

DOCUMENTO II.

CALCULOS

JUSTIFICATIVOS



INDICE CALCULOS JUSTIFICATIVOS.

II. Cálculos Justificativos	4
II.1. ESTUDIO DE LA MÁQUINA.	4
II.1.1. Curva de potencia del aerogenerador.	4
II.1.2. Producción de un aerogenerador.	4
II.1.3. Calculo de la producción de las diversas opciones de mercado en nuestro emplazamiento.	5
II.1.3.1. Horas equivalentes.	17
II.2. ELECCIÓN DEL AEROGENERADOR.	18
II.2.1. Condicionantes de logística de accesos.	18
II.2.2. Condicionantes de tipo legal y técnico.	19
II.2.3. Condicionantes de viento.	19
II.2.4. Condicionantes de tipo económico.	19
II.2.5. Análisis de los condicionantes y decisión final.	20
II.3. CÁLCULO LINEA MEDIA TENSIÓN DENTRO DE LA INSTALACIÓN.	22
II.4. INTENSIDAD E ALTA TENSIÓN.	25
II.5. CORTOCIRCUITOS.	25
II.5.1. Observaciones.	25
II.5.2. Cálculo de las corrientes de Cortocircuito.	26
II.5.3. Cortocircuito en el lado de Alta Tensión.	26
II.6. DIMENSIONES DEL EMBARRADO.	26
II.6.1. Comprobación por densidad de corriente.	27
II.6.2. Comprobación por sollicitación electrodinámica.	27
II.6.3. Comprobación por sollicitación térmica. Sobreintensidad térmica admisible.	27
II.7. PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS Y CORTOCIRCUITOS.	28
II.7.1. Selección de las protecciones.	28



II.8. DIMENSIONADO DE LA VENTILACIÓN DEL CENTRO DE SECCIONAMIENTO.	28
II.9. CALCULO DE LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA.	28
II.9.1. Investigación de las características del suelo.	28
II.9.2. Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y tiempo máximo correspondiente de eliminación de defecto.	28
II.9.3. Diseño Preliminar de la instalación de tierra.	29
II.9.4. Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.	30
II.9.5. Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación.	31
II.9.6. Calculo de las tensiones en el interior de la instalación.	31
II.10. CALCULO DE LAS TENSIONES APLICADAS.	32
II.11. INVESTIGACION DE TENSIONES TRANSFERIBLES AL EXTERIOR.	34
II.12. CORRECCION Y AJUSTE DEL DISEÑO ESTABLECIENDO EL DEFINITIVO.	34
II.13. CALCULO DE ELEMENTOS SECUNDARIOS PARA GENERACION Y ALMACENAJE DE ENERGÍA.	34
II.13.1. ENERGÍA ALMACENADA MEDIANTE BATERIAS.	35
II.13.2. GRUPO ELECTROGENO	35



II.1. ESTUDIO DE LA MAQUINA.

II.1.1. Curva de potencia del aerogenerador.

La producción de energía de un aerogenerador se calcula aplicando la curva de potencia de la máquina, proporcionada por el fabricante, a la curva de distribución de velocidades de viento, obtenidas en la memoria, a partir de los datos de medida y mediante la Ley de distribución de Weibull.

La curva de potencia viene reflejada de forma continua, es decir para cada velocidad del viento, se conoce la potencia que da el aerogenerador. Como ya hemos mencionado es una información que proporciona el fabricante en forma de tabla ó de grafica. Dando el valor de la potencia para valores puntuales de la velocidad.

Estos valores puntuales deben de ser los de referencia para comparar con la curva de distribución de velocidades.

II.1.2. Producción de un aerogenerador.

Una vez conocemos la frecuencia de velocidades (f_i) y la potencia (P_i) para dichas velocidades, la producción del aerogenerador sería, en forma discreta:

$$P = \sum_i^n P_i x f_i$$

En nuestro caso, a partir de la Ley de distribución de Weibull obtenemos las frecuencias para cada velocidad, y de estas el número de horas al año de su aparición anual, multiplicando la frecuencia por las 8760 horas totales en un año y dividiendo por cien.

Siguiendo la formula anterior, al multiplicar la potencia para una velocidad concreta (curva de potencia del aerogenerador), por el número de horas de aparición de esta velocidad, y realizando el sumatorio total para todos los valores de velocidad, obtenemos la potencia bruta anual que conseguiríamos con esa maquina concreta.



II.1.3. Calculo de la producción de las diversas opciones de mercado en nuestro emplazamiento.

Para la elección de la máquina idónea, hemos realizado el estudio de 11 aerogeneradores. Siendo estos los más representativos del mercado, dentro de nuestras necesidades.

Debemos considerar que no debemos sobrepasar el límite de los 3 MW. Por lo tanto, consideramos 5 opciones:

1) Tres elementos de potencia nominal 850 kW:

- Gamesa (G-52)

2) Tres elementos de potencia nominal 1000 kW:

- Mitsubishi (MWT-1000)

- Führlander (FL-1000 PLUS)

3) Dos elementos de potencia nominal 1500 kW:

- Acciona Windpower (AW-77/1500 clase III)

- Repower (MD-70)

- Nordex (S-70)

- General Electric (GE-1,5 S)

- Führlander (FL-1500)

4) Un elemento de potencia nominal 1650 kW:

- M.Torres (TWT-1650-78)

5) Un elemento de potencia nominal 2000 kW:

- Gamesa (G-87)

- Enercon (E-70)



En las siguientes tablas obtenemos las producciones anuales para cada una de estos aerogeneradores:

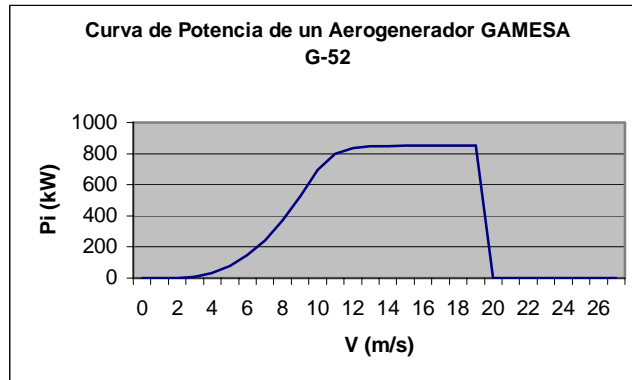


Figura 8.

Gamesa G-52 (0,85 MW)				
v(m/s)	Probabilidad	hi (horas)	Pi (kW)	Producción (kWh)
0	0,6	52,2	0	0
1	3,9	339,2	0	0
2	6,2	544,2	0	0
3	7,8	684,1	9,7	6635,77
4	8,8	768,3	31,2	23970,96
5	9,2	804	78,4	63033,6
6	9,1	799,1	148,2	118426,62
7	8,7	762,4	242,7	185034,48
8	8,0	702,7	368,8	259155,76
9	7,2	628,4	525,3	330098,52
10	6,2	546,9	695	380095,5
11	5,3	464,2	796,6	369781,72
12	4,4	385	835,9	321821,5
13	3,6	312,4	846,8	264540,32
14	2,8	248,3	849,3	210881,19
15	2,2	193,4	849,9	164370,66
16	1,7	147,9	850	125715
17	1,3	111	850	94350
18	0,9	81,8	850	69530
19	0,7	59,3	850	50405
20	0,5	42,2	0	0
21	0,3	29,6	0	0
22	0,2	20,4	0	0
23	0,2	13,8	0	0
24	0,1	9,2	0	0
25	0,1	6,1	0	0
26	0,0	3,9	0	0
>26,5	0	0	0	0
	100,0	8760		3037846,6
Potencia bruta de la instalación = 3037,85 * 3 = 9113,55 (MWh)				

Tabla 5.

