada	1 m
Alçada	2,5 m
Pes	2.000 kg

Taula 6. Característiques de la turbina Francis

Per altre banda, és molt important insistir en la sincronització que hi ha d'haver entre la turbina i el generador en aspectes com la freqüència i la velocitat de sincronisme. Per a permetre acoblar les dues màquines, aquestes han d'estar sincronitzades adequadament.

L'element a utilitzar és el multiplicador de velocitat. El motiu del seu ús, és que generalment en totes les instal·lacions de baixa altura de salt com en el nostre cas, els rodets giren per sota de 400 rpm, degut a això s'opta per a la instal·lació d'un multiplicador per arribar als 1.000-1.500 rpm dels alternadors estàndards.

Nosaltres aplicarem un multiplicador de corretja plana, ja que, no tenim una potència massa elevada i el seu manteniment és fàcil.

La següent figura ens mostra el multiplicador instal·lat en la central:



Figura 10. Multiplicador de velocitat del grup turbina-generador

6.2. Element hidràulic complementari de la turbina

Com a millora del funcionament de la turbina es disposa d'un grup hidràulic, encarregat de la creació de forces i moviments per mitja de fluids sotmesos a pressió.

Aquest conjunt, està format per un motor, una bomba, un acumulador, una vàlvula limitadora de pressió, un sistema de calefacció i refrigeració i un dipòsit.

Escollim un grup hidràulic amb dues bombes de cilindrada constant i dos motors, funciona amb corrent alterna. Seguidament es pot veure com és aquesta unitat:



Figura 11. Grup hidràulic

Per a complementar informació d'aquest conjunt, tenim la següent taula:

Fabricant	Festo didactic
Freqüència	50 Hz
Pressió	0...60 bars
Potència	2x550 W
Tensió	230 Vac
Dipòsit	40 l
Dimensions	700x320x550 mm
Pes	72 kg

Taula 7. Característiques del grup hidràulic

7. SELECCIÓ DEL GENERADOR

Al principi, es disposava d'un alternador bastant vell i amb el bobinat molt desgastat. En referència, als cables conductors de la mateixa màquina estaven cremats degut a curtcircuits patits i per el temps del seu ús. A més a més, últimament ha donat problemes de funcionament i ens causava moltes avaries. Per aquest motiu es procedeix al seu canvi i a instal·lar un de més modern i actual.

Primerament hem de decidir quin tipus de generador es vol escollir asíncron o síncron. Avui dia, és freqüent trobar-nos amb síncrons pel motiu de que generen l'energia elèctrica amb el mateix voltatge, freqüència i angle de desfasament. Aquests alternadors síncrons poden funcionar aïllats de la xarxa. En la nostra central aplicarem aquest tipus d'alternador.

Per altre banda, per a proporcionar excitació a un generador síncron circula una intensitat continua per el circuit dels pols inductors, la qual cosa, representa entre el 0,5 i 1% de la potència útil del generador. Tot i què, típicament s'utilitzen excitatrius estàtics.

Com a aclariment, en excitatrius estàtics la corrent d'excitació prové dels terminals del generador principal, per mitjà d'un transformador. Aquesta corrent es rectifica amb un equip electrònic i s'injecta al bobinat d'excitació rotòrica del generador, degut a l'existència d'un sistema d'escombretes i anells lliscants. En l'arrancada de l'alternador no hi ha tensió en borns i per tant no es disposa de corrent d'excitació.

Convé fer ressaltar, com es realitza la regulació i sincronització dels generadors síncrons. Inicialment la seva arrancada es realitza en buit, afectant a l'admissió de la turbina per augmentar gradualment la seva velocitat. L'alternador es sincronitza amb la xarxa, igualant els valors dels voltatges eficaços, les freqüències, els desfasaments i el sentit de rotació.

Tanmateix, quan el generador arriba a una velocitat aproximada a la de sincronisme, s'activa l'excitació i es regula perquè la tensió entre els bornes sigui similar a la de les barres. Cal destacar que un generador acoblat a una xarxa aïllada, el regulador ha de mantenir un valor predeterminat del voltatge independentment del valor de la càrrega.

7.1. Model del generador

L'energia elèctrica és generada, majoritàriament per generadors síncrons trifàsics, també anomenats alternadors. El seu eix és desplaçat per el motor primari, en el nostre cas la turbina hidràulica a una velocitat constant.

Així mateix, la potència mecànica proporcionada per el motor primari, i consegüentment, la potència activa generada es controla amb una vàlvula d'admissió de la turbina. A banda d'això, l'excitació regulada determina el flux de potència reactiva subministrada o absorbida per la màquina.

Ara parlem, de com estan constituïdes les màquines síncrones en el seu interior. Per començar destaquem que es constitueixen per dos debanats independents. Un debanat inductor o d'excitació alimentat amb corrent cc i un debanat induït que forma un bobinat trifàsic alimentat per corrent alterna. Els dos es construeixen amb el mateix números de pols magnètics.

D'altre banda, per a potències elevades l'inductor es situa en el rotor i l'induït en l'estator. En el rotor també ens trobem amb els debanats esmorteïts, que són barres de coure curtcircuitades, amb la missió de disminuir les oscil·lacions mecàniques del rotor.

El rotor pot prendre dues classes diferents, en forma de pols sortints o en pols llisos o rotor cilíndric. En els pols sortints els debanats dels pols són concentrats, en canvi, per el rotor cilíndric el debanat està distribuït en ranures.

Així mateix, el tipus de rotor depèn exclusivament de la velocitat de rotació de la màquina, la qual, està relacionada amb la classe de motor que la fa girar.

Els alternadors connectats per turbines hidràuliques giren, amb una freqüència de la tensió generada de 50 Hz, a 3.000 rpm o 1.500 rpm, a aquests els pertocuen 2 o 4 pols, cal dir que el rotor és cilíndric o de pols llisos.

En canvi, els que giren a velocitats entre 100 i 750 rpm requereixen de 8 a 60 pols, el rotor és de tipus pols sortints. Aquests són els que s'apliquen per a les centrals hidràuliques.

Nosaltres ens centrem en el model de maquina de rotor cilíndric o pols llisos, degut a que la reacció de l'induït no depèn de la posició del rotor per tenir la mateixa reluctància en totes les seves posicions, en canvi, en el rotor de pols sortints l'entreferro (zona discontinua de baixa permeabilitat) és variable, la qual cosa, ens indica que els valors de les reactàncies aniran canviant i no ens serà possible calcular el temps de reconexió en cas de curtcircuit.

És a saber, que al girar el camp de l'induït a la mateixa velocitat que el camp excitat, tenim un resultat diferent en el camp giratori en càrrega del que teníem en buit quan només actua el camp inductor. El camp creat ens origina una inducció de les f.e.m. en càrrega.

També es té una caiguda de tensió en càrrega respecte a la de buit, degut a la reacció de la inducció, aquesta es representa com una reactància de reacció de l'induït X_R i la circulació de la corrent I_a ens provocarà la pèrdua de tensió.

Tanmateix, es dona una pèrdua de tensió per la reactància de dispersió, que representa l'efecte del flux de dispersió en el debanat estatori X_σ i per la resistència dels conductors de l'estator R .

Seguidament, es mostra un circuit equivalent de la màquina síncrona de rotor cilíndric:

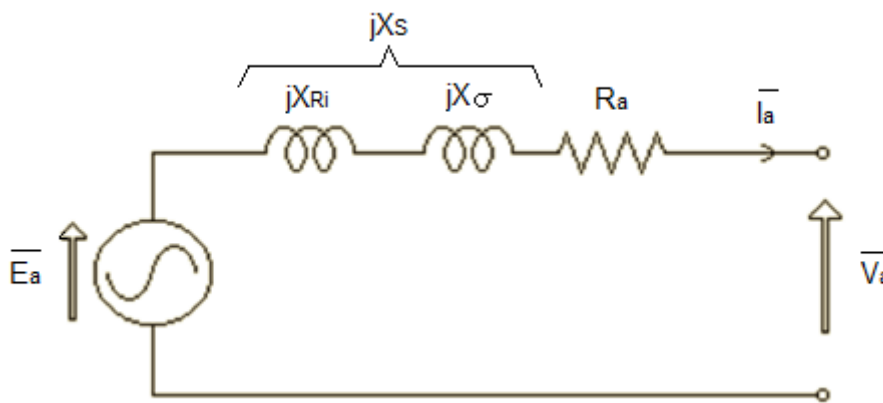


Figura 12. Esquema equivalent per fase d'una màquina síncrona de rotor cilíndric

\bar{E}_a és la tensió interna de l'alternador, jX_s és la reactància síncrona, la R_a és la resistència dels conductors de l'estator, \bar{I}_a és la intensitat d'induït i \bar{V}_a és la tensió en terminals.

Per el càlcul de la tensió en bornes del generador, utilitzem la següent fórmula:

$$\bar{V}_a = \bar{E}_a - (R + jX_s) \cdot \bar{I}_a \quad (\text{Eq.4})$$

Per últim, cal fer menció a l'angle de potència, essent aquest l'angle entre la tensió interna del generador \bar{E}_a i la tensió en bornes \bar{V}_a , prenent com a referència a 0° la tensió en bornes. Aquest angle està relacionat amb la potència activa que entrega la màquina i es positiu per un generador.

7.2. Descripció del generador

Pel que fa a la elecció del generador ens decanem per un que ens permeti adaptar-nos a les condicions exigides per la turbina. Un dels motius de la seva elecció és per el tema econòmic i que no ens ocupa una superfície molt gran.

A continuació, es poden veure les característiques més destacades de la màquina:

País d'origen	Xina
Fabricant	Werna
Model	WR444C
Certificació	ISO9001
Freqüència	50/60 Hz
Velocitat síncrona	1.000 rpm
Potència activa	200 kW
Eficiència	93%
Factor de potència	0,90
Potència aparent	222,22 kVA
Longitud	1 m
Amplada	0,7 m
Alçada	0,8 m
Pes	50 kg

Taula 8. Especificacions del Generador síncron WR444C

Seguidament, es pot veure una mostra de com és el generador:



Figura 13. Generador CA trifàsic WR444C

7.3. Conceptes a tenir presents en l'estabilitat d'un generador

L'estabilitat d'un sistema de generació d'energia elèctrica interconnectat és la capacitat que pot oferir per a tornar a l'estat de funcionament normal o permanent, instants després d'haver patit alguna pertorbació o avaria.

El principal problema es troba en l'estabilitat de l'angle de potència, que fa referència a la capacitat del sistema de persistir el conjunt turbina-generador en sincronisme degut a una pertorbació.

Existeixen tres tipus: estabilitat de règim permanent, transitòria i dinàmica. Nosaltres ens centrem en la transitòria, degut al sincronisme ja mencionat que ha de produir-se. Aquesta tracta pertorbacions, com curtcircuits, connexions o desconexions d'una càrrega important.

Després de cada pertorbació, les freqüències de les màquines síncrones pateixen desviacions respecte al seu valor de sincronisme, o sigui en la freqüència de 50 Hz, variant els angles de potència. La missió principal d'aquest anàlisi és concloure si les màquines tornen a la freqüència síncrona amb els nous angles de potència.

Cal destacar, que en cas de no existir sincronisme entre la turbina i el generador es pot produir una velocitat d'embalament. S'ha d'intentar mantenir aquesta velocitat constant i evitar que ens variï, ja que, aconseguim estabilitzar la freqüència de voltatge a un valor fix.

Com a aclariment, la velocitat d'embalament o de fuga és la velocitat adquirida per el grup turbina-generador en els instants posteriors d'un rebuig de càrrega, si es dona el cas de que el mecanisme de parada ens falla i la unitat no s'atura. Es poden arribar a adoptar valors entre el 150 i el 350% de la velocitat nominal.

L'estabilitat transitòria es determina per el comportament de l'angle de potència de la màquina durant la primera oscil·lació. Durant el període de duració d'aquesta oscil·lació, la potència mecànica de procedència i la tensió interna d'un element generador s'imposen com a constants.

Tot seguit, es tracta el procés de connexió o sincronització d'un generador a un nus del sistema d'energia elèctrica. Suposem que la potència nominal de la màquina és petita en relació amb la xarxa elèctrica, a conseqüència d'això la seva connexió no afecta ni a la tensió ni a la freqüència del sistema. A aquest nus l'anomenarem nus de potència infinita.

Per a il·lustrar l'explicació de la sincronització del generador síncron a la xarxa elèctrica, podem veure el següent esquema:

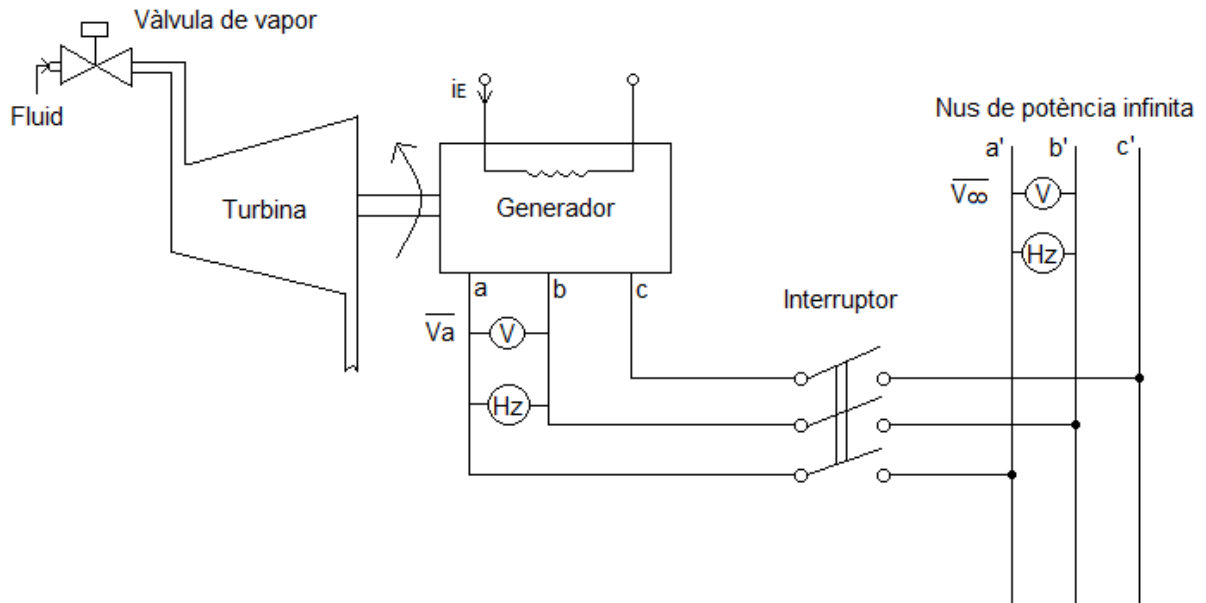


Figura 14. Circuit d'un sistema turбина-alternador-xarxa elèctrica

La connexió de l'alternador amb la xarxa elèctrica comporta una sèrie d'operacions, en altres paraules, la sincronització de la màquina. Per a que es produeixi es requereix un valor equitatiu entre la tensió de l'alternador i la de la xarxa elèctrica.

En motiu d'aquest requisit ens porta a complir unes condicions, respecte de les tensions \bar{V}_a i \bar{V}_∞ : Les seqüències de fases de l'alternador i la xarxa han de ser les mateixes, el voltatge del generador ha de tenir el mateix valor eficaç que la xarxa i les seves fases han de coincidir i les freqüències de les dues unitats han de ser iguals.

7.3.1. Criteri d'estabilitat d'àrees

L'objectiu principal, d'aquest criteri és comprovar com el sistema retorna al seu punt de funcionament normal instants després d'una pertorbació, curtcircuit o avaria. D'aquesta manera es pot saber el temps de reconexió a la xarxa a partir d'un angle crític calculat prèviament.

Imposem un exemple per veure com es comportaria el nostre generador síncron davant un curtcircuit amb els valors típics estimats que es poden arribar a donar, cal dir que serà un cas aproximat al que pot succeir a la realitat.

Primer de tot, es mostra una taula amb els valors unitaris estimats de les reactàncies d'un alternador segons el seu tipus:

Tipus de màquina	X_d	X_{trafo}	$X_{línia}$	X_0
Turbogenerador de 2 pols	0,12-0,21	0,92-1,42	0,07-0,14	0,01-0,08
Turbogenerador de 4 pols	0,20-0,28	0,92-1,42	0,20-0,28	0,05-0,14
Generador de pols sortints	0,20-0,50	0,10-0,50	0,13-0,32	0,03-0,23

Taula 9. Estimació de reactàncies en pu segons la classe d'alternador

Mirant la taula es procedeix a agafar un valor de reactància transitòria del generador (X_d) de 0,30, X_{trafo} de 0,25, $X_{línia}$ de 0,20 i de X_0 de 0,10, cal recordar que el nostre generador és de pols sortints.

Es dóna el cas de que tenim un curtcircuit en un generador de 50 Hz amb una X_d de $j0,30$ i constant d'inèrcia de 5 s, l'alternador es connecta per mitjà d'un transformador de $j0,25$, les línies de transmissió tenen $X_{línia sup.}$ $j0,4$ i $X_{línia inf.}$ $j0,4$ i finalment la impedància que connecta les línies de transmissió amb la xarxa elèctrica de potència infinita és de $j0,10$. El nus està subministrant una potència mecànica de 0,7 pu amb un factor de potència de 0,90 i una tensió de 1 pu.

De cop i volta es produeix un curtcircuit en un punt de la línia de transmissió. Les proteccions desconnecten la connexió de manera automàtica fins que el curtcircuit s'ha minimitzat, una vegada ha desaparegut les proteccions procedeixen a tornar a connectar la línia. Com ja hem mencionat anteriorment, els nostre objectiu és calcular el temps de reconexió a través de l'angle crític resultant.

Tot seguit, es pot veure com queda plantejat tot el circuit:

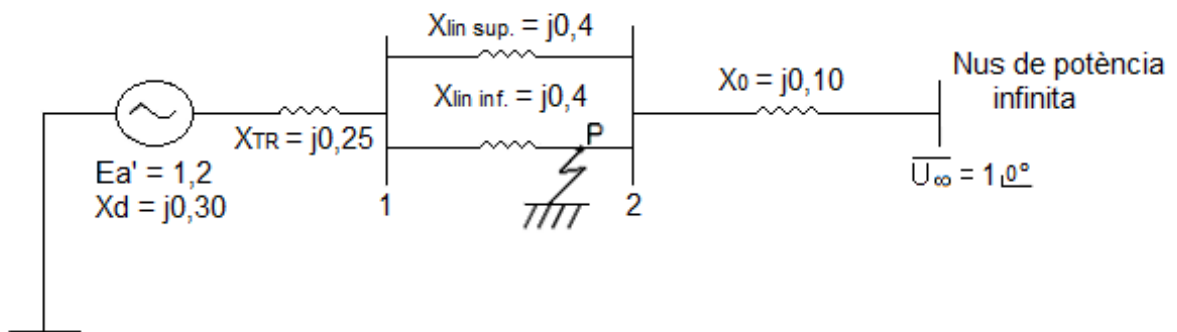


Figura 15. Curtcircuit en la connexió des del generador a la xarxa elèctrica

Per a la seva resolució estudiem el sistema abans, durant el curtcircuit i després del curtcircuit.

Acte i seguit, utilitzem la següent equació en el cas de funcionament normal abans de la fallada:

$$P_e = \frac{E_a' \cdot U_\infty}{X_{\text{equivalent}}} \cdot \sin\delta \quad (\text{Eq.5})$$

$X_{\text{equivalent}}$ és la reactància equivalent i val 0,85 pu. E_a' és la tensió interna del generador i és 1,2 pu, la P_e té un valor de 0,7 pu i la U_∞ de 1 pu. Amb aquests resultats obtenim un δ_0 de $29,77^\circ$ o 0,520 rad.

En el moment que es produeix la fallada, el generador no està transmetent potència per tant la $P_{\text{fallada}} = 0$ pu.

En el moment posterior de la fallada, es presenta la línia on s'ha produït el curtcircuit. En aquest cas la $X_{\text{equivalent}}$ és de 1,05 pu. Amb aquest valor calculem el δ_1 $37,77^\circ$ o 0,659 rad, una vegada tenim aquest angle, es dedueix el $\delta_{\text{màx}}$ com a $142,23^\circ$ o 2,48 rad.

Segonament, utilitzem el mètode d'igualació de dues àrees per a deduir l'angle δ_{cr} . A la part inferior es pot veure com es representa:

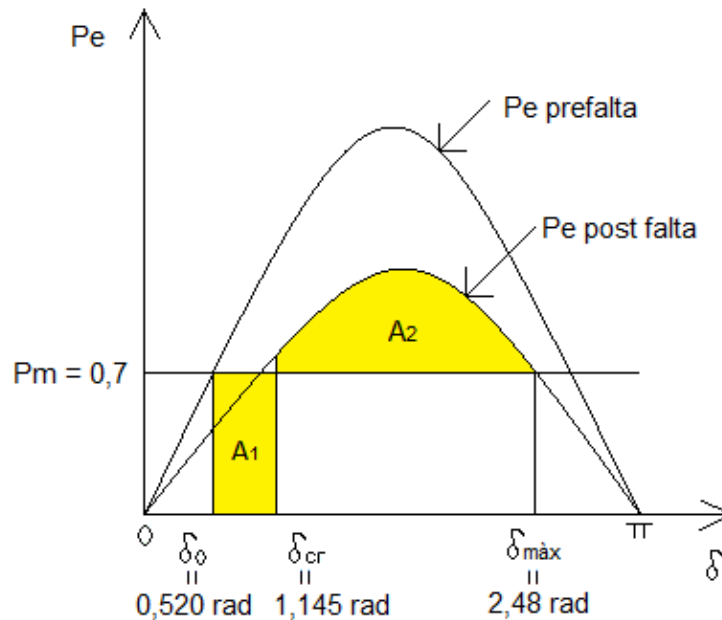


Figura 16. Interpretació del criteri d'igualació d'àrees

Tenim que $P_{Prefalta} = 1,41\sin\delta$, $P_{fallada} = 0$ i $P_{Post\ falta} = 1,14\sin\delta$. Igualant i integrant les àrees A_1 i A_2 . L'angle crític, δ_{cr} té un valor de $65,60^\circ$ o $1,145$ rad.

En darrer terme, calculem el T_{rc} crític amb la següent equació:

$$T_{rc\text{crític}} = \sqrt{\frac{2H(\delta_{cr} - \delta_0)}{\pi \cdot f_o \cdot P_m}} \quad (\text{Eq.6})$$

En la seva resolució obtenim un $T_{rc\text{crític}} = 0,238$ s, aquest és el període crític de reconexió si es sobrepassa aquest temps el sistema no serà estable.

8. SELECCIÓ DEL TRANSFORMADOR

Fins ara es disposava d'un transformador amb el bobinat amb símptomes de desgast i amb un rendiment baix, ja que, es produïen moltes pèrdues en el coure i en el ferro. Per això, es decideix modificar la màquina i instal·lar una més actual.

Per aclarir conceptes, el transformador és un element encarregat de variar la potència elèctrica alterna amb un nivell de tensió a potència elèctrica alterna amb un valor de tensió d'un valor més elevat, degut a l'acció d'un camp magnètic.

En el nostre cas, es decideix utilitzar un transformador trifàsic, ja que, és més lleuger, més petit, barat i més eficient en comparació amb un monofàsic.

Tanmateix, el tipus de connexió és Dyn11, triangle-estrella amb 30° en retràs. Aquest tipus no ens dona problemes amb els components respecte als harmònics que es poden produir, també ens permet una certa estabilitat si hi han càrregues desequilibrades, ja que al costat de Δ es redistribueixen els desequilibris que es puguin produir.

Seguidament, per a veure aquest tipus de configuració del transformador trifàsic es mostra la figura:

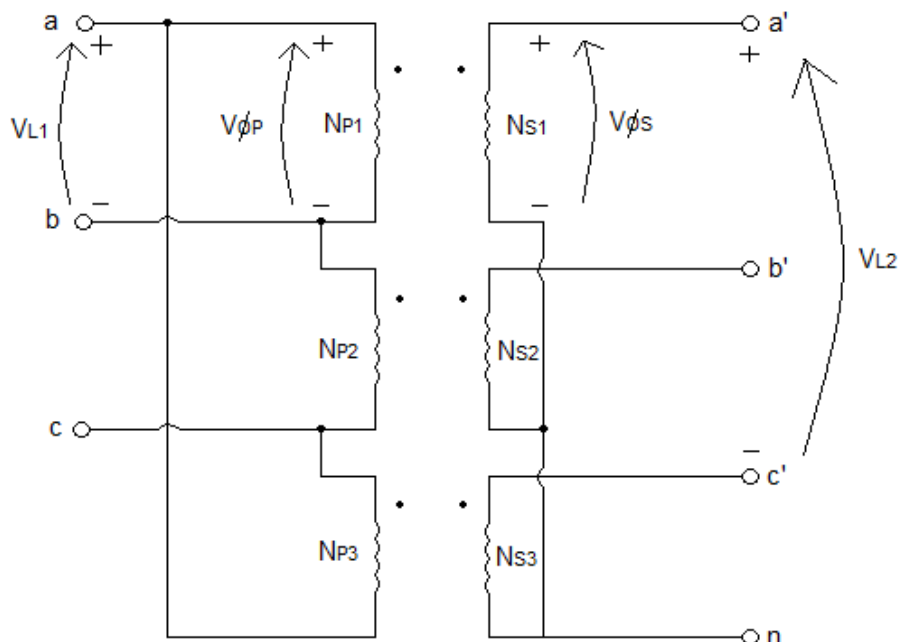


Figura 17. Connexió triangle-estrella del transformador trifàsic

A la part de l'esquerra tenim 3 transformadors monofàsics connectats en triangle, formant un de trifàsic. A la part de la dreta es tenen 3 transformadors monofàsics connectats en estrella, equivalent a un de trifàsic.

8.1. Descripció del transformador

Consisteix en un transformador trifàsic banyat en oli amb refrigeració natural. El seu país de procedència és Alemanya del fabricant SIEMENS.

Tot seguit, es mostra la taula amb les especificacions del transformador escollit:

País d'origen	Alemanya
Fabricant	SIEMENS
Model	IUC010
Certificació	IEC 60076-1
Freqüència	50 Hz
Potència activa	360 kW
Tipus de connexió	DYn11
Eficiència	85%
Factor de potència	0,90
Potència aparent	400 kVA
Tensió primari	400 V
Tensió secundari	25 kV
Pèrdues en càrrega (70 °C)	3.000 W
Pèrdues en càrrega (120 °C)	3.600 W
Pèrdues en buit	1.000 W
Longitud	1,75 m
Amplada	0,6 m
Alçada	1,5 m
Pes	850 Kg

Taula 10. Especificacions del transformador IUC010

En el nostre cas es podria treballar amb un transformador de 250 kVA, però degut a que aquest element sol treballar a un rendiment al voltant del 75 %, s'ha decidit escollir un transformador d'uns 400 kVA i així evitem treballar a uns valors de potència molt justos.

Per a fer-nos una idea de la seva constitució física es presenta la següent figura:



Figura 18. Transformador trifàsic de SIEMENS IUC010

Cal ressaltar, el motiu pel qual, hem decidit que el transformador estigui banyat amb oli. Aquests tipus es poden instal·lar per a totes les potències i tensions, tot i que, per tensions superiors a la de la distribució MT/BT per centres de transformació, es complementen amb dipòsits o tancs de conservació.

En el nostre cas tenim 400/25.000 V, per tant no necessiten aquests elements complementaris. També es té en compte, les avantatges en comparació amb un de sec, com el preu econòmic, nivell de soroll baix, menys pèrdues de buit, control òptim de funcionament i més resistència a les sobretensions.

Anteriorment, hem dit que no es precisa d'un tanc de conservació, però per motius de seguretat, instal·lem un sistema de ventilació forçada, per mantenir una temperatura al voltant del transformador inferior a 140 °C. Aquesta temperatura, és el valor mínim admissible de la temperatura d'inflamació per l'oli, aquesta seria el principal inconvenient de que estiguin banyats en oli.

Implementem el sistema de ventilació, de manera que ens permeti realitzar un intercanvi d'aire entrant i sortint de la zona on es troba el transformador.

Per calcular la dimensió de la ventilació es dedueix mitjançant la següent equació:

$$S = 0,22 \cdot \frac{P_T}{\sqrt{H}} \quad (\text{Eq.7})$$

El terme S és la secció en m², P_T són les pèrdues en càrrega a una temperatura de 70 °C en kW i H és l'alçada on es situa el sistema de ventilació en m. En el nostre cas, tenim unes pèrdues de 3 kW i una alçada de 2 m. Amb això, ens resulta una secció de 0,47 m².

Per a saber el forat a realitzar a la paret es calcula el diàmetre amb un valor de 0,77 m.

Així mateix, per el càlcul del flux d'aire necessari es determina per mitja de la següent fórmula:

$$Q = 3,5 \cdot P_T \quad (\text{Eq.8})$$

Amb les pèrdues existents, ens surt un resultat de 10,5 m³/min o 0,175 m³/s. Aquest cabal d'aire és el que es necessita per a fer front a una ventilació òptima i mantenir el transformador a unes temperatures considerables.

9. SISTEMES DE PROTECCIÓ I CONTROL

Els sistemes de protecció i control dels sistemes elèctrics es basen en una agrupació d'elements elèctrics, electrònics i mecànics que tenen la funció de realitzar les operacions de protecció, supervisió i explotació d'una instal·lació.

L'objectiu a establir és el de vigilar i mantenir d'una forma eficient i segura, una superfície determinada d'una instal·lació elèctrica, com poden ser una subestació, una central o una línia de transmissió, en la que instal·lem equips com són la maquinària elèctrica (transformadors, motors i generadors) o càrregues elèctriques.

A banda d'això, el sistema de protecció ha d'actuar enfront a tot tipus de perturbacions que es puguin originar en un moment determinat i que comporti el risc d'un comportament no habitual en la instal·lació. Aquest fet no desitjat, provoca el deteriorament o en els casos més greus la destrucció dels equips i de la pròpia infraestructura de la instal·lació elèctrica.

Existeixen diverses perturbacions com: Curtcircuits o fallades, sobretensions o subtensions, desequilibris en intensitats o tensions, augment bruscat de temperatures en màquines i equips, variació de la freqüència del sistema i harmònics de corrent o tensió.

Així mateix, l'origen d'aquests desperfectes poden ser diversos com: fenòmens atmosfèrics, maniobres d'acoblament d'interruptors, seccionadors, contactes, fallades d'aïllament per desgast i envelliment dels equips o canvis sobtats de la generació o de la demanda de potència elèctrica.

Altrament, es poden produir incendis, explosions, electrocucions, deformacions en conduccions i màquines elèctriques, tallades elevades de subministres elèctrics o inestabilitat del sistema elèctric.

Finalment nosaltres farem ús d'una sèrie d'aparells que ens permetran complir les condicions de connexió que se'ns exigeix en el ITC-BT-40, el qual, ens informa que la connexió de la central a la xarxa de distribució ha d'efectuar-se amb les següents toleràncies: la diferència de tensió pot ser de $\pm 8\%$, la diferència de freqüència de $\pm 0,1$ Hz i la diferència de fase de $\pm 10^\circ$.

9.1. Protecció en baixa tensió

Convé fer ressaltar, que els elements principals del sistema de protecció són el relé de protecció i els contactors, aquests són uns components electromagnètics o electrònics amb

la funció d'analitzar una sèrie de variables i paràmetres elèctrics, els quals, determinen una condició anòmala de funcionament en la instal·lació i acciona modificacions òptimes que generalment consisteixen en aïllar la pertorbació del sistema realitzant apertures o disparaments a aquells dispositius de connexió que provoquen el defecte.

Normalment els relés admeten potències no molt elevades, per tant es troben en els circuits de control o en circuits en que les seves càrregues són de potències petites. Per contra, els contactors són capaços de retenir les potències més elevades.

L'element citat, té una sèrie de funcions com la protecció de sobreintensitats, de freqüències altes i baixes, de sobretensions, localització de sincronisme i altres proteccions.

En el nostre cas utilitzem 5 tipus de relés: el relé de freqüència, el de sincronisme, el de sobretensió, el de sobrecorrent o protector del motor i el relé tèrmic per a sobrecàrregues.

9.1.1 Relé control de freqüència

Tot seguit, es descriu el relé de protecció respecte a la freqüència quan aquesta és molt elevada o molt baixa. L'element s'acciona quan la freqüència del generador puja o baixa sobre uns límits definits. En aplicacions de protecció de generadors, el relé protegeix al generador i a la màquina motriu davant d'un excés o falta de velocitat.

Cal insistir, que les variacions de freqüències són originades per un mal balanç entre la generació i la càrrega que, normalment es crea per una divisió del sistema en parts, un desequilibri entre càrrega i generació per falta de previsió, una mala programació, per la pèrdua de generació o disparament de barres o línies d'interconnexió importants.

És a saber, que aquestes es poden arribar a donar per l'existència de sistemes aïllats o desllastaments bruscos, per exemple en una parada d'emergència en que la càrrega no té temps a disminuir-se al valor desitjat.

Els desequilibris en freqüència poden succeir en l'entrada o sortida de consums del sistema, i en alguns casos la freqüència augmenta o descendeix molt, la qual cosa, implica un aïllament del motor amb la xarxa elèctrica en cas de tenir un tall de corrent, evitant així una perillosa connexió no sincronitzada.

Els canvis de freqüència poden provocar danys en els equips, quan aquesta baixa més del normal canvia els valors constants de velocitat en motors, la corrent en les bobines puja i la corrent en els condensadors disminueix.

Per altre banda, quan la freqüència puja més del normal canvia els valors constants de velocitat en els motors de manera brusca, posant en risc el seu procés, així com la possibilitat de danyar el debanat de la seva bobina. De manera paral·lela, la intensitat dels condensadors s'eleva i pot deteriorar-los.

Típicament, una aplicació a destacar en el seu ús es dona per a la detecció dels aïllaments del sistema, que s'origina quan un generador connectat a la xarxa queda de sobte sense connexió amb aquesta, fet provocat a la reacció d'alguna protecció llunyana que no es comunica amb la protecció local del generador.

Quant a la protecció contra les freqüències, escollim el relé sèrie PHD del fabricant Crompton Instruments utilitzat per a la protecció de la freqüència de generadors elèctrics i altres equips de corrent alterna. Aquest aparell ens permet regular entre quins valors es vol que el motor de l'alternador actuï.

El relé protegeix a l'alternador i a la màquina motriu d'un canvi brusca de la velocitat. També es pot utilitzar per a la protecció de grans motors síncrons en xarxes destinades al restabliment automàtic de la xarxa.

Acte i seguit, es visualitza aquest tipus de relé:



Figura 19. Relé de protecció de freqüència PHD

Seguidament es veuen les especificacions del relé de freqüència:

País d'origen	Canada
Fabricant	Crompton Instruments
Model	PHD
Certificació	IEC 60529
Freqüència	50 Hz
Rang d'ajust	40...60 Hz
Rang de temperatura	-10...50 °C
Tensió nominal	230 Vac
Intensitat nominal	15 A
Pes	3 kg

Taula 11. Especificacions del relé PHD

9.1.2. Relé control de sincronisme

Abordarem ara, en la protecció de pèrdua de camp d'excitació, el qual, té la missió de detectar quan l'alternador es troba en l'estat de camp obert, és a dir, en circuit obert que pot generar una pèrdua de sincronització de la màquina.

Es pot donar el cas, d'una altre fallada provocada per curtcircuits entre les espines del bobinat del rotor, originant una deformació del camp magnètic, degut a esforços desiguals que desplacen el rotor i vibracions.

Degut a això, les oscil·lacions de potència poden variar fins a un nou estat estable del sistema elèctric o produir la pèrdua de sincronisme del generador connectat a la xarxa, la qual cosa, comporta un funcionament amb una velocitat diferent a la de sincronisme, amb lliscaments o pèrdues de pols i angles de càrrega superiors a 90° (límit d'estabilitat estàtica), mantenint l'excitació connectada. Aquest fet, provoca oscil·lacions elevades de potència, tant activa com reactiva, afectant negativament al generador i a la xarxa.

Així mateix, les repercussions directes sobre el generador són de tipus mecànic, i es provoquen pels parells de frens i acceleració elevada als que està sotmesa la màquina. També influeixen la estabilitat de la xarxa, per les oscil·lacions de potència i la dificultat en recuperar la tensió, produint-se un col·lapse de tensions.

Aquest fenomen es molt important, ja que és un dels grans incidents que es poden donar en una xarxa. Per tant, és necessari tenir un sistema de protecció que ens permeti detectar la

pèrdua d'estabilitat i s'iniciïn les accions requerides per minimitzar els efectes. El sistema ha de ser capaç de distingir si les oscil·lacions són estables o inestables.

Els elements que ens permeten la connexió entre dues màquines de potència són els relés de sincronització automàtica.

Aquests dispositius són empleats per vigilar el tancament manual o automàtic de l'interruptor d'acoblament amb l'objectiu de permetre el tancament quan l'angle de desfasament, la freqüència i la diferència de potencial siguin menors o similars als valors d'ajust introduïts en la zona prèvia al relé. També envia senyals de rectificació als reguladors de velocitat i de tensió del generador, amb la finalitat de complir les condicions apropiades de sincronització.

Nosaltres ens decantem en escollir el M200 PLL de la fàbrica SENSOVANT, aquest pot regular qualsevol de les barres i bus de xarxa en connexió amb el generador. Té un ajust de diferencial de tensió entre un 10 i un 30 % de la nominal.

Aquest element ens compara l'entrada de voltatge i fase de relació de la barra de bus amb la de l'alternador quan la senyal es troba dintre dels límits preestablerts, en cas de sobrepassar aquests límits el relé s'excita i comença a actuar.

A continuació es pot veure com és la unitat mencionada:

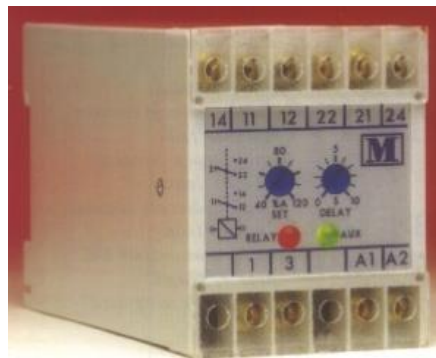


Figura 20. Relé de sincronisme M200 PLL

En la següent taula, s'observa les característiques del relé de sincronisme:

País d'origen	Espanya
Fabricant	SENSOVANT
Model	M200 PLL
Certificació	EN 60947
Freqüència	50/60 Hz
Resistència de contacte	200 mΩ
Rang de temperatura	-30...75 °C
Tensió nominal	250 Vac
Intensitat nominal	15 A
Pes	0,6 kg

Taula 12. Característiques del relé M200 PLL

9.1.3. Relé control de tensió

D'altre banda, tenim la protecció de sobretensions per a la instal·lació prèvia i posterior al generador i a ell mateix. Com a aclariment, una sobretensió és una ona o impuls de tensió que supera el valor nominal de la xarxa.

Es pot donar que els equips instal·lats en un punt de connexió pateixin desperfectes per operar fora del marge nominal de voltatge permès, degut a l'augment d'energia produït en els circuits elèctrics. Així mateix, els aïllaments de l'alternador s'esquerdin més ràpidament per estar a tensions elevades.

Existeixen 2 tipus de sobretensions: les transitòries i les permanents. Les sobretensions transitòries es donen quan es produeix un augment de voltatge, de breu duració en dos o més conductors. Les sobretensions permanents són tensions molt altes que succeeixen entre fase i terra, fase i neutre o entre fases d'una duració de varis segons. La situació típica és la connexió defectuosa del neutre.

Normalment s'utilitzen relés de sobretensió amb dos escalons d'actuació. El primer és instantani i s'ha d'ajustar aproximadament a 1,4 vegades la tensió nominal, en el nostre cas a 532 V l'alimentació de les màquines, segons exigeix la companyia elèctrica.

El segon es troba entre el marge de 1,10 i 1,20 vegades la tensió màxima de servei i pot ser de temps fix o de temps invers, és a dir, com major sigui el valor de tensió més ràpid s'activarà el nostre relé.

Referent al relé de sobretensió escollim un de la fabrica SIEMENS 5TT3, són utilitzats per a la protecció de dispositius i instal·lacions, l'alimentació d'equips d'il·luminació d'emergència i la detecció de ruptures de conductors de neutre i interrupcions de tensió ràpides.

Poden realitzar el control de la subtensió, de sobretensions o dels 2 casos a la mateixa vegada. Aquest element està equipat amb múltiples funcions, depenent de l'ús pel qual estigui destinat.

A continuació, es pot veure com es presenta la forma física de l'element:



Figura 21. Relé de sobretensió 5TT3

Seguidament observem les especificacions del dispositiu:

País d'origen	Alemanya
Fabricant	SIEMENS
Model	5TT3
Certificació	EN 60947
Freqüència	50/60 Hz
Tensió	230/400 Vac
Intensitat	4 A
Pes	0,4 kg

Taula 13. Requisits del relé 5TT3

9.1.4. Contactor

El contactor és un equip similar a un interruptor amb la diferència que el contactor es governa per una tensió determinada. És un interruptor automàtic, amb un comportament semblant a la d'un relé, tot i que, aquest és capaç de suportar grans càrregues en els seus contactes principals, és a dir, pot obrir i tancar contactes per els que circula una intensitat elevada.

Està format per una bobina i uns contactes, tancats o oberts que fan la funció d'interruptors d'apertura i tancament de la corrent en el circuit. La bobina és un electroimant per activar els contactes, obrint els tancats i viceversa. Quan no l'hi arriba un valor determinat d'intensitat a la bobina els contactes tornen a estar en estat de repòs.

En la nostra instal·lació es col·loquen diversos contactors, un en la caixa general d'alimentació, just després de l'interruptor de maneta i els altres en les caixes de protecció, control i maniobra juntament amb els relés.

A continuació, es pot veure com és el contactor instal·lat en la caixa general d'alimentació:



Figura 22. Contactor de 750 A

S'ha escollit un contactor amb la corrent màxima que es pot donar en aquesta part del circuit en les condicions, en les quals, el generador estarà produint la màxima energia possible. La intensitat és de 750 A, ja que, amb una generació de potència de 370 kW, una tensió de 400 V i un factor de potència de 0,98 exigít per el Real Decreto, ens resulta 682 A aproximadament, els càlculs es poden veure reflectits en l'annex en la pàgina 101.