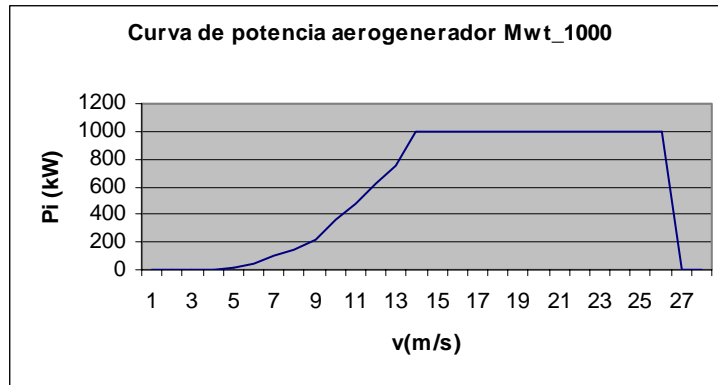


Figura 9

Mwt_1000				
V(m/s)	Probabilidad	hi (horas)	Pi (kW)	Producción (kWh)
0	0,6	52,2	0	0
1	3,9	339,2	0	0
2	6,2	544,2	0	0
3	7,8	684,1	0	0
4	8,8	768,3	20	15366
5	9,2	804	50	40200
6	9,1	799,1	100	79910
7	8,7	762,4	150	114360
8	8,0	702,7	220	154594
9	7,2	628,4	360	226224
10	6,2	546,9	480	262512
11	5,3	464,2	620	287804
12	4,4	385	750	288750
13	3,6	312,4	1000	312400
14	2,8	248,3	1000	248300
15	2,2	193,4	1000	193400
16	1,7	147,9	1000	147900
17	1,3	111	1000	111000
18	0,9	81,8	1000	81800
19	0,7	59,3	1000	59300
20	0,5	42,2	1000	42200
21	0,3	29,6	1000	29600
22	0,2	20,4	1000	20400
23	0,2	13,8	1000	13800
24	0,1	9,2	1000	9200
25	0,1	6,1	1000	6100
26	0,0	3,9	0	0
>26,5	0	0	0	0
	100,0	8760		2745120
Potencia bruta de la instalación = 2745,12 * 3 = 8235,36(MWh)				

Tabla 6.

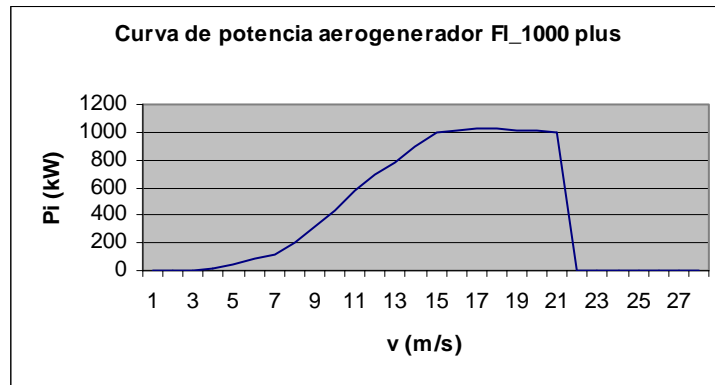


Figura 10.

FI_1000 plus				
V(m/s)	Probabilidad	hi (horas)	Pi (kW)	Producción (kWh)
0	0,6	52,2	0	0
1	3,9	339,2	0	0
2	6,2	544,2	0	0
3	7,8	684,1	10	6841
4	8,8	768,3	40	30732
5	9,2	804	80	64320
6	9,1	799,1	120	95892
7	8,7	762,4	200	152480
8	8,0	702,7	320	224864
9	7,2	628,4	430	270212
10	6,2	546,9	585	319936,5
11	5,3	464,2	690	320298
12	4,4	385	780	300300
13	3,6	312,4	900	281160
14	2,8	248,3	995	247058,5
15	2,2	193,4	1010	195334
16	1,7	147,9	1030	152337
17	1,3	111	1020	113220
18	0,9	81,8	1010	82618
19	0,7	59,3	1005	59596,5
20	0,5	42,2	1000	42200
21	0,3	29,6	0	0
22	0,2	20,4	0	0
23	0,2	13,8	0	0
24	0,1	9,2	0	0
25	0,1	6,1	0	0
26	0,0	3,9	0	0
>26,5	0	0	0	0
	100,0	8760		2959399,5
Potencia bruta de la instalación = 2959,4 * 3 = 8878,2 (MWh)				

Tabla 7.

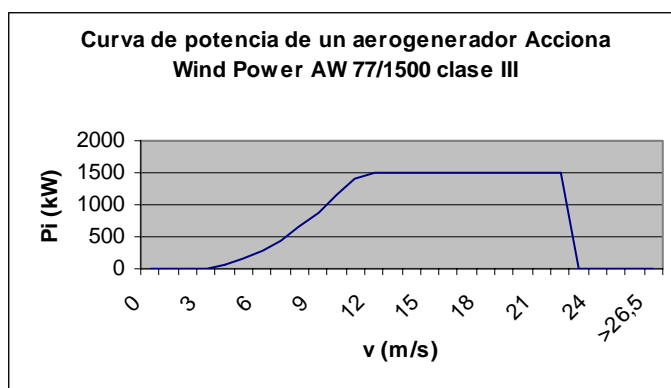


Figura 11.

Acciona Wind Power AW 77 / 1500 clase III				
V(m/s)	Probabilidad	hi (horas)	Pi (kW)	Producción (kWh)
0	0,6	52,2	0	0
1	3,9	339,2	0	0
2	6,2	544,2	0	0
3	7,8	684,1	11,1	7593,51
4	8,8	768,3	68	52244,4
5	9,2	804	154,5	124218
6	9,1	799,1	271	216556,1
7	8,7	762,4	430,5	328213,2
8	8,0	702,7	640,8	450290,16
9	7,2	628,4	880,5	553306,2
10	6,2	546,9	1142	624559,8
11	5,3	464,2	1395	647559
12	4,4	385	1500	577500
13	3,6	312,4	1500	468600
14	2,8	248,3	1500	372450
15	2,2	193,4	1500	290100
16	1,7	147,9	1500	221850
17	1,3	111	1500	166500
18	0,9	81,8	1500	122700
19	0,7	59,3	1500	88950
20	0,5	42,2	1500	63300
21	0,3	29,6	1500	44400
22	0,2	20,4	1500	30600
23	0,2	13,8	0	0
24	0,1	9,2	0	0
25	0,1	6,1	0	0
26	0,0	3,9	0	0
>26,5	0	0	0	0
	100,0	8760		5451490,37
Potencia bruta de la instalación = 5451,5 * 2 = 10903 (MWh)				

Tabla 8.

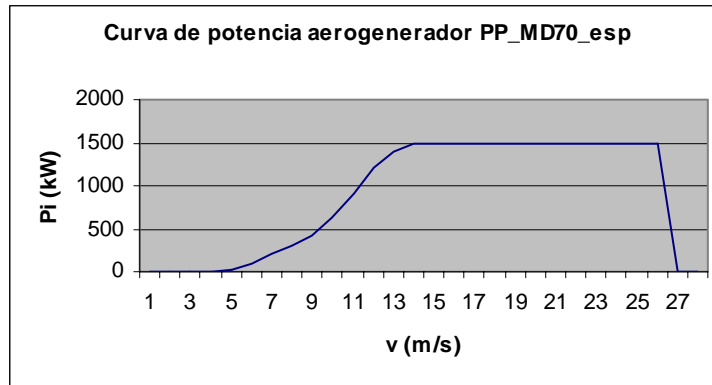


Figura 12.

PP_MD70_esp				
v(m/s)	Probabilidad	hi (horas)	Pi (kW)	Producción (kWh)
0	0,6	52,2	0	0
1	3,9	339,2	0	0
2	6,2	544,2	0	0
3	7,8	684,1	0	0
4	8,8	768,3	13,5	10372,05
5	9,2	804	100	80400
6	9,1	799,1	200	159820
7	8,7	762,4	300	228720
8	8,0	702,7	420	295134
9	7,2	628,4	630	395892
10	6,2	546,9	910	497679
11	5,3	464,2	1200	557040
12	4,4	385	1400	539000
13	3,6	312,4	1500	468600
14	2,8	248,3	1500	372450
15	2,2	193,4	1500	290100
16	1,7	147,9	1500	221850
17	1,3	111	1500	166500
18	0,9	81,8	1500	122700
19	0,7	59,3	1500	88950
20	0,5	42,2	1500	63300
21	0,3	29,6	1500	44400
22	0,2	20,4	1500	30600
23	0,2	13,8	1500	20700
24	0,1	9,2	1500	13800
25	0,1	6,1	1500	9150
26	0,0	3,9	0	0
>26,5	0	0	0	0
	100,0	8760		4677157,05
Potencia bruta de la instalación = 4677,16 * 2 = 9354,32 (MWh)				

Tabla 9.

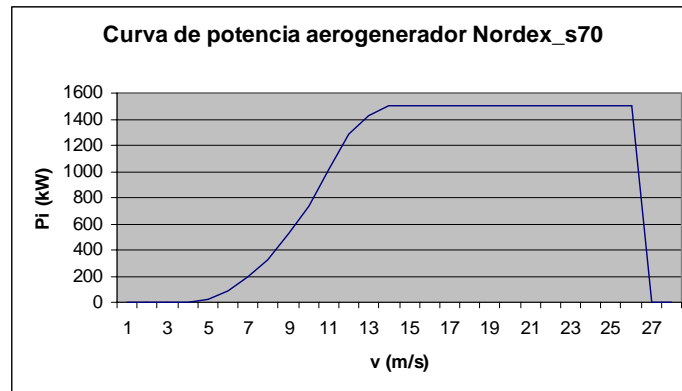


Figura 13.

Nordex_s70				
v(m/s)	Probabilidad	hi (horas)	Pi (kW)	Producción (kWh)
0	0,6	52,2	0	0
1	3,9	339,2	0	0
2	6,2	544,2	0	0
3	7,8	684,1	0	0
4	8,8	768,3	24	18439,2
5	9,2	804	87	69948
6	9,1	799,1	190	151829
7	8,7	762,4	329	250829,6
8	8,0	702,7	531	373133,7
9	7,2	628,4	736	462502,4
10	6,2	546,9	1016	555650,4
11	5,3	464,2	1284	596032,8
12	4,4	385	1426	549010
13	3,6	312,4	1500	468600
14	2,8	248,3	1500	372450
15	2,2	193,4	1500	290100
16	1,7	147,9	1500	221850
17	1,3	111	1500	166500
18	0,9	81,8	1500	122700
19	0,7	59,3	1500	88950
20	0,5	42,2	1500	63300
21	0,3	29,6	1500	44400
22	0,2	20,4	1500	30600
23	0,2	13,8	1500	20700
24	0,1	9,2	1500	13800
25	0,1	6,1	1500	9150
26	0,0	3,9	0	0
>26,5	0	0	0	0
	100,0	8760		4940475,1
Potencia bruta de la instalación = 4940,47 * 2 = 9880,94 (MWh)				

Tabla 10.

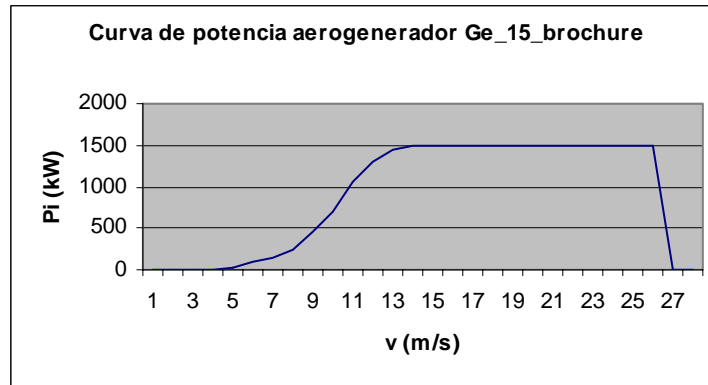


Figura 14.

Ge_15_brochure				
v(m/s)	Probabilidad	hi (horas)	Pi (kW)	Producción (kWh)
0	0,6	52,2	0	0
1	3,9	339,2	0	0
2	6,2	544,2	0	0
3	7,8	684,1	0	0
4	8,8	768,3	20	15366
5	9,2	804	100	80400
6	9,1	799,1	150	119865
7	8,7	762,4	240	182976
8	8,0	702,7	450	316215
9	7,2	628,4	700	439880
10	6,2	546,9	1050	574245
11	5,3	464,2	1300	603460
12	4,4	385	1450	558250
13	3,6	312,4	1500	468600
14	2,8	248,3	1500	372450
15	2,2	193,4	1500	290100
16	1,7	147,9	1500	221850
17	1,3	111	1500	166500
18	0,9	81,8	1500	122700
19	0,7	59,3	1500	88950
20	0,5	42,2	1500	63300
21	0,3	29,6	1500	44400
22	0,2	20,4	1500	30600
23	0,2	13,8	1500	20700
24	0,1	9,2	1500	13800
25	0,1	6,1	1500	9150
26	0,0	3,9	0	0
>26,5	0	0	0	0
	100,0	8760		4803757
Potencia bruta de la instalación = 4803,76 * 2 = 9607,52 (MWh)				

Tabla 11.