En la següent taula es veuen les característiques del dispositiu:

País d'origen	Suïssa
Fabricant	ABB
Referència	AF750-30-11
Número de pols	3
Certificació	11727/C0 BV
Potència nominal	400 kW
Rang de temperatures	-40...70 °C
Tensió de la bobina	230/400 Vac
Intensitat	750 A
Pes	2,5 kg
Dimensions	210x242x283 mm

Taula 14. Característiques del contactor de 750 A

Fem referència als contactors instal·lats en els quadres de protecció, control i maniobra. Aquests els dimensionem de manera que siguin capaços de suportar la potència del motor del generador de 200 kW. Amb una tensió de 400 V i un factor de potència de 0,90, la del generador.

En la part inferior podem veure la seva constitució:



Figura 23. Contactor de 400 A

Els càlculs del dispositiu estan indicats en l'annex en la pàgina 101.

A sota podem veure els requeriments d'aquest contactor:

País d'origen	França
Fabricant	Schneider
Referència	LC1F400
Número de pols	3
Certificació	IEC 947-4
Potència nominal	250 kW
Rang de temperatures	-5...55 °C
Tensió de la bobina	230/400 Vac
Intensitat	400 A
Pes	0,9 kg
Dimensions	206x213x219 mm

Taula 15. Especificacions del contactor de 400 A

9.1.5. Relé tèrmic

Aquest aparell està dissenyat per a la protecció de motors contra sobrecàrregues, fallada d'alguna fase i diferència de càrrega entre fases.

Respecte al seu funcionament, en cas de que el motor pateixi una avaria i es produeixi un sobrecorrent, unes bobines calefactores permeten que una làmina bimetàl·lica, formada per dos metalls amb diferent coeficient de dilatació, es deformi, desplaçant en aquest moviment una placa de fibra, fins que es produeix el canvi o commutació dels contactes.

El relé tèrmic actua en el circuit de maniobra, amb dos contactes auxiliars i en el circuit de potència, a través dels seus tres contactes principals.

El dispositiu ens garanteix: optimitzar la durabilitat dels motors evitant que funcionin en condicions d'escalfaments anormals, la continuïtat d'explotació de les màquines o les instal·lacions evitant parades imprevistes i tornar a rearmar-se amb un disparament molt breu amb les condicions òptimes de seguretat per els equips i les persones.

Es selecciona, un de 400 A pel motiu que ha de ser capaç de poder operar fins a aquest valor d'intensitat.

Seguidament, es mostra com és la forma de la unitat:



Figura 24. Relé tèrmic NC2-400

En la part inferior es presenta una taula amb els requisits del relé tèrmic:

País d'origen	Xina
Fabricant	CHNT
Model	NC2-400
Número de pols	3
Certificació	IEC 947-4
Rang de temperatures	-15...70 °C
Tensió de la bobina	230/400 Vac
Intensitat nominal	250...400 A
Pes	0,9 kg
Dimensions	206x213x219 mm

Taula 16. Requeriments del relé tèrmic NC2-400

9.1.6. Protector del motor del generador

Aquest dispositiu de control té la funció de desconnectar el motor a partir d'un valor assignat de corrent i evitar que el motor es pugui cremar degut a una sobrecàrrega. Quan es supera aquest valor fixat el protector desconnecta el circuit, a conseqüència d'això el motor es desconnecta i el generador deixa de funcionar.

Es decideix escollir aquesta gamma, degut a que en la central existent són els que hi han instal·lats i ens donen un rendiment òptim.

Respecte al protector del motor escollit, es pot visualitzar en la part inferior:



Figura 25. Protector de motor EATON

Els paràmetres a destacar del dispositiu, es poden veure en la taula posterior:

País d'origen	EEUU
Fabricant	EATON
Referència	PKZ 01
Grau de protecció	IP40
Certificació	IEC 60068-2-78
Número de pols	3
Rang de temperatures	-25...55 °C
Tensió de la bobina	230/400 Vac
Intensitat	16 A
Pes	0,25 kg

Taula 17. Paràmetres del protector del motor

9.1.7. Interruptor magnetotèrmic

És un component calibrat amb precisió, capaç d'interrompre la intensitat elèctrica d'un circuit quan aquesta passa de certs valors màxims. El seu funcionament es produeix per efectes produïts per la circulació de corrent elèctrica en un circuit: el magnètic i el tèrmic.

Existeixen configuracions que utilitzen estructures de disc bimetàl·lic d'acció ràpida, d'establiment lent i ruptura lenta. Aquests aparells ens protegeixen la instal·lació contra sobrecarregues i curtcircuits.

En la instal·lació, nosaltres l'utilitzem per a l'alimentació de l'enllumenat i els endolls. Per els fluorescents utilitzem un interruptor magnetotèrmic de 10 A i per els endolls un de 16 A.

A sota, podem veure el que hem seleccionat de la fabrica HAGER:



Figura 26. Interruptor magnetotèrmic HAGER

9.1.8. Interruptor diferencial

Els interruptors automàtics diferencials són dispositius de protecció que es desconnecten quan el sistema filtra una intensitat considerable a terra. Calculen de forma constant la suma de vectors de les línies de corrent monofàsiques o trifàsiques, mentre la suma sigui nul·la, permeten que es subministri electricitat, el subministre es talla breument si la sumatòria excedeix un valor assignat segons la sensibilitat del dispositiu.

S'opta per seleccionar 2 interruptors diferencials un, per l'enllumenat i un altre per els endolls. Cadascun presenta una sensibilitat de 30 mA.

Seguidament, es mostra els interruptors escollits per a col·locar en el quadre de protecció:



Figura 27. Interruptor diferencial HAGER de 30 mA

9.1.9. Fusibles

El fusible és un component empleat per a protegir les unitats elèctriques i electròniques. Permet el pas de la intensitat mentre no sigui més elevada d'un valor determinat. Si es sobrepassa aquest valor el fusible es fon, s'obre el circuit i per tant no passa corrent. Normalment, han de suportar una intensitat lleugerament superior a la que s'han de cremar.

Nosaltres, hem instal·lat 3 fusibles un per cada fase en la caixa general d'alimentació. El valor del fusible ve determinat per la corrent que han d'aguantar cada fase. En aquest cas tenim un valor de 700 A per a cadascun.

Els càlculs es poden veure a l'annex a la pàgina 101.

Acte i seguit, a sota podem veure la forma del fusible escollit:



Figura 28. Fusible de 700 A

Per a complementar informació es destaquen les característiques més destacables del component:

País d'origen	EEUU
Fabricant	Bussmann
Referència	FWX-700A-ND
Grau de protecció	IP43
Rang de temperatures	-25...55 °C
Tensió de la bobina	400 Vac
Intensitat nominal	700 A
Pes	1 kg

Taula 18. Especificacions del fusible de 700 A

9.1.10. Transformador amb rectificador de ac a dc

Per tal de poder alimentar els autòmats a través de la corrent alterna monofàsica de 230 V, es precisa l'ús d'un transformador que ens converteixi aquesta tensió a 24 V en corrent contínua.

Aquest component porta integrat un bloc rectificador, format per díodes semiconductors, per tal de poder variar la corrent d'alterna a continua.

Acte i seguit, es mostra com és físicament la unitat:



Figura 29. Transformador de 230 V ac a 24 Vdc

La taula següent ens dona les referències més rellevants del transformador:

País d'origen	Xina
Fabricant	CNC
Referència	BK2
Freqüència	50 Hz
Rang de temperatures	-25...55 °C
Tensió primari	230 V ac
Tensió secundari	24 V dc
Potència	300 VA
Dimensions	151x100x152 mm

Taula 19. Requeriments del transformador CNC

9.2. Protecció en mitja tensió

Comencem parlant del disjuntor, aquest dispositiu és capaç de tallar o obrir un circuit elèctric quan el corrent que circula s'eleva a un cert valor sobrepasant un valor assignat o es produeix un curtcircuit, amb la missió de minimitzar el deteriorament dels equips elèctrics.

Aquest element, es pot reemplaçar després d'un únic ús, es rearma un cop localitzat i reparat el problema, causant del seu disparament. Un dels requisits a destacar és el seu poder de tall, el qual, ha d'estar en funció del tipus i forma d'exploració de la xarxa, així com del punt on estan instal·lats.

Seguidament, es mostra com és la forma de la unitat esmentada que hem seleccionat:



Figura 30. Disjuntor de MT

En la taula següent, es mostren els punts més destacats de l'aparell:

País d'origen	Alemanya
Fabricant	DRIESCHER
Referència	VKUF series
Certificació	IEC 62271-1
Rang de temperatures	-15...40 °C
Tensió	12...38 kV
Poder tall	2,5 kA

Taula 20. Especificacions del disjuntor

Referent al seccionador, és un aparell mecànic de maniobra per mitjà del qual es poden desconectar sense càrrega els circuits o equips de la seva font d'alimentació. La seva funció és aïllar els components del sistema, per realitzar el seu manteniment ha de maniobrar en buit. Tot i que, ha de ser capaç d'operar amb corrents nominals, sobrecorrents i corrents de curtcircuit durant un temps especificat.

En resum, ha d'assegurar que els trams de circuits aïllats estiguin lliures de tensió perquè es puguin manipular sense perill.

En la nostra instal·lació, s'utilitzen els seccionadors de fulles giratòries. Els escollim de tipus tripolars, on les fulles giratòries de cada fase es troben unides entre si per un eix comú, el que permet un accionament conjunt de totes.

En la central es decideix per optar per el seccionador del fabricant Siemens amb una tensió assignada de 24 kV i un corrent de 1.000 A, a sota podem veure com és la seva forma:

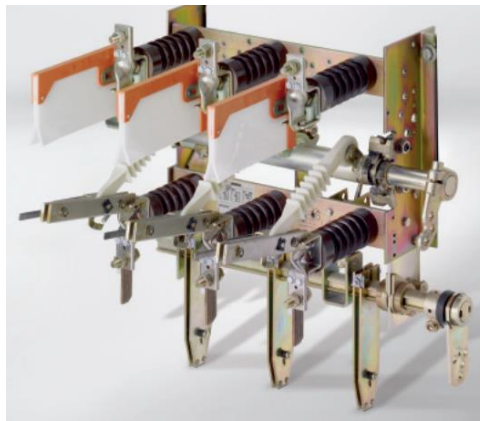


Figura 31. Seccionador 3CJ2

En darrer terme, la xarxa elèctrica ha d'estar protegida davant de possibles sobretensions que es poden produir.

Per aquest motiu, tenim 2 protectors de la xarxa que es connecten a uns transformadors de corrent i de tensió.

Com a aclariment, els transformadors citats, s'utilitzen per a permetre la mesura de la intensitat i el voltatge. Així mateix, formen part del sistema de protecció.

9.3. Posada a terra

Abordarem ara, en la posada a terra del sistema elèctric pel fet de que totes les instal·lacions elèctriques han de tenir xarxes de terra com a mesura de protecció contra els contactes indirectes.

Es pot definir la connexió a terra com la connexió elèctrica directa de totes les parts metàl·liques d'una instal·lació, en absència de fusibles i altres sistemes de protecció, amb la seva corresponent secció i un o més elèctrodes enterrats al terra, amb l'objectiu d'aconseguir que en el conjunt d'instal·lacions no existeixin diferències de potencial perilloses i permetre el pas a terra de les corrents de defecte o la de descarrega de l'origen atmosfèric.

El sistema de protecció es basa, en evitar que es donin voltatges entre les diferents masses metàl·liques o entre aquestes i el terra, superiors a 24 V en habitatges i locals humits, o 50 en locals secs.

Per minimitzar aquests valors, es complementen les instal·lacions amb una línia paral·lela als conductors amb la funció d'enviar a terra qualsevol corrent de fuga, derivació o descàrregues elèctriques com els raigs.

Respecte a les resistències de les preses de terra, l'elèctrode d'una presa de terra es dimensiona de manera que la seva resistència de terra, en qualsevol cas, no sigui superior al valor especificat. Aquest valor ha de ser suficient per evitar que qualsevol massa no arribi a valors de tensió de 24 V, en locals o 50 V en tots els altres casos.

9.3.1. Instal·lació terra en BT

Ens centrem en la secció del cablejat dels terres que tindran unes superfícies més o menys elevades en funció dels cables situats en les fases. El cable de protecció ha de tenir la mateixa secció en els dos quadres de protecció, control i maniobra. En canvi, en el quadre general d'alimentació l'àrea del cable serà bastant més elevada.

Tot el conjunt del cablejat de protecció s'uneix en un punt i a partir d'aquí es dirigeixen a les línies de terra per mitjà d'un elèctrode o pica, que és un conductor enterrat en el terreny per mantenir la presa de terra interconnectada amb els elements que estan connectades a ella.

Per a saber quines seccions es corresponen en funció de les fases, es fa servir una taula de la ITC-BT-18:

Secció dels conductors de fase de la instal·lació S (mm ²)	Secció mínima dels conductors de protecció Sp (mm ²)
S ≤ 16	Sp = S
16 < S ≤ 35	Sp = 16
S ≥ 35	Sp = S/2

Taula 21. Relació entre les seccions de conductors de protecció i de fase

Els conductors de protecció en el quadre d'alimentació general tenen una secció de 200 mm², mentre que els conductors dels quadres de protecció la secció és de 6 mm². Aquests valors es poden verificar amb els càlculs realitzats respectes a les seccions de les fases a l'annex de la pàgina 96.

En darrer terme, ens enfocuem en la resistència del terra, suposant que el tipus de l'elèctrode és de tipus vertical, es calcula la resistència del terra amb la següent equació:

$$R = \frac{r}{L} \quad (\text{Eq.9})$$

r és la resistivitat del terreny en el nostre cas 50 Ωm, la L és la longitud de 1,5 m i amb aquests valors s'obté una resistència de 33,33 Ω.

9.3.2. Instal·lació terra en MT

La presa de terra es realitza mitjançant una configuració típica quadrada de 3x3 m amb piques segons la configuració UNESA (Associació Española de la Indústria Elèctrica).

Les característiques de la configuració i del dimensionat de la posada a terra són les següents: Codi de la configuració 30-30/5/42, secció de 50 mm² de coure, diàmetre de les piques de 14 mm, longitud de la pica de 2 metres, profunditat d'enterrat de 0,5 metres, resistivitat del terreny (σ) de 150 Ω·m, temps d'eliminació del defecte de 0,65 segons, resistència K_r = 0,110 Ω / (Ω·m), resistència de posada a terra inferior a 20 Ω i línia de distribució amb neutre connectat a terra, R_n = 0 Ω i X_n = 25 Ω

Per el càlcul de la resistència de posada a terra, utilitzem la següent expressió:

$$R_t = K_r \cdot \sigma \quad (\text{Eq.10})$$

K_r , és una resistència assignada per UNESA de $0,110 \Omega / (\Omega \cdot m)$ i σ , és la resistivitat del terreny de $150 \Omega \cdot m$. Amb aquest valor tenim una resistència de terra de $16,5 \Omega$.

A continuació, la intensitat de defecte es calcula per la següent equació:

$$I_d = \frac{U}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}} \quad (\text{Eq.11})$$

U , és la tensió aplicada de 25 kV , X_n , és la reactància de posada a neutre de 25Ω i R_t , és la resistència de terra de $16,5 \Omega$. Operant ens resulta una intensitat de defecte de $481,86 \text{ A}$.

Finalment, es requereix la tensió de defecte amb l'expressió següent:

$$U_d = I_d \cdot R_t \quad (\text{Eq.12})$$

La i_d , és la intensitat de defecte de $481,86 \text{ A}$ i la R_t , és la resistència de terra de $16,5 \Omega$. Amb això ens resulta un valor de $7.950,69 \text{ V}$.

Per altre banda, s'ha de tenir present que l'aïllament de les instal·lacions de baixa tensió en la central ha de ser major o igual que la tensió màxima de defecte, per el motiu que ha de ser com a mínim de 10 kV , valor escollit segons les recomanacions de UNESA. D'aquesta forma s'evita que les sobretensions que apareguin en la zona de MT no puguin afectar a la xarxa de BT.

També cal insistir en que la intensitat de defecte calculada és més elevada a 100 A , la qual cosa, permet que es pugui detectar per proteccions normals.

10. AUTOMATITZACIÓ

Els sistemes de protecció i control en petites instal·lacions hidràuliques han anat evolucionant en els darrers anys. En els primers 50 anys del segle XX, les mini centrals utilitzaven relés cablejats per el funcionament dels dispositius auxiliars de la turbina. Amb la innovació del microprocessador, es va anant ampliant el banc de possibilitats del control de la central.

A destacar l'aparició dels PLC en els anys 70, en els seus inicis es va pensar com a substitució de la lògica cablejada. Executa la mateixa funció que els relés cablejats amb molta més flexibilitat. Més tard es va anant perfeccionant aquesta tecnologia amb l'aparició dels microprocessadors permetent funcions com bucles PID possibilitant més funcions i la interconnexió de varis dispositius.

És a saber, que els PLC actuals són unes de les eines més poderoses per el control de mini centrals hidroelèctriques. El control i la supervisió de la unitat generadora pot realitzar-se fàcilment per mitjà d'aquests dispositius, aquest pot obtenir dades sobre fallades o mesures subministrades per els sensors de regulació.

D'altra banda, l'automatització permet eliminar la necessitat de personal, ja que, els sistemes automàtics llegeixen la informació en l'operació de l'equip, i després activen consignes que permeten optimitzar la producció.

A més a més, automatitzar una central implica una disminució de costos d'operació i manteniment, increment de la seguretat dels equips i optimització de l'aprofitament energètic de la instal·lació.

Es poden diferenciar 4 parts: Sistemes de protecció, sistemes de control, sistemes de mesura i de supervisió. Nosaltres ens centrem, en el de control, mesura i supervisió per els de protecció ens decantem per l'ús de relés de protecció.

Típicament, es pot implementar un sistema d'automatització per a la millora de la eficiència, productivitat i la gestió d'operació del sistema. Aquesta ha de ser la resposta a les necessitats i serveis de producció més òptima.

Els beneficis que ens aporta aquesta tecnologia són els següents: Eficiència en la producció d'energia assegurant una operació optimitzada, flexibilitat en el canvi del mode d'operació, operació remota possible, reducció de parades no programables per diagnòstics, simplicitat

en la instal·lació, reducció en la intervenció humana, arrancada i parada de les màquines més ràpides que en funcionament normal i reducció del cablejat d'interconnexió.

10.1. PLC

El controlador lògic programable, PLC, és un aparell electrònic que ens permet el tractament de variables analògiques, informacions digitals, numèriques i alfanumèriques. L'aparell està dissenyat per controlar en temps real processos industrials automatitzats.

Està constituït per una unitat de control, memòria i els mòduls d'entrada i sortida amb la funció d'establir la comunicació de l'automatisme amb els circuits exteriors.

Els circuits externs es complementen per els captadors com poden ser: detectors, polsadors, finals de carrera, etc), encarregats d'enviar les dades des de el procés industrial a l'autòmat. També tenim els actuadors com els relés i contactes amb la funció de donar les ordres al sistema d'accionar-se, parar-se o activar les alarmes.

Acte i següent, parlem dels components que formen un PLC. Per una banda tenim la unitat de processament central (CPU), el cervell de l'autòmat, la qual, està formada per el microprocessador i la memòria.

Realitza una sèrie de tasques com: processar la informació emesa per els captadors, enviar la informació corresponent als actuadors per mitjà del mòdul de sortides, interpretar el conjunt d'instruccions i ordres enviades per el programador, executar funcions de vigilància com la lectura d'estats interns (entrades i sortides) i actualització dels indicadors.

Cal fer menció a la font d'alimentació, encarregada de transformar la intensitat alterna de la xarxa a corrent contínua, per alimentar els circuits integrats i els components electrònics de l'autòmat, alimentats a tensions de 24 V de corrent contínua.

El següent punt a considerar, són les entrades i sortides, aquestes es formen per una agrupació de mòduls, estructures de connexió i suport. Els mòduls d'entrada reben la informació procedent del control d'un procés o una màquina, les dades es processen per la CPU. A aquest mòdul s'uneixen elèctricament els captadors.

Tenim 2 tipus d'entrades, les digitals, les quals, varien el seu estat per mitjà de variacions de tensions a tot o res i les analògiques que realitzen la comparació de valors de tensió o corrent, per produir accions quan s'arriba a valors assignats en el programa.

Els mòduls de sortida envien les senyals d'activació i desactivació als actuadors. Instants posteriors d'enviar les dades a través de les entrades a la CPU, el processador origina les ordres al mòdul de sortida perquè s'activin o es desactivin.

Els autòmats en la seva part frontal tenen una sèrie d'indicadors i elements de connexió, que han de ser coneguts per l'instal·lador per a la seva posada en marxa i manteniment. Els elements més destacats són: els borns d'alimentació, els borns d'entrada i sortida, la interfície de connexió, la ranura d'expansió, els indicadors LED, el connector de bateria, la font d'alimentació 24 V i l'interruptor d'activació o desactivació.

Nosaltres en el nostre cas, com no tenim un PLC físic per a poder simular el procés utilitzem el programa STEP7 MicroWin de SIEMENS. Després per mitjà d'un simulador es pot veure com s'accionen les diferents accions amb l'objectiu de garantir la màxima seguretat a la central hidràulica.

10.2. Selecció del PLC

Escollim un PLC SIEMENS SIMATIC S7-200, per la raó que és una tecnologia compacta i potent. Ens ofereix una resposta ràpida a temps real i una connexió òptima enfront a qualsevol software.

Aquest model s'orienta a maximitzar l'eficiència. De fet, ens proporciona: alt nivell de prestacions, fàcil adaptació de mòduls i alta connectivitat.