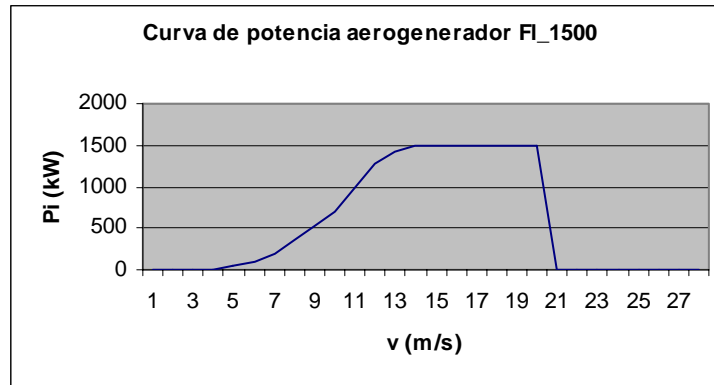


Figura 15.

FI_1500				
v(m/s)	Probabilidad	hi (horas)	Pi (kW)	Producción (kWh)
0	0,6	52,2	0	0
1	3,9	339,2	0	0
2	6,2	544,2	0	0
3	7,8	684,1	10	6841
4	8,8	768,3	50	38415
5	9,2	804	100	80400
6	9,1	799,1	200	159820
7	8,7	762,4	360	274464
8	8,0	702,7	530	372431
9	7,2	628,4	710	446164
10	6,2	546,9	1000	546900
11	5,3	464,2	1280	594176
12	4,4	385	1430	550550
13	3,6	312,4	1500	468600
14	2,8	248,3	1500	372450
15	2,2	193,4	1500	290100
16	1,7	147,9	1500	221850
17	1,3	111	1500	166500
18	0,9	81,8	1500	122700
19	0,7	59,3	1500	88950
20	0,5	42,2	0	0
21	0,3	29,6	0	0
22	0,2	20,4	0	0
23	0,2	13,8	0	0
24	0,1	9,2	0	0
25	0,1	6,1	0	0
26	0,0	3,9	0	0
>26,5	0	0	0	0
	100,0	8760		4801311
Potencia bruta de la instalación = 4801,31 * 2 = 9602,62 (MWh)				

Tabla 12.

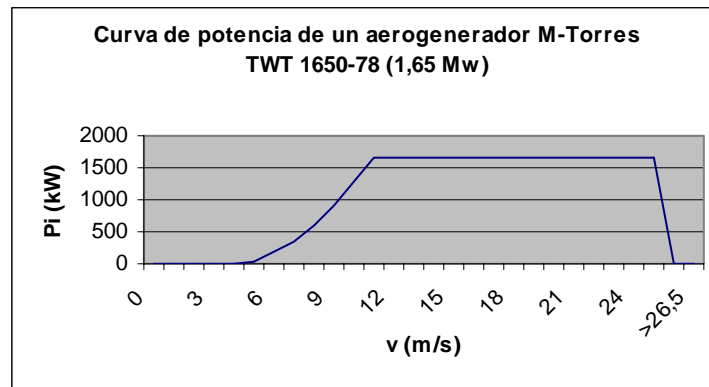


Figura 16.

M-Torres TWT 1650-78 (1,65 MW)				
v(m/s)	Probabilidad	hi (horas)	Pi (kW)	Producción (kWh)
0	0,6	52,2	0	0
1	3,9	339,2	0	0
2	6,2	544,2	0	0
3	7,8	684,1	0	0
4	8,8	768,3	0	0
5	9,2	804	46	36984
6	9,1	799,1	174	139043,4
7	8,7	762,4	352	268364,8
8	8,0	702,7	590	414593
9	7,2	628,4	895	562418
10	6,2	546,9	1275	697297,5
11	5,3	464,2	1650	765930
12	4,4	385	1650	635250
13	3,6	312,4	1650	515460
14	2,8	248,3	1650	409695
15	2,2	193,4	1650	319110
16	1,7	147,9	1650	244035
17	1,3	111	1650	183150
18	0,9	81,8	1650	134970
19	0,7	59,3	1650	97845
20	0,5	42,2	1650	69630
21	0,3	29,6	1650	48840
22	0,2	20,4	1650	33660
23	0,2	13,8	1650	22770
24	0,1	9,2	1650	15180
25	0,1	6,1	1650	10065
26	0,0	3,9	0	0
>26,5	0	0	0	0
	100,0	8760		5624290,7
Potencia bruta de la instalación = 5624,3 * 1 = 5624,3 (MWh)				

Tabla 13.

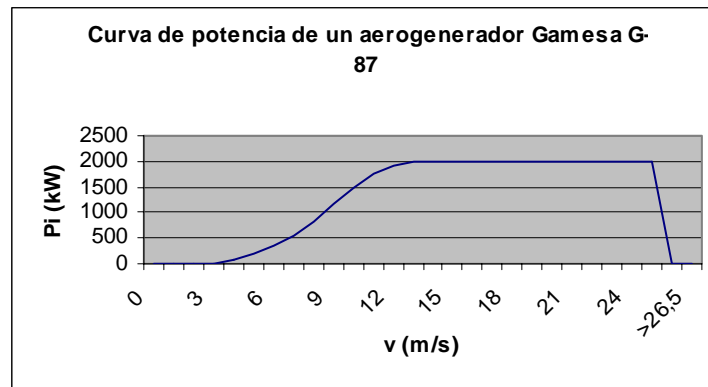


Figura 17.

Gamesa G-87 (2 MW)				
v(m/s)	Probabilidad	hi (horas)	Pi (kW)	Producción (kWh)
0	0,6	52,2	0	0
1	3,9	339,2	0	0
2	6,2	544,2	0	0
3	7,8	684,1	0	0
4	8,8	768,3	83,1	63845,73
5	9,2	804	182,2	146488,8
6	9,1	799,1	335	267698,5
7	8,7	762,4	544,3	414974,32
8	8,0	702,7	818,9	575441,03
9	7,2	628,4	1154,5	725487,8
10	6,2	546,9	1501	820896,9
11	5,3	464,2	1769,8	821541,16
12	4,4	385	1918,3	738545,5
13	3,6	312,4	1977	617614,8
14	2,8	248,3	1994,7	495284,01
15	2,2	193,4	1999	386606,6
16	1,7	147,9	1999,8	295770,42
17	1,3	111	2000	222000
18	0,9	81,8	2000	163600
19	0,7	59,3	2000	118600
20	0,5	42,2	2000	84400
21	0,3	29,6	2000	59200
22	0,2	20,4	2000	40800
23	0,2	13,8	2000	27600
24	0,1	9,2	2000	18400
25	0,1	6,1	2000	12200
26	0,0	3,9	0	0
>26,5	0	0	0	0
	100,0	8760		7116995,57
Potencia bruta de la instalación = 7117 * 1 = 7117 (MWh)				

Tabla 14.

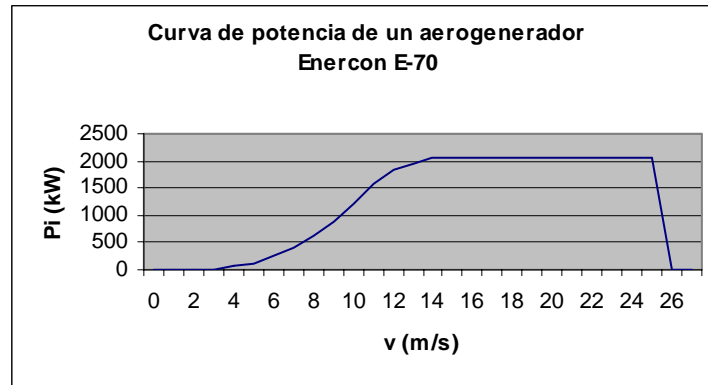


Figura 18.

ENERCON E-70 (2MW)				
v(m/s)	Probabilidad	hi (horas)	Pi (kW)	Producción (kWh)
0	0,6	52,2	0	0
1	3,9	339,2	0	0
2	6,2	544,2	2	1088,4
3	7,8	684,1	18	12313,8
4	8,8	768,3	56	43024,8
5	9,2	804	127	102108
6	9,1	799,1	240	191784
7	8,7	762,4	400	304960
8	8,0	702,7	626	439890,2
9	7,2	628,4	892	560532,8
10	6,2	546,9	1223	668858,7
11	5,3	464,2	1590	738078
12	4,4	385	1830	704550
13	3,6	312,4	1950	609180
14	2,8	248,3	2050	509015
15	2,2	193,4	2050	396470
16	1,7	147,9	2050	303195
17	1,3	111	2050	227550
18	0,9	81,8	2050	167690
19	0,7	59,3	2050	121565
20	0,5	42,2	2050	86510
21	0,3	29,6	2050	60680
22	0,2	20,4	2050	41820
23	0,2	13,8	2050	28290
24	0,1	9,2	2050	18860
25	0,1	6,1	2050	12505
26	0,0	3,9	0	0
>26,5	0	0	0	0
	100,0	8760		6350518,7
Potencia bruta de la instalación = 6350,52 * 1 = 6350,52 (MWh)				

Tabla 15.



II.1.3.1. Horas equivalentes.

Con este concepto conocemos el número total de horas al año que, con el aerogenerador a la potencia nominal, produciría la misma energía que en las condiciones reales de funcionamiento.

Será un factor a tener en cuenta únicamente cuando obtengamos dos o más opciones de producción similar.

Aunque no será determinante, ya que la elección de la máquina depende de otros factores como el económico, el impacto ambiental, entre otros.

Con esto la producción de un aerogenerador puede establecerse mediante la siguiente expresión:

$$\text{Producción (kWh)} = \text{Potencia Nominal (kW)} \times \text{Horas Equivalentes.}$$

Despejando obtenemos para cada una de nuestras opciones:

$$\text{Horas equivalentes} = \text{Producción (kWh)} / \text{Potencia Nominal (kW)}$$

Aerogenerador	Producción (kWh)	Potencia Nominal (kW)	Horas equivalentes
Gamesa (G-52)	3037846,6	850	3573,94
Mitsubishi (MWT 1000)	2745120	1000	2745,12
Führlander (FI 1000 plus)	2959399,5	1000	2959,4
Ingetur (IT-77)	5451490,37	1500	3634,33
Repower (MD70)	4677157,05	1500	3118,1
Nordex (S70)	4940475,1	1500	3293,65
GE (1,5S)	4803757	1500	3.202,50
Fuhrlander (1500)	4801311	1500	3.200,87
M.Torres (1650-78)	5624290,7	1650	3.408,66
Gamesa (G-87)	7116995,57	2000	3.558,50
Enercon (E70)	6350518,7	2050	3.097,81



II.2. ELECCIÓN DEL AEROGENERADOR.

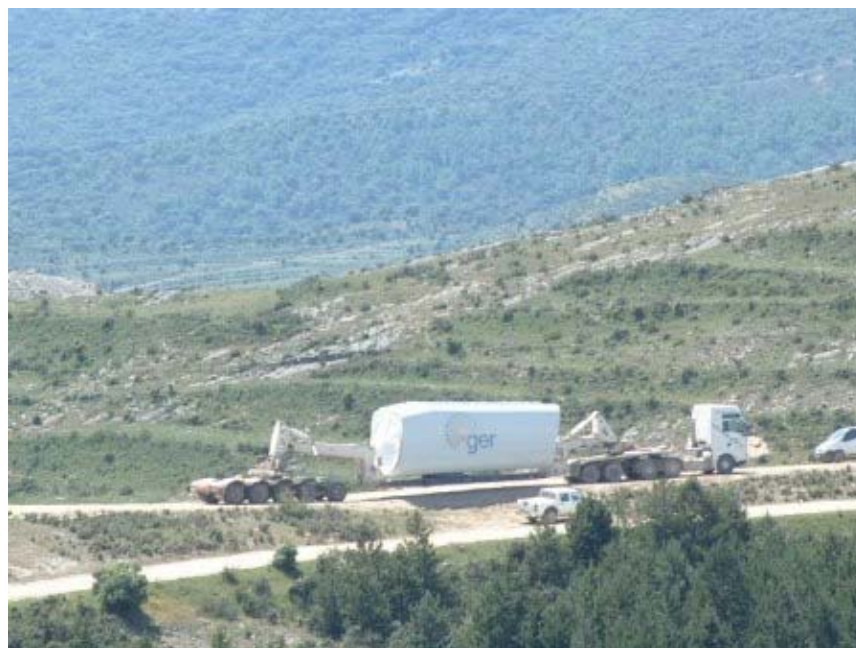
Dentro de toda la gama de posibilidades que hemos analizado, la decisión última dependerá de los siguientes factores:

II.2.1. Condicionantes de logística de accesos, dado que en algunos emplazamientos no se puede llegar con los medios de transporte actuales, o bien el coste puede ser limitativo.

La orografía del terreno permite el transporte e instalación de máquinas con un diámetro de rotor máximo de 80 metros, con las modificaciones y acondicionamientos oportunos en los accesos ya existentes.

Cabe destacar en nuestro proyecto, que en dicho sistema montañoso existen instalaciones de radio televisión, de aquí los óptimos accesos.

No obstante, serán mas económicas las opciones de transporte de maquinas de diámetro menor.





II.2.2. Condicionantes de tipo legal y técnico, principalmente medioambientales y energéticos.

En este punto es más influyente el factor medioambiental. Medio ambiente recomienda maquinas de mayor diámetro para obtener una producción mayor con un mínimo de unidades instaladas.

En nuestro caso, al tratarse de un mini parque eólico, en el que el número de máquinas oscilara entre 1 y 3, esta restricción no nos influirá.

Por otra parte, medio ambiente se contradice según cada situación particular, ya que un menor diámetro influye menos en el impacto ambiental sobre la fauna.

II.2.3. Condicionantes de viento, velocidad media, distribución de la velocidad, turbulencias, frecuencia e intensidad de las ráfagas, etc.