S'ha decidit utilitzar una CPU 214, ja que, s'adapta a les nostres necessitats per a dur a terme una supervisió i un control òptim de les diferents accions donades, concretament en la turbina i el generador.

A continuació, es pot veure l'estructura del dispositiu:



Figura 32. PLC SIEMENS SIMATIC S7-200

Una de les raons, perquè ens hem decantat per aquest tipus, és que ens ofereix treballar amb el software de STEP7-Micro/Win. Aquest programa l'utilitzem per a la simulació de les diferents entrades i sortides assignades al PLC.

Per altre banda, les entrades i sortides són de tipus digitals, és a dir, tot o res. Pel motiu, de que s'instal·laran sensors que ens localitzin valors alts o baixos sobre els paràmetres del nivell del canal, velocitats i potències de la turbina i del generador.

Seguidament, es visualitza una taula per a saber les especificacions de la unitat:

País d'origen	Alemanya
Fabricant	SIEMENS
Model	SIMATIC S7-200
Certificació	IEC 60529
Grau de protecció	IP20
Entrades/Sortides	14/10
Velocitat de transferència	1,2... 187,5 kbits/s
Interrupció de temps	1 a 250 ms
Velocitat de processament	0,22 μ s
Alimentació	24 Vdc
Tensió entrades digitals	24 Vdc
Tensió sortides digitals	5-30 Vdc
Potència	50 W
Port de comunicació	RS485

Taula 22. Especificacions del PLC S7-200

Cal tenir present, la utilització de 2 autòmats pel motiu de que si només utilitzem un hauríem de comprar-lo amb més entrades i sortides i una CPU més potent, la qual cosa, ens provoca un augment econòmic bastant considerable i d'aquesta manera ens surt més viable.

10.3. Selecció dels sensors

Un sensor o captador, és un dispositiu dissenyat per rebre les dades d'una magnitud física exterior i transformar-la en un altre magnitud, normalment elèctrica per a poder quantificar i manipular.

En la nostra central, utilitzem els sensors de detecció, nivell, velocitat angular, potència, temperatura, moviment, corrent i factor de potència.

Els de detecció es col·loquen en els extrems de l'interruptor de maneta, en ON i OFF i en els del pulsador d'emergència. Aquests s'encarreguen de detectar si el conjunt turbina-generador està en funcionament o parat. Aquests també els utilitzem en la cinta del multiplicador de velocitat, per si la cinta sobresurt de les rodes acoblades a l'eix i així evitar que aquesta es desestabilitzi i no es transmeti l'energia des de la turbina al generador.

Així mateix, tenim el de nivell d'aigua del canal, en realitat és com un interruptor de nivell amb flotador. Aquest sistema, ens permet controlar quan tenim un nivell molt alt, uns 12 m o un nivell baix, uns 7 m. Quan el fluid pugi a uns 12 m, des del punt més baix del canal s'activa el sensor de nivell màxim i quan estem a 7 m activem el de nivell baix. Cal insistir, en aquests marges tant petits per el motiu de que en el canal per naturalesa normalment sempre hem de tenir aproximadament 10 m de salt, és poc freqüent tenir unes variacions de nivell elevades.

Els de velocitat angular, s'instal·len en el motor de la turbina i el generador. Aquests ens controlen les revolucions per minut. En la turbina la velocitat nominal és de 250 rpm, nosaltres en aquest cas instal·lem un sensor de detecció associat al de la velocitat angular perquè ens detecti quan superem una velocitat de 350 rpm o és més baixa de 150 rpm. Per el generador és idèntic, la velocitat nominal és de 1.000 rpm, quan ens passem de 1.150 o baixem de 850 rpm el sensor de detecció ho detecta i s'activarà.

Per altre banda, els sensors de corrent tant de la turbina com el generador tenen la funció de detectar si tenim una quantitat de kW elevada o baixa per cadascuna de les màquines. Nosaltres marquem uns marges entre 50 i 200 kW a cada màquina, per a poder activar el contactor corresponent al PLC, associem un sensor detector a cada aparell perquè ens detecti els valors de intensitat.

Pel que fa, als sensors de temperatura utilitzem uns de resistència de platí amb un marge de - 40 °C a 530 °C. Quan tinguem un valor fora d'aquest marge, per mitjà d'un detector associat activem el contacte de l'autòmat corresponent.

Per a saber si disposem de corrent o no en la instal·lació, instal·lem un sensor de corrent. Si ens detecta corrent no s'acciona la bateria de corrent continu i si no detecta, la bateria s'accionarà per alimentar un mínim de dispositius en cas d'una tallada de subministrament.

Finalment tenim el sensor del factor de potència, el qual, ens indica quan s'ha d'accionar la bateria de condensadors si el factor no es correspon al que s'exigeix de 0,99.

A continuació podem veure com és la forma física dels sensors:



Figura 33. Sensors de detecció, nivell del canal, velocitat angular i potència



Figura 34. Sensors de temperatura, corrent i factor de potència

Com a indicació dels paràmetres dels sensors, es presenta la següent taula:

	Sensor de detecció	Sensor de nivell	Sensor de velocitat	Sensor de potència o corrent	Sensor de temperatura	Sensor de corrent	Sensor de factor de potència
Fabricant	Pepperl-fuchs	ABB	SENSOVANT	Aerospace controls	Noshok	HONEYWELL	Ianmecca
Model o referència	RL31-8-H	MS8F	Gearbox	1003AM2	Pt-100	CSLA1CF	WEV414UD 1
Marge de temperatura	-50 a 150 °C	-40 a 150 °C	-20 a 150 °C	-20 a 70 °C	-40 a 530 °C	-50 a 150 °C	-50 a 150 °C
Rang de detecció	100...800 mm	20...610 mm	100...3.000 rpm	10...300 A	-40 a 530 °C	-100 a 100 A	cos fi de 0 a 1
Tensió en treball	24 V dc	100 Vac o Vdc	20 Vdc	10 Vdc	10 a 30 Vdc	16 Vdc	12 Vdc
Corrent en buit	25 mA	1 A	1 A	-	-	-	-
Corrent de commutació	100 mA	-	10 mA	30 mA	23 mA	-	20 mA
Temps de resposta	2,5 ms	-	-	10 ms	5 ms	3 µs	-
Pes	25 gr.	50 gr.	25 gr.	100 gr.	25 gr.	50 gr.	30 gr.
Grau de protecció	IP67	-	IP68	IP68	IP65	IP68	IP68
Norma del producte	IEC 60047-5-2	ISO 4400	ISO 9001	-	ISO 4400	-	ISO 9001

Taula 23. Especificacions dels sensors

10.4. Guia Gemma

L'automatització de les màquines ha de permetre abastir tots els possibles estats en que es pot trobar una màquina. No tan sols el funcionament normal automàtic, sinó els estats de fallada, de parada d'emergència, processos de rearmament i posada en marxa, marxades de test, el control manual, etc.

Així mateix, ha de tenir la preferència de localització dels possibles defectes de la part operativa i executar la parada d'emergència. També han de permetre el rearmament de la màquina tornant a l'estat anterior de la fallada o iniciar el procés.

La guia GEMMA, guia d'estudi de marxos i parades, és una representació esquemàtica de tots els modes o estats en que es pot trobar un procés de producció automatitzat i les transicions que s'han de donar d'un estat a un altre.

L'objectiu principal és reduir al mínim possible els temps de parada i agilitzar la producció simplificant els processos de canvis de mode de treball.

Es representa per mitjà d'una taula agrupant uns rectangles indicant diferents estats, els quals, estan units entre ells per mitjà de línies. Aquests rectangles es classifiquen en tres grups: F, A i D.

El grup F, són els procediments necessaris per el desenvolupament del procés. Es forma per els estats de producció normal automàtic, marxos de preparació i tancament, marxos de test i marxos de verificació.

El grup A, són els procediments de parada que paren el sistema automatitzat quan es necessita per causes relacionades amb el funcionament normal.

El grup D, són els procediments de falles que engloben les fallades, accionats per una anomalia de la màquina o també a petició de l'operador en polsar un polsador.

A continuació, implementarem un esquema que ens permeti seguir tots els modes de funcionament en que es pot trobar el procés, així com les transicions entre els diferents estats.

En la part inferior, es pot veure la guia GEMMA implementada per la nostra automatització en la central:

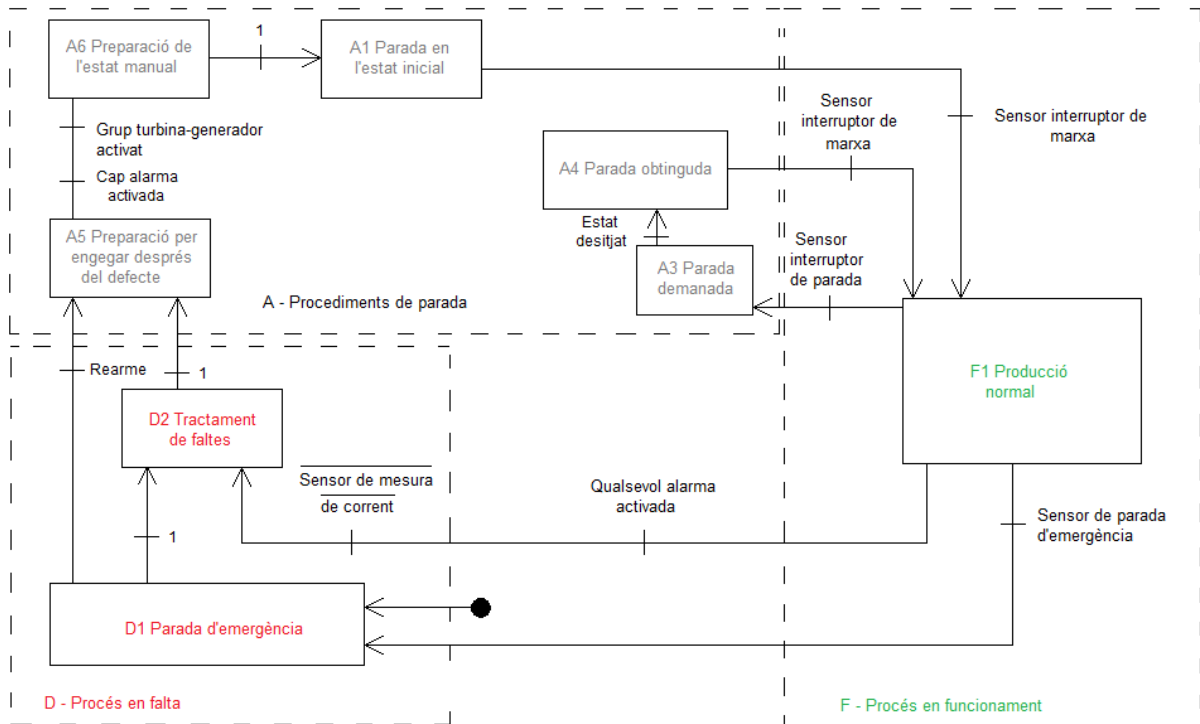


Figura 35. Guia Gemma implementada en el procés de la central

Al principi partim d'un estat de funcionament en condicions normals, en altres paraules, en l'estat F1 Producció normal. Després, es poden produir 2 casos que s'activi qualsevol alarma o que ens quedem sense subministre elèctric o per altre banda ens veiem obligats a parar la instal·lació en cas d'emergència.

Quan es produeixen aquests fets, passem als modes de procés en fallada, D1 Parada d'emergència i D2 Tractament de fallades. En aquesta situació es donen els tractaments oportuns per a solucionar els problemes que hagin sorgit. Per mitjà d'un rearme manual o un cop s'han solucionat les possibles avaries, passem al mode de procediments de parada.

Una vegada ens situem en l'estat A5, es comprova que cap alarma estigui activada i que el grup turbina-generador estigui acoblat, instants posteriors, passem a l'estat A6 on es prepara tot el sistema per a poder reiniciar el funcionament normal. Arribem a l'estat A1 i a partir d'aquí quan l'interruptor de maneta es troba en posició de marxa entrem en el mode de funcionament normal. D'altra banda, en l'estat F1 es pot donar també que parem la central per qualsevol motiu, això ens implica passar als estats A3 i A4 per a preparar la parada sol·licitada i obtenir-la, es torna a un funcionament normal activant el sensor de marxa.

10.5. Entrades i sortides dels autòmats

Es necessita assignar una sèrie d'entrades i de sortides. Les entrades es tracten de sensors amb la funció de localitzar dins del procés de funcionament, aspectes anòmals que sobrepassen els límits de funcionament normal.

Les sortides són actuadors, que accionen els relés encarregats de les accions assignades en els diferents punts de la central. Les sortides per accionar-se han de rebre una senyal prèvia del sensor de que realment s'està produint un esdeveniment inusual en el funcionament normal de la central.

10.5.1. Alarmes

En aquest subapartat es mostren les entrades i sortides disponibles en el PLC assignat per a les alarmes.

Les entrades estan descrites en la taula posterior:

Entrada PLC	Etiquetes	Descripció	Contacte en repòs
I0.0	Sens_int_marxa	Sensor interruptor de marxa del grup turbina-generador	NC
I0.1	Sens_int_parada	Sensor interruptor de parada	NC
I0.2	Sens_niv_baix_alt	Sensor de nivell baix o alt del canal	NC
I0.3	Sens_vel_baixa_alta_t	Sensor de velocitat de gir baixa o alta de la turbina	NC
I0.4	Sens_temp_coix_t	Sensor de temperatura coixinet de la turbina	NC
I0.5	Sens_vel_baixa_alta_g	Sensor de la velocitat de gir baixa o alta del generador	NC
I0.6	Sens_ten_baixa_alta_g	Sensor de tensió baixa o alta del generador	NC
I0.7	Sens_cor_baixa_alta_g	Sensor de corrent baixa o alta del generador	NC
I1.0	Sens_temp_coix_g	Sensor de temperatura coixinet del generador	NC

Taula 24. Entrades del PLC de les alarmes

El contacte dels sensors en el seu estat inicial és de NC, per motius de seguretat. Si per alguna causa es produeix un tall del cable entre el contacte del sensor i el de l'actuador, si l'estat de repòs és NC en el moment de tallar la connexió l'actuador manté l'ordre donada per el sensor abans de que comenci a accionar-se.

Les sortides es descriuen en la part inferior:

Sortida PLC	Etiquetes	Descripció
Q0.0	Marxa_grup_t_g	Marxa del grup turbina-generador
Q0.1	Led_correcte	Led indicador de tot correcte
Q0.2	Al_niv_baix_alt	Alarma de nivell baix o alt del canal
Q0.3	Al_vel_baixa_alta_t	Alarma velocitat baixa o alta de la turbina
Q0.4	Al_sobreescal_t	Alarma sobreescalfament de la turbina
Q0.5	Al_vel_baixa_alta_g	Alarma velocitat baixa o alta del generador
Q0.6	Al_ten_baixa_alta_g	Alarma tensió baixa o alta del generador
Q0.7	Al_cor_baixa_alta_g	Alarma corrent baixa o alta del Generador
Q1.0	Al_sobreescal_g	Alarma sobreescalfament del generador
Q1.1	Led_incorrecte	Led que en indica que hi ha algun problema

Taula 25. Sortides del PLC de les alarmes

10.5.2. Accions

Quant a les entrades i sortides de les accions, la seva distribució es mostra a continuació:

Entrada PLC	Etiquetes	Descripció	Contacte en repòs
I0.0	Sens_int_marxa	Sensor interruptor de marxa del procés	NC
I0.1	Sens_int_parada	Sensor interruptor de parada	NC
I0.2	Sens_niv_baix_alt	Sensor de nivell baix o alt del canal	NC
I0.3	Sens_pos_cint_mv_fr	Sensor posició cinta del multiplicador de velocitat fora del rang	NC
I0.4	Sens_mes_cor	Sensor de mesura del corrent	NC
I0.5	Sens_cos fi_nc	Sensor de control de que el cos fi sigui de 0,99	NC
I0.6	Sens_parada_emer	Sensor de parada d'emergència	NC

Taula 26. Entrades del PLC de les accions

Ara es mostren les sortides:

Sortida PLC	Etiquetes	Descripció
Q0.0	Obrir_vàl_t	Obrir vàlvula de la turbina
Q0.1	t_g_act	Grup turbina-generador activat
Q0.2	Tancar_vàl_t	Tancar vàlvula de la turbina
Q0.3	Act_net_re_t	Accionar neteja reixes
Q0.4	Ob_dist_t	Obrir el distribuïdor de la turbina
Q0.5	Acob_grup_t_g	Acoblar grup turbina-generador
Q0.6	Desac_grup_t_g	Desacoblar grup turbina-generador
Q0.7	Act_sist_bat	Accionar el sistema de bateries
Q1.0	Act_bat_cond	Accionar la bateria de condensadors

Taula 27. Sortides del PLC de les accions

10.6. Funcionament dels contactes i actuadors

En referència al diagrama de contactes, expliquem com es desenvolupa cada esglaó. Com ja hem esmentat cada sensor es caracteritza per en un estat inicial normalment tancat per motius de seguretat.

Per il·lustrar com funciona el diagrama podem veure els següents esglaons, per les alarmes:

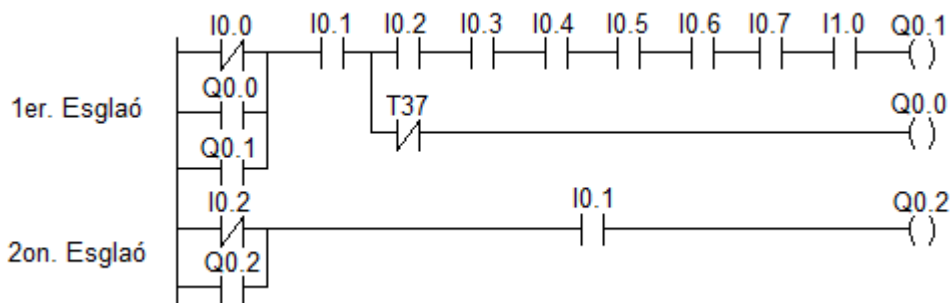


Figura 36. Contactes i actuadors en el PLC de les alarmes

Tenim una sèrie d'entrades que tenen la funció d'accionar les sortides. En el 1er. esglaó, tenim les sortides Q0.0 i Q0.1, les quals, ens indiquen per mitjà d'un led de que tot el funcionament en la central hidràulica és el correcte i que el motor del grup turbina generador es troba en marxa.

Per activar l'indicador, s'han de complir una sèrie de condicionants, que seran possibles de detectar per els sensors implantats en cada zona, on es pot donar una anomalia determinada.

Així mateix, per activar la marxa del motor ha d'estar l'entrada I0.0 activada i I0.1 i el temporitzador T37 han d'estar desactivades. Per desactivar la marxa del motor ho podem fer de 2 maneres, de manera manual on es precisa la presència d'un operari o de manera automàtica sense la necessitat de tenir que parar una persona el funcionament.

L'entrada I0.0 està negada, és a dir, en l'estat inicial es dona un 0. Si activem aquesta entrada el seu resultat és 1. Quan el contacte es troba obert i no circula corrent, es dona un 0 i quan es tanca dona un 1, això vol dir que circula corrent i permet accionar la sortida.

En resum, per accionar-se el led indicador de tot correcte, el contacte I0.0, el sensor d'interruptor de marxa ha d'estar activat, estat 1. Tots els altres contactes corresponen a sensors per localitzar diferents anomalies, com estan NC, si no estan activats (No hi ha anomalies), el seu estat inicial és de 1, per tant circula corrent. Si s'activa, qualsevol sensor l'indicador ja no s'encendrà. Cal remarcar, que perquè la sortida es mantingui accionada ha d'estar realimentada per un contacte, el Q0.0.

En el 2on. esglaó, la sortida Q0.1, correspon a una alarma, aquesta s'activarà si el contacte I1.1 (Sensor interruptor parada) no està activat, és a dir, la central està en procés de funcionament i si I1.2 (Sensor de la anomalia) s'activa, és a dir estat 1.

En tots els altres esglaons fins a la sortida Q1.0 el funcionament és exactament el mateix si el sensor localitza qualsevol defecte, conseqüentment activarà l'alarma. En l'últim esglaó, si qualsevol alarma està accionada a la sortida tenim un led indicador de que el funcionament és incorrecte i conseqüentment el funcionament de la central pararà, per el sensor de l'interruptor de maneta desactivat o per l'activació del temporitzador.

Ara expliquem, el diagrama de contactes de les accions. Com a aclariment, es mostren els següents esglaons:

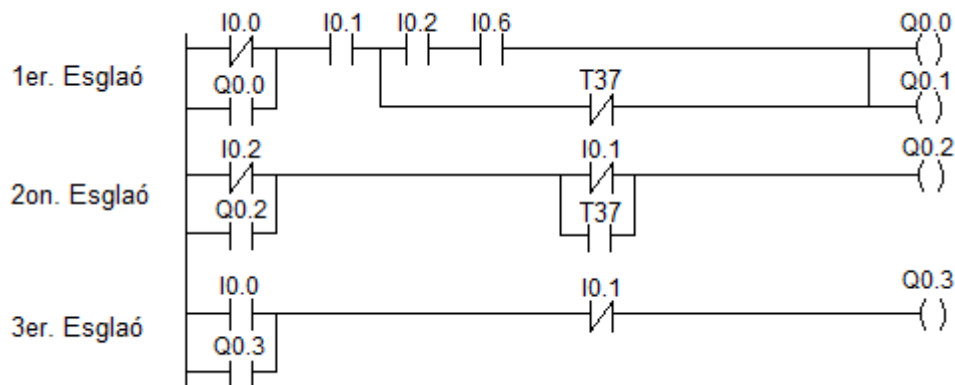


Figura 37. Contactes i actuadors del PLC de les accions

Els 2 primers esglaons, les seves sortides s'encarreguen en el primer, d'obrir i tancar la vàlvula per a permetre el fluid al pas a la turbina i accionar el grup turbina-generador. En el segon la sortida acciona la desactivació del grup turbina-generador i tanca la vàlvula.