Factor que ya hemos estudiado en el apartado de recurso eólico.

Si solo tuviésemos en cuenta este condicionante sería muy sencillo la elección de la máquina, ya que solo habría que fijarse en la producción energética de cada una de las opciones.

II.2.4. Condicionantes de tipo económico, precio de los aerogeneradores, coste del transporte y la instalación.

Es el condicionante más influyente en este y en todo proyecto. A pesar de obtener una solución que cumpla los tres condicionantes anteriores, el de tipo económico podría desechar dicha opción.

Hay que tener en cuenta que una máquina de mayor diámetro bajo condiciones normales, obtendrá una mayor producción. Pero es posible que su rentabilidad, al tener en cuenta tanto su precio, como el precio de su instalación, montaje y mantenimiento, no sea tal. Y se consideraría una opción de menor producción pero de mayor rentabilidad.



Según la siguiente tabla podremos tener en cuenta un orden de magnitud de los precios unitarios de los aerogeneradores:

Aerogenerador	Diámetro Rotor (m)	Altura Torre (m)	Pot. (MW)	Precio (€)
GAMESA G-52	52	79,5	0,85	610.000
FÜHRLANDER 1000 PLUS	58	85	1,00	715.000
ACCIONA POWER AN77	77	61,4	1,50	1.000.000
M.TORRES (1650-78)	78	80	1,65	1.120.000
ENERCON E-70	70	65	2,00	1.400.000

Tabla 16.

II.2.5 Análisis de los condicionantes y decisión final.

Intentando armonizar todos estos condicionantes, obtenemos esta conclusión en la elección de la máquina:

Desechamos la opción de 2000 kW, ya que no cumple ninguno de los condicionantes:

- **Diámetro elevado**, que implica transporte mas caro, en el caso de que se apruebe su impacto medio ambiental. La propia máquina es cara.

- **Baja producción**, ya que solo podemos instalar una máquina. La producción unitaria si es elevada, pero la producción neta del mini parque seria escasa.

Por las mismas razones anteriores no consideramos la opción de los 1650 kW.

Opción de 1000 kW: vamos a considerar la máquina Führlander (Fl 1000 plus).

- **Bajo diámetro (58m)**
- **Producción optima.**
- **Opción económica.**

Opción de 1500 kW: consideramos el Acciona Power (AW-77/1500 clase III)

- **Alta producción:** la máxima de todas las opciones.



Opción de 850 kW: con el Gamesa (G-52):

- **Bajo diámetro (52m)**
- **Producción óptima**
- **Opción económica.**

Realizado el análisis de las opciones reducimos la elección a tres máquinas, Gamesa G-52, Führländer (F1 1000 plus) y Acciona Power (AW-77/1500 clase III).

En el caso de la Acciona Power tiene como inconvenientes un elevado coste y un muy probable rechazo por parte de medio ambiente debido a un diámetro elevado.

La máquina Führländer tiene como mayor inconveniente y definitivo para su rechazo que su producción sea en Alemania, no existiendo distribuidores de dicha marca en otros países. Lo que dificulta su comercialización, encareciendo su coste.

De esta forma nos decantaremos por la opción de **Gamesa G-52**, por las siguientes razones:

- Es la más económica de las tres.
- La de menor diámetro, y en consecuencia mejor instalación y transporte. Así como mejor aceptación por parte de Medio Ambiente.
- Producción óptima, comparable a la opción de mayor producción de Acciona Power.
- Es de fabricación española, optimizando su transporte, distribución y comercialización.



II.3. CÁLCULO LÍNEA MEDIA TENSIÓN DENTRO DE LA INSTALACIÓN.

Disposición de los elementos: (Ver plano Tejo – 1.4)

Datos: $P_{\text{aerogenerador}} = 850 \text{ (kW)}$
 $V_{\text{salida}} = 20.000 \text{ (V)}$
Factor de potencia = 1

1) Tramos de la línea:

TRAMO	Leq (Km)
3-2	$0,15 \times 1,05 = 0,1575$
2-1	$0,15 \times 1,05 = 0,1575$
1-CS	$0,222 \times 1,05 = 0,233$

Multiplicamos longitudes por un factor correctivo de 1,05 para considerar longitudes de entrada a los aerogeneradores.

Calculo intensidades para cada tramo:

Tramo 3-2

$$I_{3-2} = \frac{P_{3-2}}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{850 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20.000} = 24,54A$$

Tramo 2-1

$$I_{2-1} = \frac{P_{2-1}}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{2 \cdot 850 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20.000} = 49,07A$$

Tramo 1-CS

$$I_{1-CS} = \frac{P_{1-CS}}{\sqrt{3} \cdot V} = \frac{3 \cdot 850 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot 20.000} = 73,61A$$



2) Selección del cable:

Datos fabricante:

DHZ1 12/20(kW)			
SECCION	R (ohm/Km)	X (ohm/Km)	I adm (A)
95 Al	0,406	0,12	250
240 Al	0,161	0,105	415

Hemos obtenido una I_{max} en la instalación de 73,61 (A). Por lo tanto vamos a considerar el cable 95 Al, con una resistencia (R), reactancia (X) e intensidad máxima admisible (I_{adm}) indicadas en la tabla anterior.

Calculo de la caída de tensión para cada tramo:

Tramo 3-2

$$\Delta V_{32} = Z_{32} \cdot L_{32} \cdot \frac{P_{32}}{V} = 0,403 \left(\frac{\Omega}{Km} \right) \cdot 0,1575(Km) \cdot \frac{850 \cdot 10^3(W)}{20.000(V)} = 2,698(V)$$

$$Z_{32} = R_{32} + X_{32} \cdot tg \cdot \varphi = 0,403 + 0,12 \cdot 0 = 0,403(ohm/km)$$

$$Cos \varphi = 1 \Rightarrow \varphi = 0 \Rightarrow tg \varphi = 0$$

Tramo 2-1

$$\Delta V_{21} = Z_{21} \cdot L_{21} \cdot \frac{P_{21}}{V} = 0,403 \left(\frac{\Omega}{Km} \right) \cdot 0,1575(Km) \cdot \frac{2 \cdot 850 \cdot 10^3(W)}{20.000(V)} = 5,396(V)$$

$$Z_{21} = Z_{32} = 0,403 \left(\frac{\Omega}{Km} \right)$$

Tramo 1-CS

$$\Delta V_{1-CS} = Z_{1-CS} \cdot L_{1-CS} \cdot \frac{P_{1-CS}}{V} = 0,403 \left(\frac{\Omega}{Km} \right) \cdot 0,233(Km) \cdot \frac{3 \cdot 850 \cdot 10^3(W)}{20.000(V)} = 11,97(V)$$

$$Z_{1-CS} = Z_{3-2} = Z_{2-1} = 0,403 \left(\frac{\Omega}{Km} \right)$$



$$\Delta V_{TOTAL} = \Delta V_{3-2} + \Delta V_{2-1} + \Delta V_{1-CS} = 2,698 + 5,396 + 11,97 = 20,06(V)$$

$$\Delta V_{TOTAL}(\%) = 20,06 \cdot \frac{100}{20.000} = 0,1(\%)$$

$$\Delta V_{TOTAL}(\%) \lllll \Delta V_{admisible} = 5\%$$

2) Cálculo de la pérdida de potencia:

Tramo 3-2

$$P_{perd3-2} = 3 \cdot R_{3-2} \cdot I_{3-2}^2 = 3 \cdot 0,403 \cdot (24,54)^2 = 728,074(W)$$

Tramo 2-1

$$P_{perd2-1} = 3 \cdot R_{2-1} \cdot I_{2-1}^2 = 3 \cdot 0,403 \cdot (49,07)^2 = 2.911,11(W)$$

Tramo 1-CS

$$P_{perd1-CS} = 3 \cdot R_{1-CS} \cdot I_{1-CS}^2 = 3 \cdot 0,403 \cdot (73,61)^2 = 6550,88(W)$$

$$P_{perdTOTAL} = P_{perd3-2} + P_{perd2-1} + P_{perd1-CS} = 738,074 + 2.911,11 + 6.550,88 = 10.190,07(W)$$

$P_{perdTOTAL}(\%) = 728,074 \cdot \frac{100}{850 \cdot 10^3} + 2.911,11 \cdot \frac{100}{2 \cdot 850 \cdot 10^3} + 6.550,88 \cdot \frac{100}{3 \cdot 850 \cdot 10^3}$
--

$$P_{perdTOTAL} = 0,514(\%)$$

$$P_{perdTOTAL}(\%) = 0,514\% < P_{perdADM}(\%) = 1\%$$



3) Comprobación:

Tramo 3-2

$$I_{3-2} = \frac{P_{3-2}}{\sqrt{3}(U - \Delta V_{3-2})} = \frac{850 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (20.000 - 2,698)} = 24,54(A)$$

Tramo 2-1

$$I_{2-1} = \frac{P_{2-1}}{\sqrt{3}(U - \Delta V_{2-1})} = \frac{2 \cdot 850 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (20.000 - 5,396)} = 49,08(A)$$

Tramo 1-CS

$$I_{3-SE} = \frac{P_{3-SE}}{\sqrt{3}(U - \Delta V_{3-SE})} = \frac{3 \cdot 850 \cdot 10^3}{\sqrt{3} \cdot (20.000 - 11,97)} = 73,61(A)$$

Variaciones cuasidespreciables en la Intensidad real, debido a las pérdidas por caída de tensión, con respecto a la Intensidad teórica.

II.4. INTENSIDAD DE ALTA TENSIÓN.

La intensidad nominal del Centro de Seccionamiento es la máxima que podrá circular por la apartamta, es decir $I_n = 400 A$.

II.5. CORTOCIRCUITOS.

II.5.1. Observaciones.

Para el cálculo de la intensidad de cortocircuito se determina una potencia de cortocircuito de 350 MVA en la red de distribución, dato proporcionado por IBERDROLA.



II.5.2. Cálculo de las Corrientes de Cortocircuito.

Para la realización del cálculo de las corrientes de cortocircuito utilizaremos las expresiones:

- Intensidad primaria para cortocircuito:

$$I_{ccp} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U}$$

Siendo:

S_{cc} = Potencia de cortocircuito de la red en MVA.

U = Tensión primaria en kV.

I_{ccp} = Intensidad de cortocircuito primaria en kA.

II.5.3. Cortocircuito en el lado de Alta Tensión.

Utilizando la fórmula expuesta anteriormente con:

$S_{cc} = 350$ MVA.

$U = 20$ kV.

y sustituyendo valores tendremos una intensidad máxima para cortocircuito de:

$I_{ccp} = 10.1$ kA.

II.6. DIMENSIONADO DEL EMBARRADO.

Como resultado de los ensayos que han sido realizados a las celdas fabricadas por Schneider Electric no son necesarios los cálculos teóricos ya que con los certificados de ensayo ya se justifican los valores que se indican tanto en esta memoria como en las placas de características de las celdas.



II.6.1. Comprobación por densidad de corriente.

La comprobación por densidad de corriente tiene como objeto verificar que no se supera la máxima densidad de corriente admisible por el elemento conductor cuando por el circule una corriente igual a la corriente nominal máxima.

Para las celdas modelo SM6 seleccionadas para este proyecto se ha obtenido la correspondiente certificación que garantiza cumple con la especificación citada mediante el protocolo de ensayo 51249139XA realizado por VOLTA.

II.6.2. Comprobación por sollicitación electrodinámica.

La comprobación por sollicitación electrodinámica tiene como objeto verificar que los elementos conductores de las celdas incluidas en este proyecto son capaces de soportar el esfuerzo mecánico derivado de un defecto de cortocircuito entre fase.

Para las celdas modelo SM6 seleccionadas para este proyecto se ha obtenido la correspondiente certificación que garantiza cumple con la especificación citada mediante el protocolo de ensayo 51249068XA realizado por VOLTA.

El ensayo garantiza una resistencia electrodinámica de 40kA.

II.6.3. Comprobación por sollicitación térmica. Sobreintensidad térmica admisible.

La comprobación por sollicitación térmica tienen como objeto comprobar que por motivo de la aparición de un defecto o cortocircuito no se producirá un calentamiento excesivo del elemento conductor principal de las celdas que pudiera así dañarlo.

Para las celdas modelo SM6 seleccionadas para este proyecto se ha obtenido la correspondiente certificación que garantiza cumple con la especificación citada mediante el protocolo de ensayo 51249068XA realizado por VOLTA.

El ensayo garantiza una resistencia térmica de 16kA 1 segundo.



II.7. PROTECCIÓN CONTRA SOBRECARGAS Y CORTOCIRCUITOS.

II.7.1. Selección de las protecciones.

No se instalarán fusibles de alta tensión al utilizar como interruptor de protección un disyuntor en atmósfera de hexafluoruro de azufre, y ser éste el aparato destinado a interrumpir las corrientes de cortocircuito cuando se produzcan.

II.8. DIMENSIONADO DE LA VENTILACIÓN DEL CENTRO DE SECCIONAMIENTO.

A pesar de la inexistencia de focos de calor en el interior del prefabricado de hormigón, se dispondrá de dos rejillas para la ventilación del centro. Una de ellas estará situada en la parte frontal superior y la otra en la parte posterior superior, con unas dimensiones cada una de ellas de 1.319 x 321 mm, siendo la superficie total de ventilación de 0.85 m².

II.9. CÁLCULO DE LAS INSTALACIONES DE PUESTA A TIERRA.

II.9.1. Investigación de las características del suelo.

Según la investigación previa del terreno donde se instalará este Centro de Seccionamiento, se determina una resistividad media superficial = 300 Ω.m.

II.9.2. Determinación de las corrientes máximas de puesta a tierra y tiempo máximo correspondiente de eliminación de defecto.