Per accionar les sortides Q0.0 i Q0.1, I0.0 ha d'estar activat i els contactes I0.1, I0.2 i I0.6, corresponents a sensors, no han d'estar activats.

Per accionar les sortides Q0.2 i Q0.3, I0.2 (Sensor de nivell baix o alt del canal) ha d'estar activat i el sensor de l'interruptor de parada ha d'activar-se.

En el 3er. esglaó, com els demás restants les sortides s'encarreguen d'accionar el netejareixetes, obrir el distribuïdor, acoblar o desacoblar el grup turbina-generador i accionar el sistema de bateries de condensador i la de corrent continu en cas d'una tallada de corrent. Aquestes s'accionen, a partir d'una sèrie de condicions captades per els contactes que han estat prèviament testejades per els sensors.

Finalment, si volem consultar els diagrames complets de les alarmes i accions, hem de situar-nos a l'annex, a les figures 48 i 49.

10.7. GRAFCET

És un diagrama funcional que ens permet veure els processos a automatitzar, tenint en compte les accions a realitzar i els processos intermitjos causants d'aquestes accions. A l'any 1988 va ser reconegut per una norma internacional, IEC-848, amb el nom de Diagrama funcional.

El seu mètode de treball està regit per una sèrie de regles com: la etapa, l'acció associada i la transició.

La etapa ens defineix l'estat on es troba l'autòmat. L'estat inicial es marca amb doble quadrat, els següents es marquen amb un sol quadrat. Cadascuna porta associada una o varies accions a realitzar sobre el procés.

L'acció associada és l'acció que realitza l'etapa, per exemple connectar un contactor, desconnectar una bobina i comptatge d'un temporitzador.

La transició és la condició o condicions que, conjuntament amb l'etapa anterior, permeten evolucionar el GRAFCET d'una etapa a la següent. És necessària l'existència d'una condició que permeti el pas d'una etapa a una altre. Es representa per un segment a sobre de la línia d'entrada a l'etapa.

Abordarem ara, en la descripció de cada GRAFCET, tant de les alarmes com de les accions.

Comencem per el de les alarmes, com a aclariment a sota visualitzem el GRAFCET de manera simplificada:

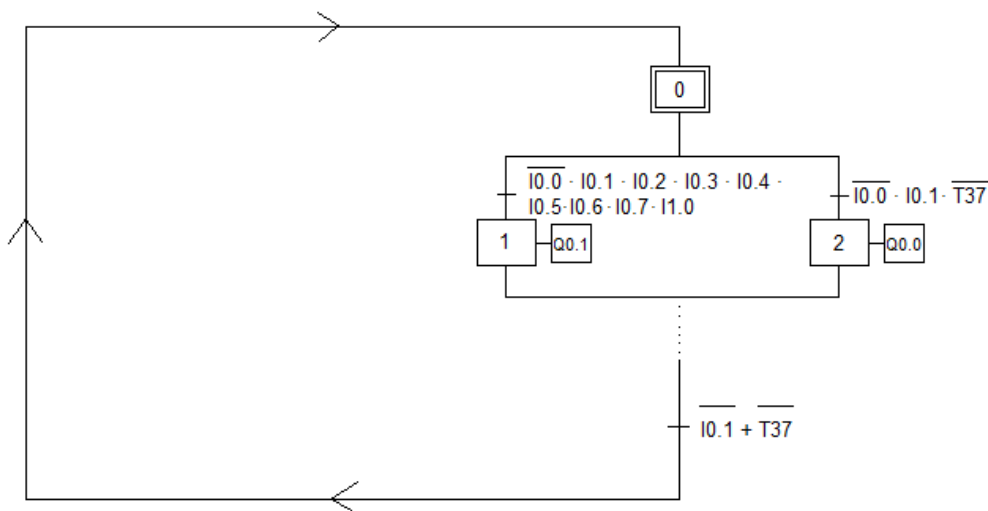


Figura 38. GRAFCET simplificat de les alarmes

Primer de tot, a l'etapa 0 es presenta l'inici del procés. Posteriorment, a la transició s'han de dur a terme una sèrie de condicions, com que el sensor de l'interruptor de marxa detecti que està en marxa i cap sensor de qualsevol de les anomalies estigui activat.

Quan es compleix la transició anterior de les etapes 1 i 2, activem aquestes etapes, on accionem l'indicador del led de que tot està correcte i s'acciona el motor del grup turbina-generador, tenim un temporitzador per assegurar la parada del motor al cap d'un cert temps en el cas de que no hi hagi cap operador.

Després de les etapes 1 i 2, tenim una sèrie de transicions que ens porten a les etapes de la 3 a la 10. Cada transició té una condició determinada que es correspon a qualsevol fallada produïda, una vegada donada qualsevol condició les etapes s'accionen de manera que comencen a funcionar les alarmes corresponents seguides del led indicador incorrecte.

En darrer terme, quan s'activa el sensor de l'interruptor de parada o el temporitzador s'acciona al cap d'un cert temps tornem a l'etapa 0, és a dir, a l'estat inicial.

Per les accions es presenta el següent GRAFCET:

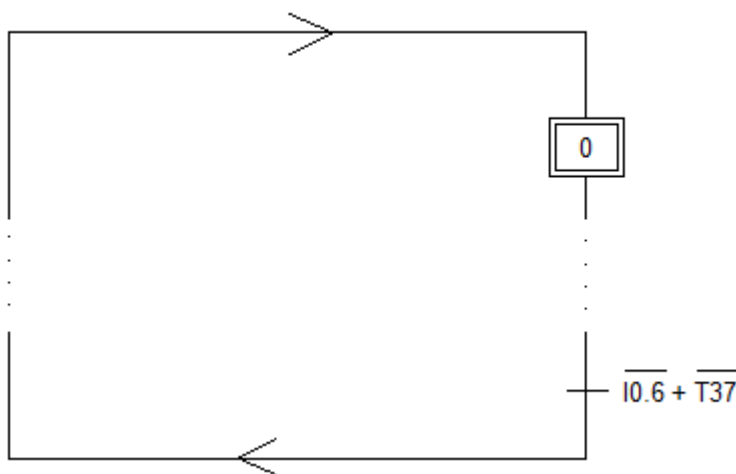


Figura 39. GRAFCET simplificat de les accions

Comencem a l'etapa 0, seguidament tenim una sèrie de transicions amb les seves respectives condicions encarregades d'activar les etapes, de la 1 a la 8. Cada etapa, té la funció d'accionar uns moviments de manera automàtica, que vindran precedits a partir d'una sèrie de paràmetres que mesuren com es donen els diferents factors en el desenvolupament del funcionament de la central.

Les etapes, accionen 1 o 2 punts de desplaçament depenent de com estiguin associades amb els condicionants que s'han de produir.

Finalment, si es compleix que després de les diferents etapes, s'activa el sensor de parada d'emergència o el temporitzador entra en acció tornem a l'estat 0, a l'etapa inicial.

Per a poder veure els GRAFCETS amb tot detall, hem de consultar l'annex, les figures 56 i 57.

11. INSTAL·LACIÓ ELÈCTRICA

En aquest apartat tractem en la manera de com estan instal·lats els dispositius amb el seu cablejat corresponent. Es descriuen els quadres elèctrics que es necessiten per tal de dur a terme l'alimentació de tota la central hidràulica.

11.1. Quadres elèctrics

Respecte als quadres de la distribució elèctrica de tota la instal·lació, es divideixen en 3 quadres. Un situat a la part esquerra, el quadre d'alimentació general i els altres dos que són els quadres de protecció, control i maniobra.

El quadre general d'alimentació, està format per l'interruptor de maneta encarregat d'accionar el generador amb els seus fusibles corresponents en cadascuna de les fases abans de l'entrada a l'interruptor. Seguint les fases des del punt de sortida de l'interruptor es troba un contactor i uns bornes per a garantir una màxima protecció al generador.

El generador pot actuar de dues maneres generant energia a partir del moviment de la turbina produït per l'energia hidràulica de l'aigua o absorbint energia en cas de que la turbina no estigui en moviment. Aquest últim cas, no ens interessa perquè estaríem malbaratant el consum en la central, motiu pel qual, ja es programa per mitjà de l'autòmat quan el nivell és baix i l'energia no és suficient per accionar la turbina, una parada del grup turbina-generador. Quan es genera energia, aquesta s'envia per cadascuna de les fases en direcció al transformador i a través d'aquest a la línia de MT.

Seguint amb el quadre d'alimentació, tenim una bateria de condensadors per a compensar l'energia reactiva per complir el factor de potència que ens exigeix el Real Decreto 1565/2010.

Per altre banda, la companyia amb que es tracta, Endesa Distribución Elèctrica S.L, ens exigeix una contractació mínima de potència de 10 kW. Aquesta s'utilitza exclusivament per a l'alimentació dels autòmats dels quadres de protecció, control i maniobra.

Els quadres de protecció es constitueixen per els relés de protecció amb els seus corresponents contactors, els autòmats i la bateria de dc com a prevenció en cas de tenir una tallada de subministrament elèctric, tot i que, aquest sistema de bateries s'instal·la a l'exterior dels quadres. També tenim els interruptors magnetotèrmics i els interruptors diferencials corresponents, per l'enllumenat, els endolls i alimentar el grup hidràulic.

Per tal de poder diferenciar el circuit de BT del de MT, es mostren les següents figures:

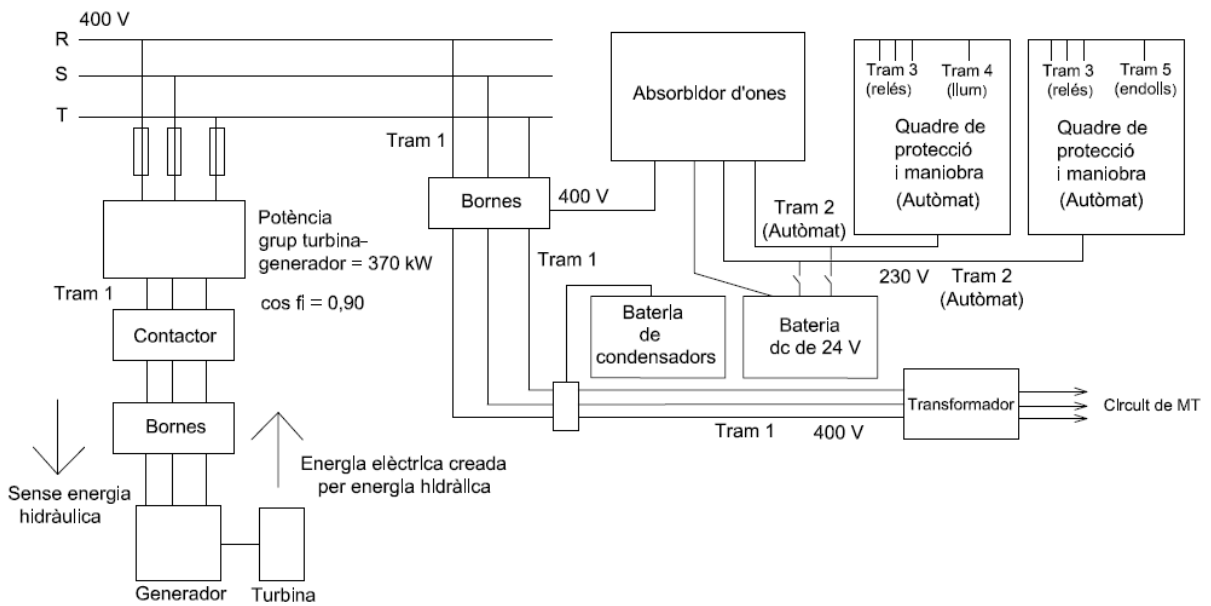


Figura 40. Circuit de BT

Cal fer menció, de l'absorbidor d'ones que es parlarà d'ell posteriorment. Aquest equip ens transforma la tensió trifàsica dels 400 V als 230 V per tal d'alimentar els automats dels 2 quadres de protecció, eliminant les ones de xoc i sobretensió que es pot produir.

A continuació veiem el circuit de MT:

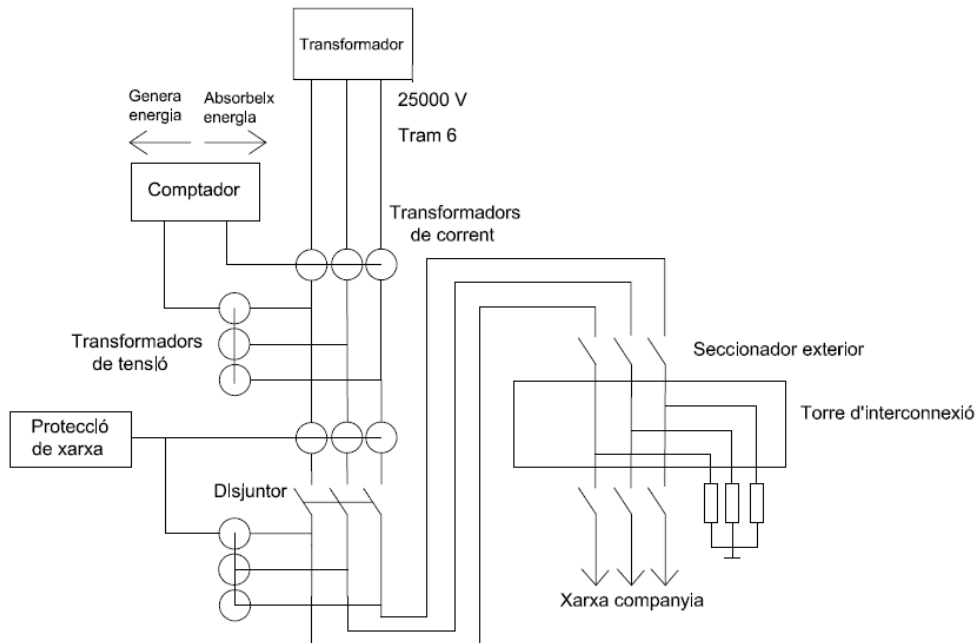


Figura 41. Circuit de MT

En referència al circuit de MT sabem que la seva tensió és de 25 kV, tenim un comptador que ens indicarà l'energia que s'està generant en cada moment. També es poden veure les proteccions corresponents i com a punt final es pot veure la torre d'interconnexió, la qual, ens serveix com a suport de les línies, a través de les quals es transporta l'energia generada.

11.1. Elements complementaris

Per a començar tenim una bateria de condensadors, per tal, de poder adaptar-nos al factor de potència que el Real Decreto 1565/2010 ens exigeix, concretament al voltant de 0,98. Nosaltres en el nostre cas, estem treballant amb un factor de potència de 0,90, la que té assignada l'alternador.

Aquesta diferència existent s'ha de compensar per mitjà d'una bateria de condensadors que ens permetrà treballar amb el valor requerit. Quan es dedueix la potència reactiva de la bateria, hem de decidir de quin tipus s'ha de seleccionar si fixa o variable. Per a la central s'adapta millor una de variable, pel motiu, de que el règim de funcionament de la turbina es pot anar modificant i això provoca també la variació de potència generada de l'alternador i consegüentment el factor de potència de la instal·lació.

A continuació es selecciona una bateria de condensadors amb una potència reactiva que satisfaci els nostres requeriments. El fabricant és LEGRAND, aquest ens ofereix una gamma ampla de bateries variables amb condensadors amb commutació electromagnètica.

En la part inferior es pot veure la seva composició física:



Figura 42. Bateria de condensadors variable de 125 kVAr

S'ha escollit una de 125 kVAr, per tal de poder compensar la diferencia del factor de potència assignat en la instal·lació de 0,90 i el que s'ha de tenir de 0,98. Els càlculs es poden veure a l'annex a la pàgina 104.

Finalment, la següent taula ens informa de les característiques de la unitat:

País d'origen	França
Fabricant	LEGRAND
Referència	M12540
Grau de protecció	IP31/IK05
Certificació	IEC 60439-1
Número de passos	5
Potència reactiva nominal	125 kVAr
Tensió nominal	400 Vac
Rang de temperatura	-30...60 °C
Dimensions	1,7x0,7x0,7 m

Taula 28. Especificacions de la bateria de condensadors LEGRAND

Abordarem ara, en la bateria de dc per alimentar els autòmats en cas d'un tall de subministre elèctric. El seu dimensionament es realitzarà en funció d'un tall de corrent al voltant d'unes 10 hores, aquest sistema ha de ser capaç de donar corrent als PLCs per tal de poder realitzar les maniobres o accions oportunes i deixar la central preparada en absència de funcionament del generador.

Per a poder saber com s'ha d'escollir una bateria, hem de saber la seva capacitat. Els càlculs necessaris per a deduir el seu valor estan exposats a l'annex, a la pàgina 103.

A la part de sota, podem veure la constitució física de la bateria seleccionada:



Figura 43. Bateria de dc 60 Ah i 24 V

En darrer terme, en la taula següent es poden veure les característiques de la bateria:

País d'origen	Xina
Fabricant	Vision Battery
Referència	1703913
Voltatge nominal	24 V
Número de cel·les	12 de 2 V
Capacitat	60 Ah
Rang de temperatura	-20...60 °C
Dimensions	258x166x206 mm

Taula 29. Característiques de la bateria 6FM60D-X

En referència a l'absorbidor d'ones, s'encarrega de contrarestar els xocs d'ona produïts per factors externs com tempestes o pujades de tensió sobtades. Aquests impactes poden malmetre els autòmats i deteriorar-los.

Una justificació del seu ús, és que si s'aplica un simple transformador de separació no constitueix una protecció suficient ja que una ona de xoc aplicada al primari del transformador es transfereix, per inducció electrostàtica i electromagnètica entre debanats, al secundari, amb una amplitud molt perillosa.

Seguidament, tenim un esquema típic del dispositiu:

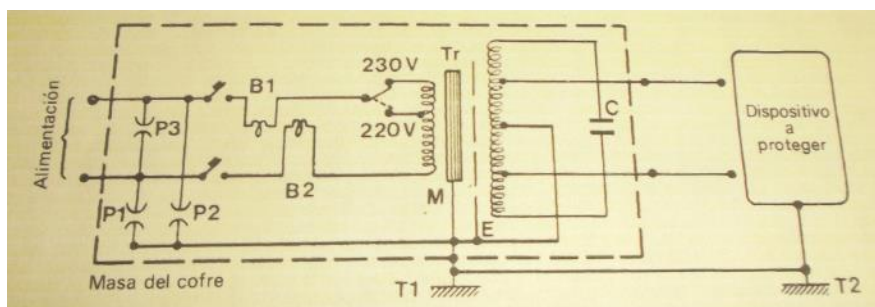


Figura 44. Esquema de l'absorbidor d'ona integral LS

El primari del transformador (Tr) està protegit contra sobretensions procedents de la línia d'alimentació per mitjà de 3 pararraigs de resistència variable P1, P2 i P3. Les bobines B1 i B2 es col·loquen abans del primari del transformador. El secundari alimenta el dispositiu a protegir a una tensió de 230 V, el seu bobinat es tanca a través d'un condensador amb una

capacitat adaptada a la potència del trafo, aquest s'instal·la per a filtrar senyals no desitjades com interferències.

Les ones es minimitzen quan travessen per les bobines B1 o B2 i s'indueix a l'altre una sobretensió similar injectada en el primari. Aquest fenomen, produeix una reducció considerable en la diferència de potencial transitòria entre els extrems del primari i en conseqüència, l'amplitud de sobretensió transmesa al secundari. En conclusió, aquestes bobines són molt importants per l'eficàcia de l'aparell.

Per altre banda, instal·lem un comptador d'energia activa, en kWh, en xarxa amb comptador parcial, amb Reset i transferència remota d'impulsos de comptatge. El dispositiu ha d'estar associat a 3 transformadors de corrent de 40/5 a 6000/5.

Aquest mesurador d'energia elèctrica, adquireix la tensió i la corrent que estan circulant per aquells punts on està connectat, posteriorment transforma la informació en sortida de puls i això permet la visualització del valor en un visor digital.

Seguidament, es pot veure el seu aspecte físic:



Figura 45. Comptador d'energia activa trifàsica

A destacar que les entrades L1, L2 i L3 es connecten a 3 transformadors de tensió, mentre que les sortides es connecten als transformadors de corrent. Com ja s'ha explicat amb anterioritat, aquests ens permeten que es realitzi la mesura.

Respecte al netejareixetes, aprofitem el que tenim a la mateixa central, ja que, aquest es troba en bon estat i encara ens pot ser de gran utilitat durant uns quants anys.

12. RESUM DE PRESSUPOST

El valor estimat de la realització del projecte és de dos-cents cinc mil dos-cents sis euros amb setanta-set cèntims, sense IVA.

13. CONCLUSIÓ

En el transcurs del projecte hem dissenyat una central hidràulica per a la realització de l'estudi de cada màquina i dels elements de protecció que li pertocuen a cadascuna. També s'han analitzat les condicions presentades en el terreny per a la selecció de la maquinària fent una recollida de dades del cabal proporcionat a través del riu.

Per a la selecció de cada unitat s'ha realitzat una consulta en tots els fabricants disponibles i hem escollit els que es necessiten per a poder executar les funcions de tot el conjunt de la instal·lació de manera satisfactòria.

També hem optat en la disposició d'uns PLCs per a poder garantir la màxima seguretat, es produeixen accions a través d'unes consignes activades per mitjà de sensors. Aquests mecanismes ens alerten dels desperfectes que es poden donar tant en la turbina com en el generador.

Així mateix, per a entendre el funcionament dels autòmats utilitzem un software, STEP 7 MicroWIN, aquest ens permet la simulació dels diagrames de contactes de cada autòmat. Posteriorment, amb una aplicació SCADA del mateix programa podem visualitzar les accions en cada cas.

Finalment, es realitza un estudi econòmic per veure quin és el període necessari per amortitzar tota la instal·lació de la central hidràulica i quins beneficis ens aportarà.

Rubén Molina Del Moral
Graduat en Enginyeria Elèctrica

Lloret De Mar, 22 de juliol de 2015

14. RELACIÓ DE DOCUMENTS

El projecte consta de cinc documents. La memòria, els plànols, el plec de condicions, l'estat d'amidaments i el pressupost.

15. BIBLIOGRAFIA

Automatització

(Apunts de l'assignatura Automatització i Control del Grau Enginyeria Electrònica i Automàtica)

Característiques de les turbines

(<http://www.uco.es/termodinamica/ppt/pdf/fluidos%2013.pdf>)

Consulta dades del cabal

(http://aca-web.gencat.cat/aetr/aetr2/UII/aetr_app?TAB=hist#)

Criteris de velocitat de les turbines.

(http://fluidos.eia.edu.co/hidraulica/articulos/maquinashidraulicas/sel_turbinas/fondos/criterios.htm)

Elements d'una central hidràulica

(<http://thales.cica.es/rd/Recursos/rd99/ed99-0226-01/capitulo3.html>)

Proteccions instal·lacions elèctriques

(<http://www.instalacionesgodofredo.es/blog/electricidad/elementos-de-proteccion-en-instalaciones-electricas.html>)

Reglament de Baixa Tensió

Selecció del generador

(<http://spanish.alibaba.com/product-gs/hydro-turbine-generator-for-power-plant-829106802.html>)

Selecció del transformador

(http://www.generadordeprecios.info/espacios_urbanos/Instalaciones/Urbanas/Centros_de_transformacion/Transformador_en_bano_de_aceite_0_4.html)

Selecció de la turbina

(http://www.electway.net/product/30-1000kW_HL260_Francis_turbine.html)

STEPHEN J.CHAPMAN. Máquinas eléctricas. Quinta Edición. Editorial MCGRAW-HILL, 2014.

16. GLOSSARI

A.C.A: Agència Catalana de l'Aigua

BT: Baixa Tensió

Cdt: Caiguda de Tensió

CPU: Unitat Central de Processament

ITC: Instrucció Tècnica Complementària

MT: Mitja Tensió

RBT: Reglament Electrotècnic de Baixa Tensió

Trafo: Transformador

Unesa: Asociación Española de la Indústria Elèctrica

A. CÀLCULS

El següent punt a considerar, són els valors numèrics que ens permeten realitzar el dimensionament òptim dels elements existents en tota la instal·lació de la central.

A.1. Càlcul de la secció del cablejat de BT

Per a deduir les seccions de tot el cablejat per escalfament, utilitzem la següent equació per a trifàsic:

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot V \cdot \cos \varphi} \quad (\text{Eq.13})$$

També podem escollir la secció en funció de la caiguda de tensió permesa en trifàsic, en aquest cas utilitzem l'expressió de sota:

$$S = \frac{P \cdot L}{k \cdot e \cdot V} \quad (\text{Eq.14})$$

En monofàsic, la secció respecte a la caiguda de tensió es calcula:

$$S = \frac{2 \cdot P \cdot L}{k \cdot e \cdot V} \quad (\text{Eq.15})$$

Amb aquestes expressions es calculen les seccions en els trams 1 i 3 de la instal·lació en relació a la intensitat admissible, en el tram 2 el càlcul per escalfament és el mateix sense tenir en compte l'arrel de 3 i el factor de potència, la tensió és de 230 V. Per a distingir els diferents trams es poden veure en la figura 40 de la pàgina 87.

Comencem amb el càlcul del tram 1 per escalfament, aquest tram, són els conductors que s'encarreguen de transportar l'energia generada per el grup turbina-generador cap al transformador. La potència màxima a suportar és de 370 kW multiplicada per 1,25 segons la ITC-47-BT perquè és un motor d'un alternador, la tensió és de 400V i el factor de potència exigida per a la instal·lació és de 0,98.

Amb aquests valors obtenim una intensitat de 681,18 A. Una vegada sabem el corrent, es consulta la ITC-07-BT, la taula 12 i agafem una secció de 400 mm² dels cables unipolars, els factors de correcció no els tenim en compte ja que aquests ens fan reduir la intensitat i ja es procura agafar una secció que ens permeti la conducció amb la màxima seguretat.

Ara es realitza respecte a la caiguda de tensió, la longitud del tram 1 és de 40 m, multipliquem per 1,25 per marge de seguretat exigida per màquines en la ITC-47-BT la conductivitat del coure és de 56, la caiguda de tensió permesa en aquest tram és de 5% i la tensió és de 400 V.

Amb els valors citats obtenim una secció de 41,30 mm². Per escalfament ens havia donat una secció de 400 mm². Per tant escollim la secció en el cas més desfavorable amb aquest últim valor.

Per últim es comprova si amb els 400 mm² es compleix el 5% de caiguda de tensió. Aïllant el terme e de l'equació 14 ens dona 2,06 V. Aquest resultat dividit per els 400 V que circulen per el tram ens dona una cdt de 0,52 %, per tant si estem complint amb el que està permès.

Posteriorment es calcula la secció per el tram 2 per escalfament, aquest transporta el corrent per alimentar els autòmats, surt des de l'absorbidor d'ona i es dirigeix als quadres de protecció concretament als autòmats. També tenim els que alimenten els fluorescents de l'enllumenat i els endolls. La potència utilitzada és la mínima que ens exigeix la companyia a contractar de 10 kW, cal dir que difícilment arribarem a aquesta potència però per seguretat es calcula a aquest valor.

Amb les condicions anteriors obtenim un corrent de 43,47 A. Com abans es consulta la taula 12 i agafem una secció de 6 mm² dels cables unipolars.

Ara es realitza respecte a la caiguda de tensió, la longitud del tram 2 és de 10 m, la conductivitat del coure és 56, la tensió és de 230 V i la cdt permesa en aquest tram és de 1,5 %. Utilitzant l'equació 15, amb aquests valors tenim una secció de 4,50 mm². Escollim una secció de 6 mm². Una vegada escollida, comprovem que la cdt sigui més baixa de la

permesa. Aïllant el paràmetre e ens dona 2,59 V. Aquest resultat dividit per els 230 V que circulen per el tram ens dona una cdt de 1,13 %, per tant es compleix amb el que es permet.

Ara procedim, a calcular el tram 3 per escalfament, aquest ens alimenta els contactors i els relés que tenen la funció de protegir la instal·lació. El seu recorregut va des de l'embarrat de les caixes de protecció al motor del generador. La potència que han d'aguantar és de 200 kW, la del generador, la tensió és de 400 V i es factor de potència de 0,90.

Amb els valors donats obtenim una intensitat 400,94 A, consultant la taula 12, seleccionem una secció de 185 mm² dels cables unipolars.

Respecte a la caiguda de tensió, la longitud del tram 3 és de 25 m, la conductivitat del coure és 56, la tensió és de 400 V i la cdt permesa en aquest tram és de 5 %. Amb aquests valors tenim una secció de 13,95 mm².

Escollim una secció de 185 mm². Una vegada escollida, comprovem que la cdt sigui més baixa de la permesa. Aïllant el paràmetre e de l'equació 14 ens dona 1,50 V. Aquest resultat dividit per els 400 V que circulen per el tram ens dona una cdt de 0,38 %, veiem que si es compleix amb el permès.

En referència al tram 4, és l'encarregat d'alimentar als fluorescents. La potència total dels 6 fluorescents és de 348 W, aquest valor segons la ITC-44-BT per a fluorescents s'ha de multiplicar per 1,8. La tensió és de 230 V. Per el càlcul d'escalfament tenim un valor de 2,72 A.

Pel que fa a la caiguda de tensió, la longitud d'aquest tram és de 10 m, la conductivitat del coure de 56, la tensió de 230 V i la cdt permesa és de 1,5 %. Amb aquest valors operant amb l'equació 15, tenim una secció de 0,14 mm².

Nosaltres escollim una secció de 1,5 mm², que és la que s'utilitza per a l'enllumenat. Ara comprovem si compleix amb el marge permès de cdt. Aïllant el paràmetre e , és te un voltatge de 0,32, dividint per 230 V resulta un 0,14 %, per tant es veu que si es compleix amb el que dicta el Reglament.

Finalment, en el tram 5 agafem una secció de 2,5 mm², pel motiu que no es pot saber exactament la potència consumida connectada als endolls i aquesta és la que normalment es selecciona.

Per il·lustrar el mètode de selecció de les diferents seccions es presenta la figura següent:



Sección nominal mm ²	Tres cables unipolares (1)			1 cable trifásico		
						
	TIPO DE AISLAMIENTO					
	XLPE	EPR	PVC	XLPE	EPR	PVC
6	46	45	38	44	43	36
10	64	62	53	61	60	50
16	86	83	71	82	80	65
25	120	115	96	110	105	87
35	145	140	115	135	130	105
50	180	175	145	165	160	130
70	230	225	185	210	220	165
95	285	280	235	260	250	205
120	335	325	275	300	290	240
150	385	375	315	350	335	275
185	450	440	365	400	385	315
240	535	515	435	475	460	370
300	615	595	500	545	520	425
400	720	700	585	645	610	495
500	825	800	665	—	—	—
630	950	915	765	—	—	—

Figura 46. Selecció de seccions de la ITC-07 del Reglament de Baixa Tensió

El cercle de color negre representa el tram 1, el de color vermell, el tram 2 i el de color verd fosc el tram 3. Els trams 4 i 5, no els podem trobar a la taula. Escollim la secció següent a la que ens dona el càlcul existent en el mercat.

A.2. Càlcul de la instal·lació de MT

Per a calcular i verificar que estem complint dintre del marge exigít per els criteris del disseny de línies aèries de MT, ens referenciem als que ens marca la companyia de ENDESA.

Seleccionem el cable amb la mínima secció disponible per veure si la caiguda de tensió i les pèrdues de potències entren dintre dels límits marcats. La secció escollida ens permet fins als 30 kV i un màxim de 36 kV. Així mateix, des del transformador a la torre d'interconnexió tenim uns 5 m de cable de MT i el tipus de línia és de 2 circuits.

Per mitjà de la taula següent escollim el cable que més satisfaci les nostres condicions:

Tipus de cable	Secció mm ²	Diàmetre mm	Alambres d'alumini		Càrrega de rotura DaN	R. elèctrica a 20 °C Ω/km
			Nº	Diàmetre mm		
LA 56	54,6	9,45	6	3,15	1640	0,6136
LA 110	116,2	14	30	2	4310	0,3066
LA 180	181,6	17,5	30	2,5	6390	0,1962

Taula 30. Conductors de MT segons criteris de disseny de ENDESA

Es selecciona el tipus de cable LA 56, posteriorment es realitzen els càlculs corresponents per veure si es compleix amb la normativa.

Comencem per a calcular la resistència a 75°C, considerat com el valor resultant de la temperatura ambient juntament amb el pas de la càrrega, s'utilitza l'equació següent:

$$R_{75} = R_{20} [1 + \alpha(t - 20)] \quad (\text{Eq.16})$$

R₂₀, és la resistència elèctrica a 20 °C en el nostre cas és de 0,003068 Ω, amb 5 m de longitud. El paràmetre α, és de 0,0040 per l'alumini i t, és la temperatura de 75 °C. El valor de R₇₅ ens resulta d'uns 0,00374 Ω.

Posteriorment es necessita calcular la reactància a partir de la següent expressió:

$$X = 2\pi f \cdot M \quad (\text{Eq.17})$$

El terme M, es calcula a partir de la fórmula de sota:

$$M = (0,5 + 4,605 \log \frac{D}{r}) \cdot 10^{-4} \quad (\text{Eq.18})$$

D, és la distància de separació de 0,94 m, valor assignat per mitjà de la taula de la pàgina 9, dels "Criterios de diseño de lineas aereas de media tensión" de la companyia ENDESA. r, és el radi de conductor de 1,575 mm. Amb els valor anteriors tenim una M de $1,328 \cdot 10^{-3}$ i una reactància X de 0,417 Ω /km multiplicant per 0,005 km tenim una reactància de 0,0021 Ω .

La impedància Z corresponent és de $4,289 \cdot 10^{-3} \angle 29,31^\circ \Omega$.

També necessitem la intensitat existent a la línia. Aplicant l'equació 13, tenim una intensitat de 8,63 A, amb una potència de 370 kW, una tensió de 25 kV i un factor de potència de 0,99.

Una vegada sabem el corrent en la línia i la impedància, per mitjà de la següent equació es calcula la caiguda de tensió:

$$\Delta V = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R \cdot \cos \alpha + X \cdot \sin \alpha) \quad (\text{Eq.19})$$

La I, intensitat és de 8,63 la R, resistència de 0,00374, la X, reactància de 0,0021 i el desfasament de $29,31^\circ$. La L, longitud és de 0,005 m. El resultat final de ΔV és de 0,0641 V, en tant per cent respecte a 25 kV correspon a 0,00026 %. Es pot veure que es compleix per bastant la caiguda de tensió permesa en MT, d'uns 5,5 %.

Finalment, es dedueix la pèrdua de potència al llarg de la línia fins a la torre d'interconnexió. S'utilitza la següent equació:

$$\Delta P = 3 \cdot R \cdot L \cdot I^2 \quad (\text{Eq.20})$$

La potència perduda al llarg dels 5 m de línia aèria és de 4,18 W.

Com a resum, es pot dir que amb els càlculs de la caiguda de tensió i de la pèrdua de potència ens surten uns valors relativament baixos, degut a la poca distància de línia transportada, en definitiva es compleix amb el que s'estableix en la normativa.

A.3. Càlcul dels contactors, fusibles, relé tèrmic i magnetotèrmics

Abordarem ara, en el càlcul dels contactors que ens protegeixen la instal·lació. Tenim un contactor a la caixa general d'alimentació que ha de suportar la potència generada per el grup turbina-generador de 370 kW.

Per el seu càlcul utilitzem la fórmula de l'equació 13 i posteriorment es multiplica per 1,25 per a temes de seguretat. Anteriorment ens ha donat un corrent de 544,94 A, multiplicant per 1,25 ens dona un valor de 681,18 A. Per tant escollim un contactor de 750 A. Per els fusibles es realitza el mateix càlcul, per tant, també s'escullen en funció d'aquest valor de corrent.

Acte i seguit, es calculen els contactors que protegeixen el motor del generador, ha de suportar uns 200 kW. Tenim un resultat de 320,75 A, es multiplica per 1,25 i ens dona 400,94 A. Per tant escollim un contactor de 400 A, ja que aquest suporta fins a 250 kW.

En referència, al relé tèrmic per el càlcul de la intensitat és el mateix per el contactor que es connecta prèviament. Els dispositiu ha de ser capaç de funcionar amb corrent fins a 400 A.

Per l'interruptor magnetotèrmic de l'enllumenat, utilitzem la fórmula de l'equació 13 en monofàsic, tenim 3 suports de 2 fluorescents cadascun amb 58 W. Es té un consum total de 348 W a 230 V, segons la ITC-44-BT aquest es multiplica per 1,8. Amb aquests condicionants tenim una intensitat de 2,72 A. Nosaltres seleccionem un interruptor magnetotèrmic de 10 A.

Per l'interruptor magnetotèrmic dels endolls escollim un de 16 A, per a tenir un cert marge alhora de connectar aparells als endolls.

A.4. Càlcul de la capacitat de la bateria de dc

Per a poder dimensionar la capacitat de la bateria, primer de tot, hem de saber els consums que s'han d'alimentar. Els PLCs consumeixen una potència de 50 W cadascun, com hi ha 2 necessitarem uns 100 W.

Nosaltres volem que en cas d'un tall de subministrament els dispositius continuïn funcionant durant unes 10 hores aproximadament. Així doncs, l'energia diària consumida seria de 1.000 Wh.

Una vegada tenim l'energia consumida, es dedueix la capacitat necessària per a la bateria amb la següent equació:

$$C = \frac{E}{V} \quad (\text{Eq.21})$$

Tenim una tensió nominal de 24. Amb això, es requereix una capacitat de 41,67 Ah.

Es vol que la seva descàrrega profunda màxima es realitzi a un 70 %, deixant el 30 % restant en la bateria, ja que, això permet ampliar el número de cicles disponibles i aconseguir que la bateria es degradi menys i mantingui la seva capacitat de càrrega més temps. Tenint em compte això tenim una capacitat de 59,53 Ah.

A.5. Càlcul de la bateria de condensadors

Com ja hem mencionat, el Real Decreto 1565/2010 ens exigeix que el conjunt de tota la instal·lació tingui un factor de potència de 0,98. Nosaltres sabem que el generador encarregat de produir l'energia elèctrica té un factor de potència de 0,9. Per tant, per aconseguir tenir un factor de potència de 0,98 es necessita un sistema de bateries de condensadors.

Primerament agafem la potència en el cas més restrictiu, en altres paraules, al seu valor màxim 370 kW. El factor de potència de l'alternador de 0,9.

Per el càlcul de les potències reactives, utilitzem el triangle de potències i a partir d'aquí s'extreu la següent expressió:

$$Q = \tan\varphi \cdot P \quad (\text{Eq.22})$$

El terme Q, és la potència reactiva i la P és la potència activa. L'angle del cos φ de 0,9 és de 25,84°. Amb aquestes dades tenim una Q_{inicial} de 179,18 kVAr. Volem que la instal·lació treballi amb un cos φ de 0,98 amb un angle de 11,48°, amb aquest factor tenim una $Q_{\text{compensar}}$ de 75,14 kVAr.

Per el càlcul de Q de la bateria hem de fer la diferència de la $Q_{inicial}$ i la $Q_{compensar}$. Operant tenim una $Q_{bateria}$ de 104,04 kVAr.

Per acabar d'aclarir com s'ha deduït la potència reactiva de la bateria es mostra el triangle de potències:

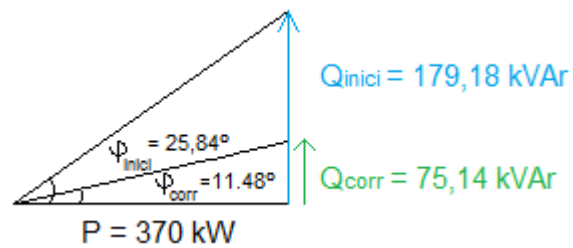


Figura 47. Triangle de potències per a la Q de la bateria

B. DIAGRAMA DE CONTACTES

B.1. Alarmes

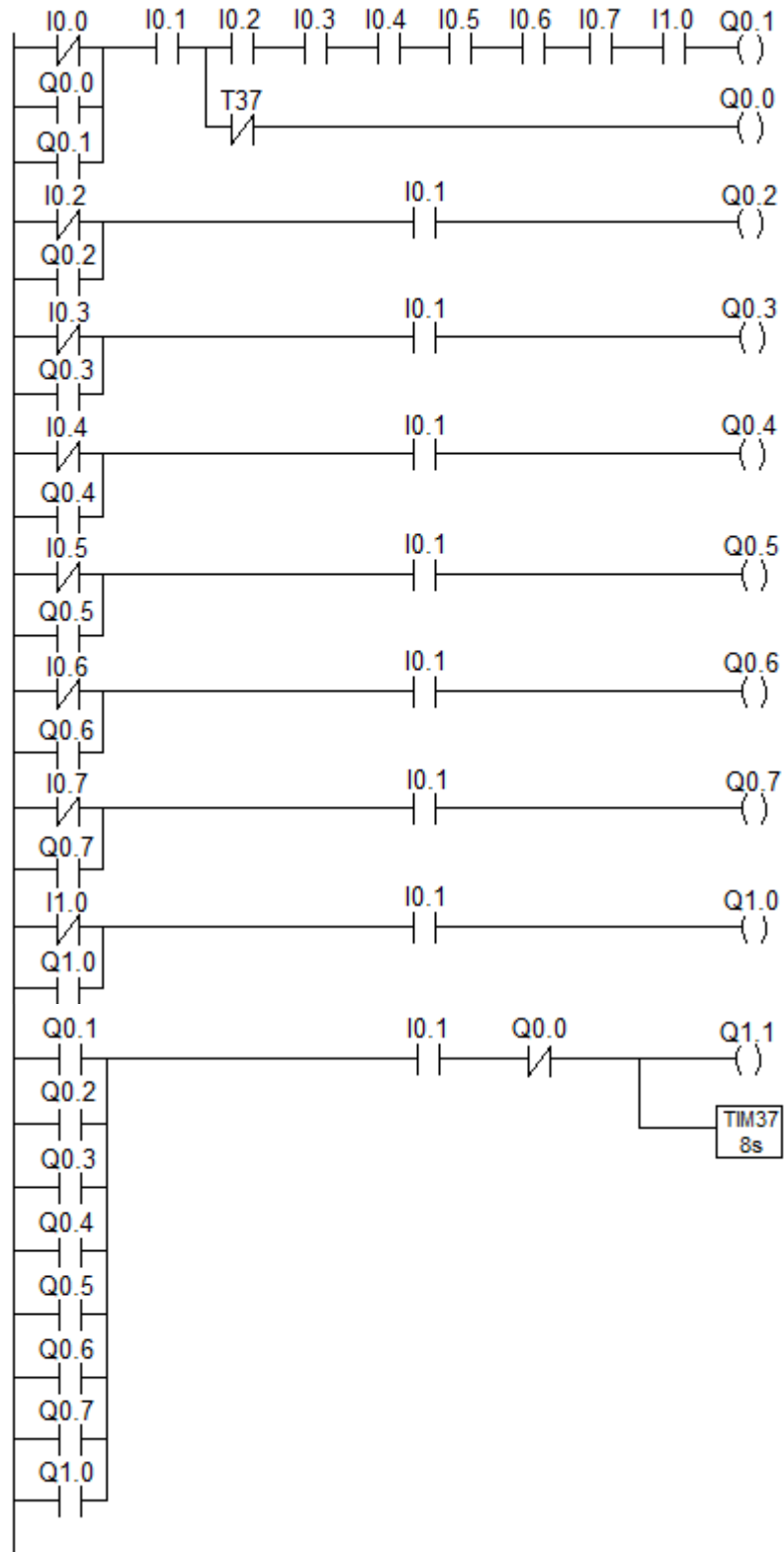


Figura 48. Diagrama de contactes de les alarmes

B.2. Accions

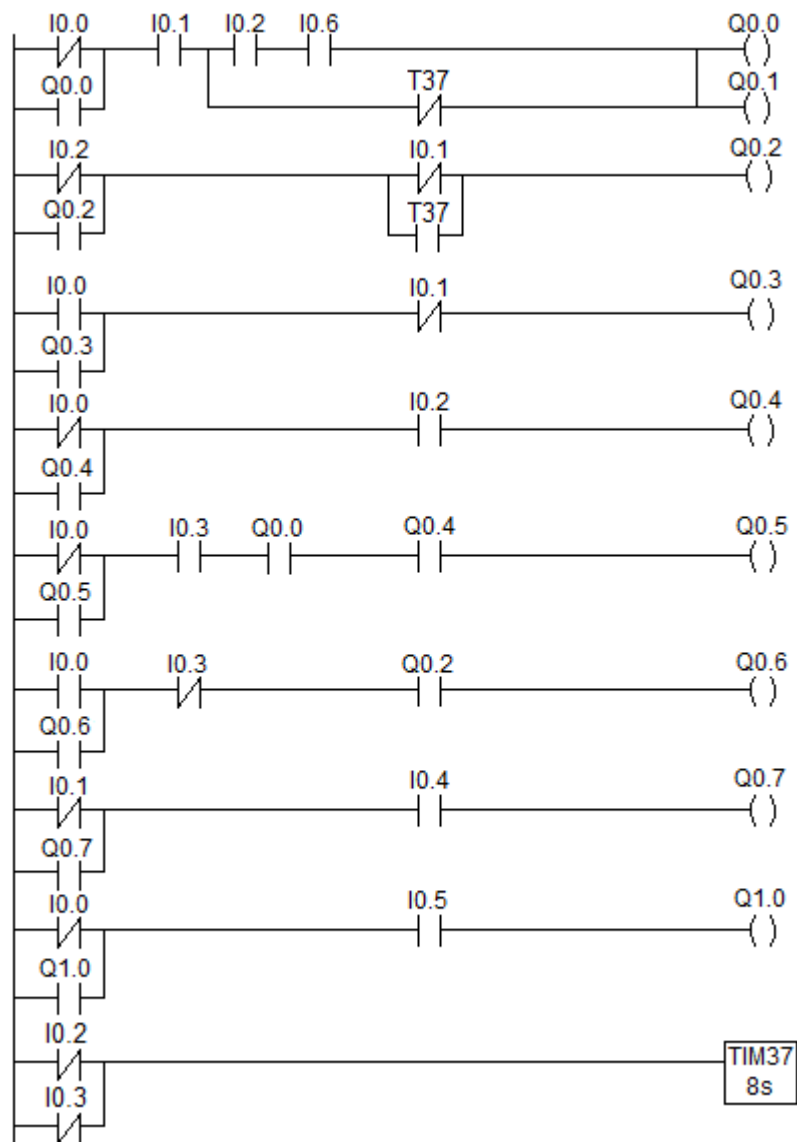


Figura 49. Diagrama de contactes de les accions

Les entrades i sortides estan declarades en les taules 24,25,26 i 27. En els diagrames s'han assignat les direccions de cada contacte i actuador.

B.3. GRAFCET de les alarmes

Es vol implementar el diagrama de contactes a partir dels GRAFCETS. Per a la seva realització es necessita declarar una sèrie de bits interns, encarregats d'accionar les seves respectives sortides, és a dir, les etapes.

A continuació es mostra la definició del bits interns:

Etiqueta	Descripció
bit_1er_scan	Bit de primer scan
E0	Etapa 0 del GRAFCET
E1	Etapa 1 del GRAFCET
E2	Etapa 2 del GRAFCET
E3	Etapa 3 del GRAFCET
E4	Etapa 4 del GRAFCET
E5	Etapa 5 del GRAFCET
E6	Etapa 6 del GRAFCET
E7	Etapa 7 del GRAFCET
E8	Etapa 8 del GRAFCET
E9	Etapa 9 del GRAFCET
E10	Etapa 10 del GRAFCET

Taula 31. Declaració dels bits interns del GRAFCET de les alarmes

Tot seguit, es mostra el diagrama de les entrades:

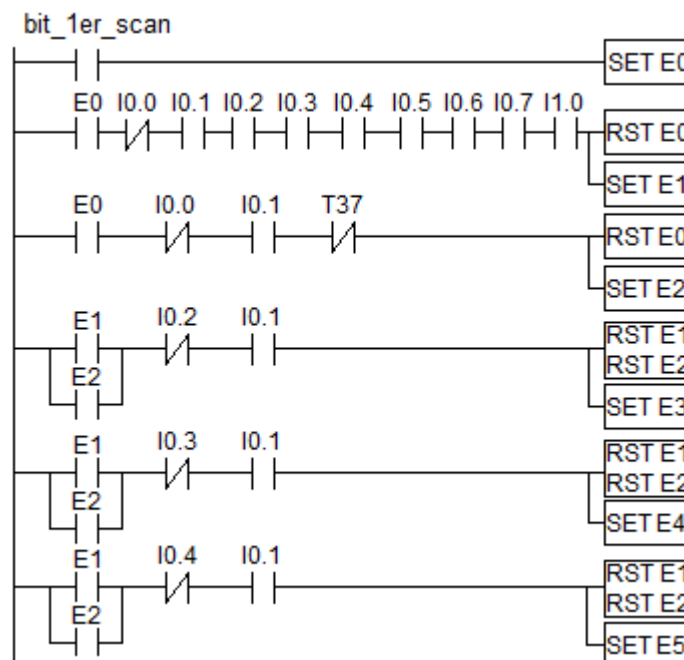


Figura 50. 1era part del diagrama de contactes del GRAFCET de les alarmes

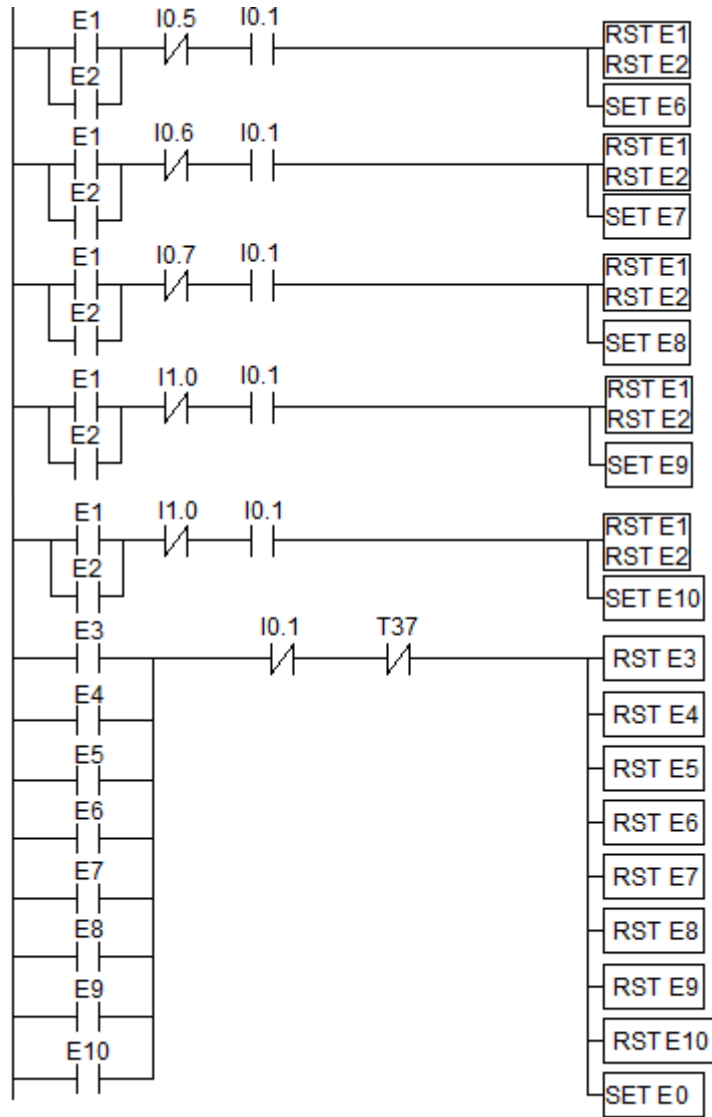


Figura 51. Zona part del diagrama de contactes del GRAFCET de les alarmes

Ara es mostra, el diagrama de les sortides:

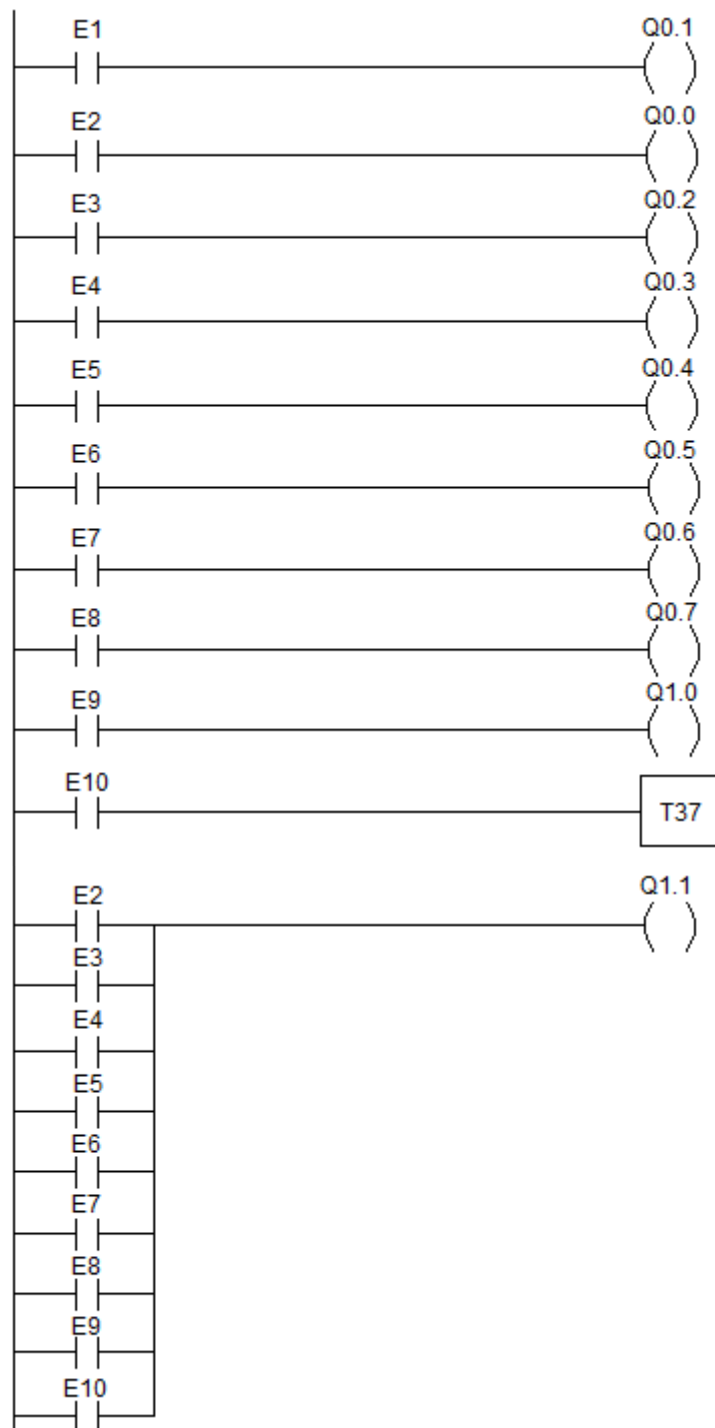


Figura 52. Diagrama de contactes del GRAFCET, sortides de les alarmes

B.4. GRAFCET de les accions

Acte i seguit, es defineixen els bits interns utilitzats per el diagrama de contactes:

Etiqueta	Descripció
bit_1er_scan	Bit de primer scan
E0	Etapa 0 del GRAFCET
E1	Etapa 1 del GRAFCET
E2	Etapa 2 del GRAFCET
E3	Etapa 3 del GRAFCET
E4	Etapa 4 del GRAFCET
E5	Etapa 5 del GRAFCET
E6	Etapa 6 del GRAFCET
E7	Etapa 7 del GRAFCET
E8	Etapa 8 del GRAFCET

Taula 32. Bits interns del GRAFCET de les accions

Mostrem el diagrama de les entrades i sortides:

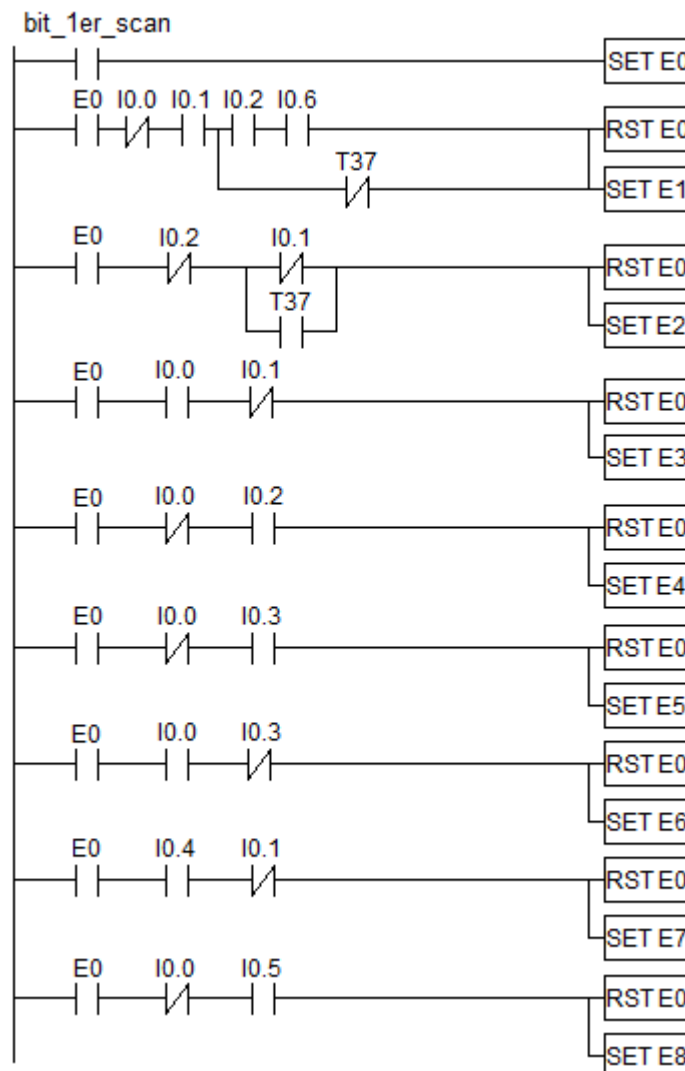


Figura 53. 1era part del diagrama de contactes de les accions

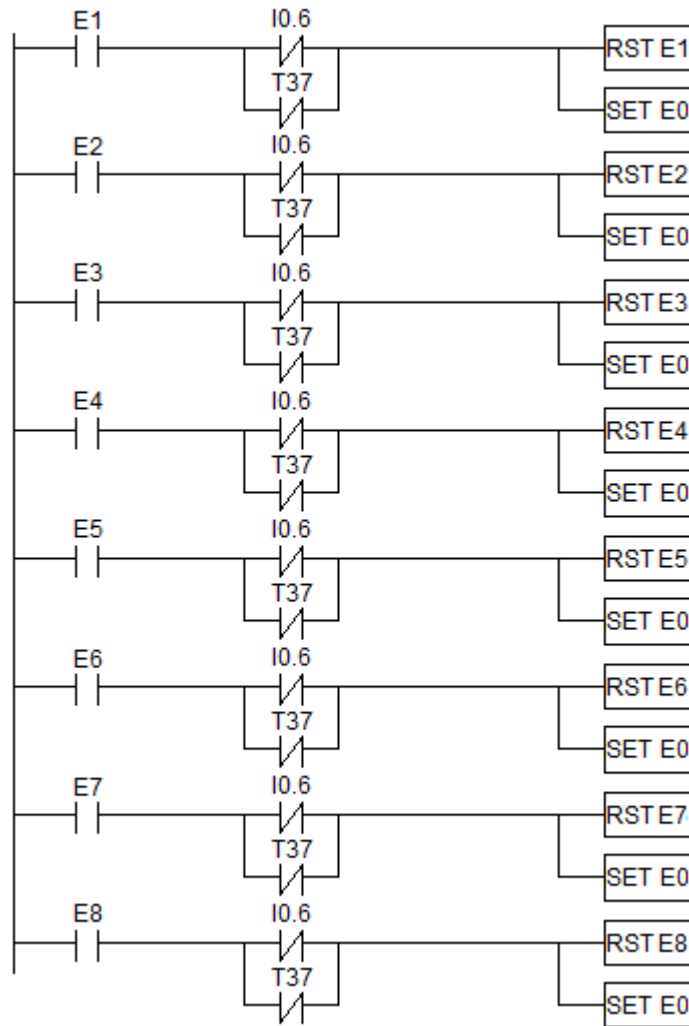


Figura 54. Zona part del diagrama de contactes de les accions

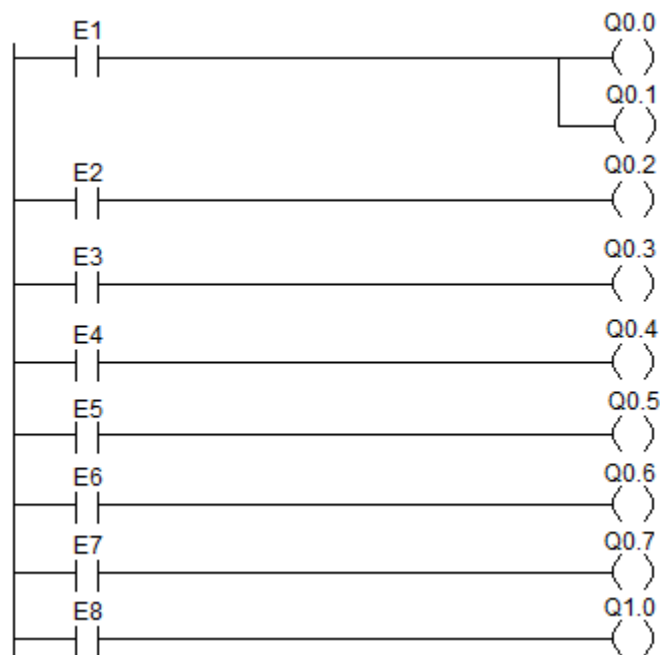


Figura 55. Diagrama de contactes del GRAFCET, sortides de les accions

C. GRAFCET

C.1. Alarmes

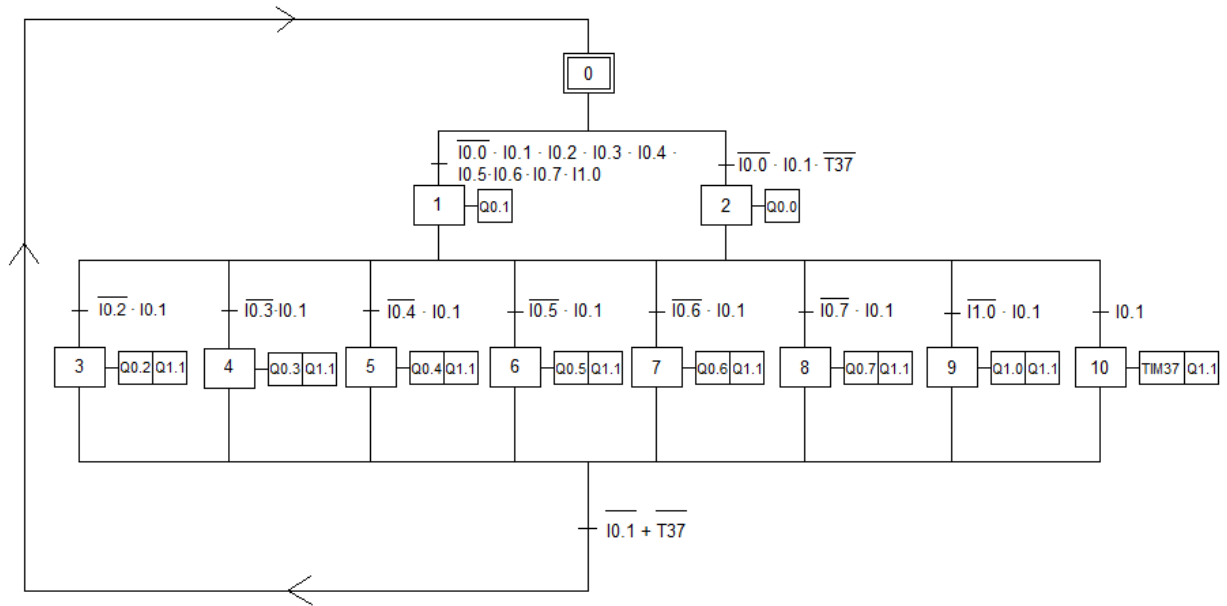


Figura 56. GRAFCET de les alarmes

C.2. Accions

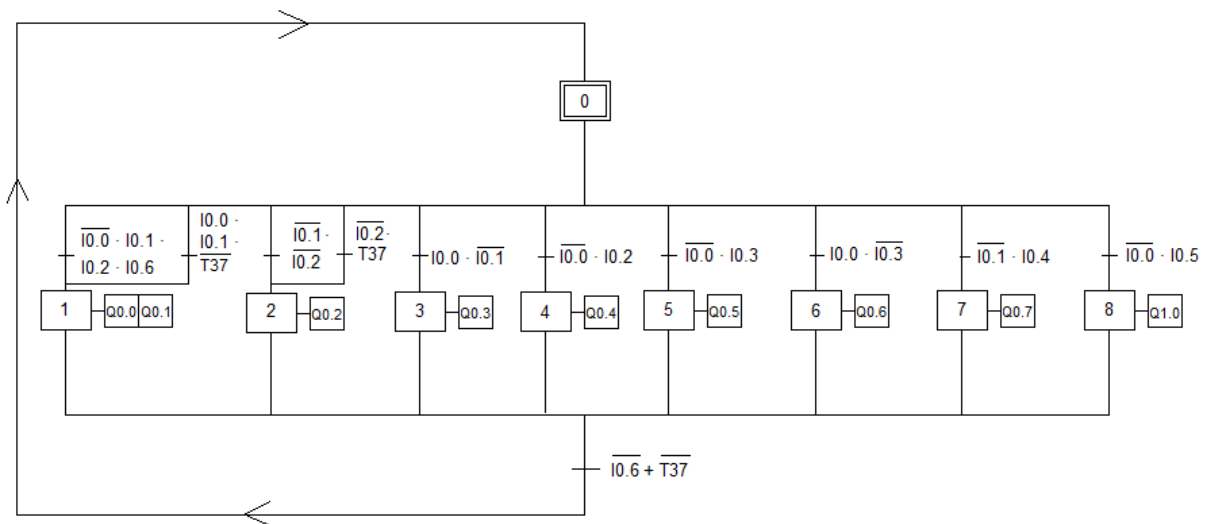


Figura 57. GRAFCET de les accions

D. SCADA

En aquest apartat, expliquem com estan distribuïts els diferents sensors dels que disposem en les diferents zones de tot el sistema. Per mitjà de l'aplicació PC_SIMU del programa STEP 7 MicroWin, podem veure les entrades de l'autòmat en sensors i les sortides en alarmes.

A continuació es mostra, una aproximació de la zona on estan ubicats els diferents sensors:

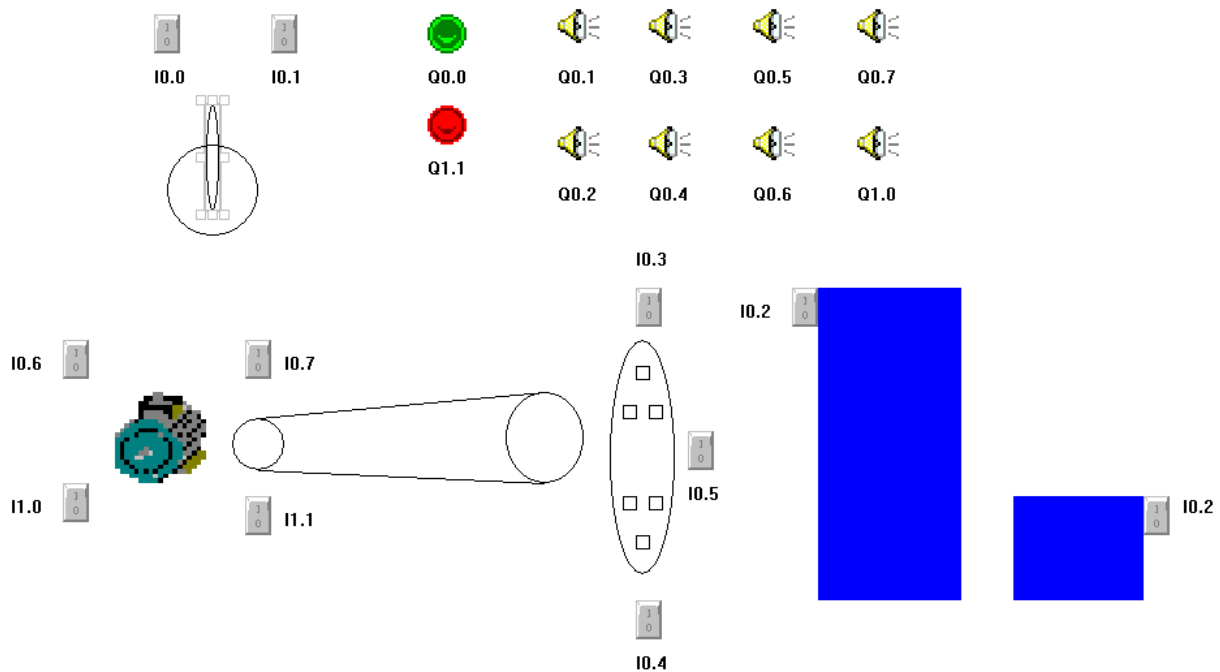


Figura 58. SCADA de les alarmes

Els interruptors ens simbolitzen els diferents sensors implementats en les zones on han de realitzar el control de les variables. Els altaveus fan referència a les alarmes que ens alerten d'una variació de les variables fora dels marges establerts.

A través del simulador, podem veure com s'accionen les sortides quan activem les entrades que els corresponen. Quan tenim el color gris, ens està indicant que aquell element es troba inactiu i un color determinat ens indica que estarà accionat.

Per altre banda, es visualitzen els sensors per a les accions:

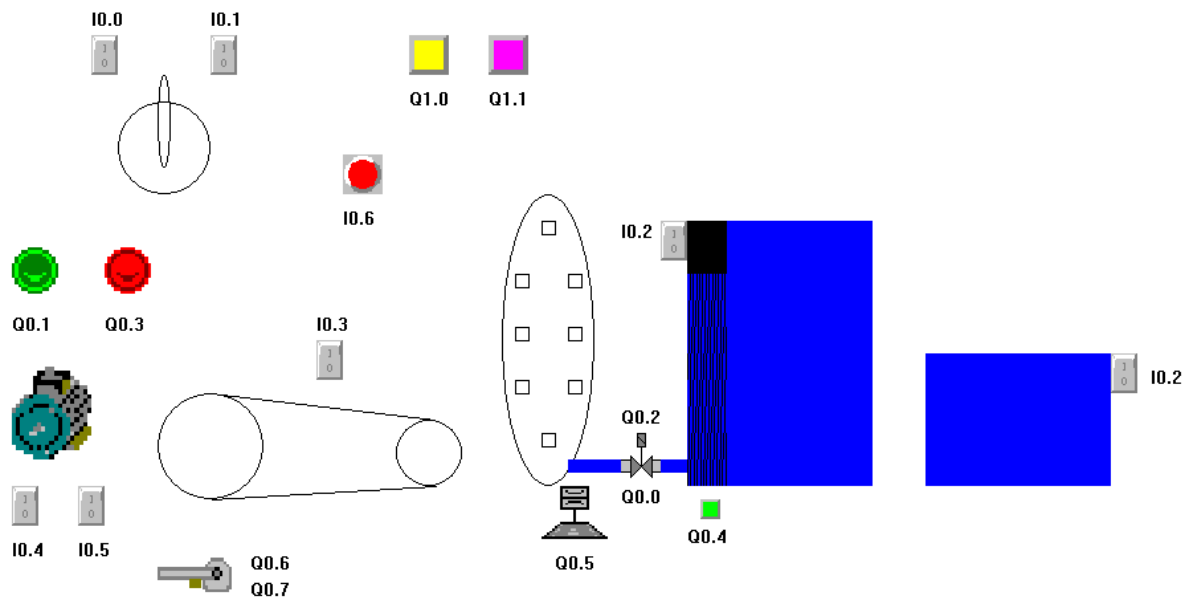


Figura 59. SCADA de les accions

En aquest cas, els interruptors també ens simulen els sensors. Quan s'encenen els leds ens indiquen que les sortides estan accionades. L'actuador Q0.6 i Q0.7, si està en posicionament esquerre ens indica que el grup turbina-generador es troba desacoblat, en canvi, si està en la posició de la dreta vol dir que està acoblat.

Així mateix, la sortida Q0.0 i Q0.2, ens marca quan la vàlvula s'obre o es tanca, en cas d'obrir-se, aquesta estarà marcada en color en cas contrari voldrà dir que està tancada. El led Q0.4 ens indica quan s'acciona el netejareixetes i Q0.5 si el distribuïdor de la turbina està obert. Q0.1 i Q0.3, són uns leds indicadors de si el grup turbina-generador està en funcionament o parat.

Finalment, tenim el polsador IO.6 que simula el sensor de parada d'emergència i s'encarrega de tancar la vàlvula i d'evitar que funcioni el grup turbina-generador.

E. ESTUDI ECONÒMIC

En aquest apartat s'analitza el balanç econòmic resultant en la central hidràulica al llarg dels anys. Es deduirà el pay-back o amortització, és a dir, a partir de quants anys funcionant es comencen a obtenir uns beneficis, una vegada s'han liquidat els costos existents.

Primerament, es fixen els costos generats en tota la instal·lació com els de la instal·lació, els de manteniment de les màquines, els de peatge de la companyia elèctrica i els del cànon de l'aigua imposats per l'ACA.

Després, fixem els ingressos que bàsicament són els de la venda d'energia. Cal tenir present, que per analitzar la viabilitat econòmica s'ha d'identificar en quin grup de producció es troba la nostra central.

Per a saber el preu de venda de l'energia, consultem l'article 27.1 de la Llei 54/1997 per verificar quin és el règim de producció, en el nostre cas com tenim una potència instal·lada de 400 kW, es considera com de règim especial, ja que es tenen menys de 50 MW instal·lats.

Després es consulta el Real Decreto 9/2013 per veure quants diners ens pertocaran per kWh venut. Nosaltres suposem una tarifa regulada, pel motiu de que el preu de venda de l'energia tingui la mínima variació possible i sigui bastant constant, per a poder analitzar un temps d'amortització que sigui el més aproximat possible.

Seleccionem una tarifa b.1.1, la qual ens pagaria uns 0,04463 €/kWh els primers 30 anys i uns 0,0239 €/kWh a partir d'aquest període. Aquests preus han estat consultats a l'ordre IET/221/2013, concretament a l'annex II.

Quan hem analitzat el preu de venda de l'energia, es necessari tenir en compte els impostos o peatges a pagar per la central. Verifiquem el que ens cobraran anant al Real Decreto ley 14/2010 on ens informen a quant es cobra el peatge. En el Artículo 2, es pot trobar que ens cobraran 0,0005 €/kWh generat.

Per altre banda, l'ACA ens cobrarà un cànon d'aigua per a usos domèstics. Aquest preu es regula pel decret legislatiu 3/2003. Per a determinar els diners que li pertocuen a l'ACA es multiplica el tipus de tarifa aplicable per l'energia produïda a l'any. La tarifa en el cas de règim especial és de 0,00039 €/kWh. També tenim els costos del manteniment de la central i els de reserva, essent aquests, uns diners guardats per imprevistos que es poden donar.

Una vegada hem analitzat els beneficis i els costos existents. Realitzem una taula per veure quant de temps necessitarem per amortitzar la instal·lació de la central.

En la taula següent es mostra el balanç econòmic realitzat per any, dels primers 30 anys:

Anys	Any real	Costos					Beneficis			Balanç final (€)
		Inversió inicial (€)	Reserva (€)	Peatge o impostos (€)	Cànon aigua de l'ACA (€)	Costos anuals (€)	Preu kWh generat (€)	Energia anual (kWh)	Beneficis anuals (€)	
		248.300,19								
		Preu Manteniment instal·lació (€)								
1	2014	2.483,00	1.241,50	400,00	312,00	4.436,50	0,045	800.000,00	35.704,00	-
2	2015	2.545,08	1.315,99	408,00	321,36	4.590,43	0,045	796.000,00	35.525,48	-
3	2016	2.608,70	1.394,95	416,16	331,00	4.750,82	0,045	792.020,00	35.347,85	-
4	2017	2.673,92	1.478,65	424,48	340,93	4.917,98	0,045	788.059,90	35.171,11	-
5	2018	2.740,77	1.567,37	432,97	351,16	5.092,27	0,045	784.119,60	34.995,26	-95.344,48
6	2019	2.809,29	1.661,41	441,63	361,69	5.274,02	0,045	780.199,00	34.820,28	-65.798,23
7	2020	2.879,52	1.761,09	450,46	372,54	5.463,62	0,045	776.298,01	34.646,18	-36.615,67
8	2021	2.951,51	1.866,76	459,47	383,72	5.661,46	0,045	772.416,52	34.472,95	-7.804,18
9	2022	3.025,30	1.978,76	468,66	395,23	5.867,96	0,045	768.554,43	34.300,58	20.628,45
10	2023	3.100,93	2.097,49	478,04	407,09	6.083,55	0,045	764.711,66	34.129,08	48.673,98
11	2024	3.178,45	2.223,34	487,60	419,30	6.308,69	0,045	760.888,10	33.958,44	76.323,73
12	2025	3.257,91	2.356,74	497,35	431,88	6.543,88	0,045	757.083,66	33.788,64	103.568,49
13	2026	3.339,36	2.498,14	507,30	444,84	6.789,64	0,045	753.298,25	33.619,70	130.398,55
14	2027	3.422,85	2.648,03	517,44	458,18	7.046,50	0,045	749.531,75	33.451,60	156.803,65
15	2028	3.508,42	2.806,91	527,79	471,93	7.315,05	0,045	745.784,10	33.284,34	182.772,94
16	2029	3.596,13	2.975,33	538,35	486,09	7.595,89	0,045	742.055,18	33.117,92	208.294,97
17	2030	3.686,03	3.153,85	549,11	500,67	7.889,66	0,045	738.344,90	32.952,33	233.357,64
18	2031	3.778,18	3.343,08	560,10	515,69	8.197,05	0,045	734.653,17	32.787,57	257.948,17
19	2032	3.872,64	3.543,66	571,30	531,16	8.518,76	0,045	730.979,91	32.623,63	282.053,04
20	2033	3.969,45	3.756,28	582,72	547,09	8.855,55	0,045	727.325,01	32.460,52	305.658,01
21	2034	4.068,69	3.981,66	594,38	563,51	9.208,24	0,045	723.688,38	32.298,21	328.747,98
22	2035	4.170,40	4.220,56	606,27	580,41	9.577,64	0,045	720.069,94	32.136,72	351.307,06
23	2036	4.274,67	4.473,80	618,39	597,82	9.964,68	0,045	716.469,59	31.976,04	373.318,42
24	2037	4.381,53	4.742,22	630,76	615,76	10.370,27	0,045	712.887,24	31.816,16	394.764,31
25	2038	4.491,07	5.026,76	643,37	634,23	10.795,43	0,045	709.322,81	31.657,08	415.625,95
26	2039	4.603,35	5.328,36	656,24	653,26	11.241,21	0,045	705.776,19	31.498,79	435.883,53
27	2040	4.718,43	5.648,06	669,37	672,86	11.708,72	0,045	702.247,31	31.341,30	455.516,11
28	2041	4.836,39	5.986,95	682,75	693,04	12.199,14	0,045	698.736,08	31.184,59	474.501,57
29	2042	4.957,30	6.346,16	696,41	713,83	12.713,71	0,045	695.242,40	31.028,67	492.816,53
30	2043	5.081,23	6.726,93	710,34	735,25	13.253,75	0,024	691.766,18	16.533,21	496.095,99

Taula 33. Balanç econòmic dels primers 30 anys

Ara es presenta per els 10 anys restants:

Anys	Any real	Costos					Beneficis			
		Inversió inicial (€)	Reserva (€)	Peatge o impostos (€)	Cànon aigua de l'ACA (€)	Costos anuals (€)	Preu kWh generat (€)	Energia anual (kWh)	Beneficis anuals (€)	Balanç final (€)
		248.300,19								
Preu Manteniment instal·lació (€)										
31	2044	5.208,26	7.130,55	724,54	757,31	13.820,66	0,024	688.307,35	16.450,55	498.725,87
32	2045	5.338,47	7.558,38	739,04	780,03	14.415,91	0,024	684.865,82	16.368,29	500.678,25
33	2046	5.471,93	8.011,89	753,82	803,43	15.041,06	0,024	681.441,49	16.286,45	501.923,64
34	2047	5.608,73	8.492,60	768,89	827,53	15.697,75	0,024	678.034,28	16.205,02	502.430,91
35	2048	5.748,95	9.002,15	784,27	852,35	16.387,73	0,024	674.644,11	16.123,99	502.167,17
36	2049	5.892,67	9.542,28	799,96	877,93	17.112,84	0,024	671.270,89	16.043,37	501.097,71
37	2050	6.039,99	10.114,82	815,95	904,26	17.875,03	0,024	667.914,53	15.963,16	499.185,84
38	2051	6.190,99	10.721,71	832,27	931,39	18.676,36	0,024	664.574,96	15.883,34	496.392,81
39	2052	6.345,76	11.365,01	848,92	959,33	19.519,03	0,024	661.252,09	15.803,92	492.677,71
40	2053	6.504,41	12.046,91	865,90	988,11	20.405,33	0,024	657.945,83	15.724,91	487.997,28

Taula 34. Balanç econòmic des de els 30 als 40 anys

Mirant l'evolució dels primers 30 anys, observem que es necessiten uns 9 anys per amortitzar tots els costos. El balanç anual des de els 9 anys fins als 30 anys es manté entre uns 35.000 i 30.000 €, en canvi, els costos es van incrementant degut a la pujada del manteniment, dels impostos i del cànon d'aigua.

La raó principal d'aquests beneficis, és que la maquinària es troba en un estat òptim i l'energia generada a la central és la màxima possible, tot i que, a mesura que passen els anys els beneficis anuals van disminuint especialment a partir dels 30 anys quan els beneficis per l'energia produïda es veu reduïda fins a la meitat segons la tarifa regulada seleccionada i l'energia generada per la instal·lació es veu minimitzat degut a l'envelliment de les màquines.

Després dels 30 anys els beneficis anuals disminueixen al voltant d'uns 15.000 € i els costos de manteniment i reserva són bastant considerables degut a que per l'estat d'envelliment de les màquines i la instal·lació elèctrica es possible que apareguin més avaries i el número de reparacions s'incrementi considerablement.

Aquest fet ens faria replantejar-nos un canvi de la maquinària o una disminució de l'energia generada sempre i quan obtinguéssim un balanç econòmic final positiu.

A continuació, es marquen una sèrie de punts per tornar a obtenir un balanç positiu quan la central ha estat en funcionament més de 25 o 30 anys: Canviar les màquines més envellides per a tornar a generar un màxim d'energia, canviar a un altre tarifa que ens pagui un preu més elevat per kWh produït, disminuir els costos de manteniment i reserva amb el canvi de la maquinària i estudiar si és viable produir menys quantitat de kWh per a augmentar el balanç final.

Per últim, cal remarcar els criteris assignats en l'evolució econòmica respecte als ingressos i als costos.

Per el preu del cost del manteniment i de la reserva, inicialment hem de pagar un % determinat de tota la instal·lació. Posteriorment, amb el pas dels anys aquests preus de manteniment i reserva ens van augmentant. Amb el preu de cànon d'aigua i el peatge, al principi en tenim un de fixat però a mesura que transcorren els anys es va incrementant.

Tot seguit, s'exposen les condicions imposades en l'evolució econòmica:

Condicionants segons el període		
Concepte	Increment	Període
Manteniment 1er any	1,00%	de la inversió
Manteniment anys següents	2,50%	any anterior
Reserva 1er any	0,50%	de la inversió
Reserva anys següents	6,00%	any anterior
Peatge o impostos	2,00%	any anterior
Canon aigua de l'ACA	3,00%	any anterior
Energia generada	-0,50%	any anterior

Taula 35. Criteris en l'evolució econòmica

Finalment, el balanç final econòmic es calcula a partir de la resta als beneficis obtinguts dels costos i de la inversió inicial de tota la instal·lació. És important tenir en compte, que la variació de les variables per els costos i els beneficis, els seus percentatges estan aplicats per a poder veure un comportament que s'acosti el màxim possible a la realitat.