Según los datos de la red proporcionados por la compañía distribuidora (IBERDROLA), el tiempo máximo de eliminación es de 0.7 s. Los valores de K y n para calcular la tensión máxima de contacto aplicada según MIE-RAT 13 en el tiempo de la compañía son:

$$K = 72 \text{ y } n = 1.$$

Por otra parte, los valores de la impedancia de puesta a tierra del neutro, corresponden a:

$$R_n = 0 \text{ } \Omega \text{ y } X_n = 25.4 \text{ } \Omega. \text{ con}$$



$$|Z_n| = \sqrt{R_n^2 + X_n^2}$$

La intensidad máxima de defecto se producirá en el caso hipotético de que la resistencia de puesta a tierra del C.S. sea nula. Dicha intensidad será por tanto igual a:

donde $U_{\max} = 20000 \text{ V}$

con lo que el valor obtenido es $I_d = 454.61 \text{ A}$,

valor que la Compañía redondea a 500 A .

II.9.3. Diseño preliminar de la instalación de tierra.

- Tierra de Protección.

Se conectarán a este sistema las partes metálicas de la instalación que no estén en tensión normalmente pero puedan estarlo a consecuencia de averías o causas fortuitas, tales como los chasis y los bastidores de los aparatos de maniobra, envolventes metálicas de las cabinas prefabricadas y carcasas de los elementos, etc.

Para los cálculos a realizar emplearemos las expresiones y procedimientos según el "Método de cálculo y proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría", editado por UNESA, conforme a las características del centro de seccionamiento objeto del presente cálculo, siendo, entre otras, las siguientes:

Para la tierra de protección optaremos por un sistema de las características que se indican a continuación:

- Identificación: código 5/36 del método de cálculo de tierras de UNESA.

- Parámetros característicos:

$$K_r = 0.0528 \Omega/(\Omega \cdot \text{m}).$$

$$K_p = 0.00853 \text{ V}/(\Omega \cdot \text{m} \cdot \text{A}).$$

- Descripción:

Estará constituida por 3 picas en hilera unidas por un conductor horizontal de cobre desnudo de 50 mm^2 de sección.



Las picas tendrán un diámetro de 14 mm. y una longitud de 6.00 m. Se enterrarán verticalmente a una profundidad de 0.5 m. y la separación entre cada pica y la siguiente será de 9.00 m. Con esta configuración, la longitud de conductor desde la primera pica a la última será de 18 m., dimensión que tendrá que haber disponible en el terreno.

Nota: se pueden utilizar otras configuraciones siempre y cuando los parámetros K_r y K_p de la configuración escogida sean inferiores o iguales a los indicados en el párrafo anterior.

La conexión desde el Centro hasta la primera pica se realizará con cable de cobre aislado de 0.6/1 kV protegido contra daños mecánicos.

II.9.4. Cálculo de la resistencia del sistema de tierras.

- Tierra de Protección.

Para el cálculo de la resistencia de la puesta a tierra de las masas del Centro (R_t), intensidad y tensión de defecto correspondientes (I_d , U_d), utilizaremos las siguientes fórmulas:

Resistencia del sistema de puesta a tierra, R_t :

$$R_t = K_r \cdot \sigma$$

Intensidad de defecto, I_d :

$$I_d = \frac{U_s \max V}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{(R_n + R_t)^2 + X_n^2}}$$

donde $U_{s\max} = 20000$

Tensión de defecto, U_d :

$$U_d = I_d * R_t .$$

Siendo:

$$\sigma = 300 \Omega \cdot m.$$

$$K_r = 0.0528 \Omega / (\Omega \cdot m).$$



se obtienen los siguientes resultados:

$$R_t = 15.8 \Omega.$$

$$I_d = 385.74 \text{ A.}$$

$$U_d = 6110.2 \text{ V.}$$

Comprobamos asimismo la intensidad de defecto calculada es superior a 100 Amperios, lo que permitirá que pueda ser detectada por las protecciones normales.

II.9.5. Cálculo de las tensiones en el exterior de la instalación.

Con el fin de evitar la aparición de tensiones de contacto elevadas en el exterior de la instalación, las puertas y rejas de ventilación metálicas que dan al exterior del centro no tendrán contacto eléctrico alguno con masas conductoras que, a causa de defectos o averías, sean susceptibles de quedar sometidas a tensión.

Con estas medidas de seguridad, no será necesario calcular las tensiones de contacto en el exterior, ya que éstas serán prácticamente nulas.

Por otra parte, la tensión de paso en el exterior vendrá determinada por las características del electrodo y de la resistividad del terreno, por la expresión:

$$U_p = K_p * \sigma * I_d = 0.00853 * 300 * 385.74 = 987.1 \text{ V.}$$

II.9.6. Cálculo de las tensiones en el interior de la instalación.

El piso del Centro estará constituido por un mallazo electrosoldado con redondos de diámetro no inferior a 4 mm. formando una retícula no superior a 0,30 x 0,30 m. Este mallazo se conectará como mínimo en dos puntos preferentemente opuestos a la puesta a tierra de protección del Centro. Con esta disposición se consigue que la persona que deba acceder a una parte que pueda quedar en tensión, de forma eventual, está sobre una superficie equipotencial, con lo que desaparece el riesgo inherente a la tensión de contacto y de paso interior. Este mallazo se cubrirá con una capa de hormigón de 10 cm. de espesor como mínimo.

El edificio prefabricado de hormigón EHC estará construido de tal manera que, una vez fabricado, su interior sea una superficie equipotencial. Todas las



varillas metálicas embebidas en el hormigón que constituyan la armadura del sistema equipotencial estarán unidas entre sí mediante soldadura eléctrica.

Esta armadura equipotencial se conectará al sistema de tierras de protección (excepto puertas y rejillas, que como ya se ha indicado no tendrán contacto eléctrico con el sistema equipotencial; debiendo estar aisladas de la armadura con una resistencia igual o superior a 10.000 ohmios a los 28 días de fabricación de las paredes).

Así pues, no será necesario el cálculo de las tensiones de paso y contacto en el interior de la instalación, puesto que su valor será prácticamente nulo.

No obstante, y según el método de cálculo empleado, la existencia de una malla equipotencial conectada al electrodo de tierra implica que la tensión de paso de acceso es equivalente al valor de la tensión de defecto, que se obtiene mediante la expresión:

$$U_p \text{ acceso} = U_d = R_t * I_d = 15.8 * 385.74 = 6110.2 \text{ V.}$$

II.10 CÁLCULO DE LAS TENSIONES APLICADAS.

La tensión máxima de contacto aplicada, en voltios, que se puede aceptar, según el reglamento MIE-RAT, será:

Siendo:

U_{ca} = Tensión máxima de contacto aplicada en Voltios.

$K = 72$.

$n = 1$.

t = Duración de la falta en segundos: 0.7 s

obtenemos el siguiente resultado:

$$U_{ca} = 102.86 \text{ V}$$

Para la determinación de los valores máximos admisibles de la tensión de paso en el exterior, y en el acceso al Centro, emplearemos las siguientes expresiones:



$$Up(\text{exterior}) = 10 \frac{K}{t^n} \left(1 + \frac{6 \cdot \sigma}{1.000} \right)$$

$$Up(\text{acceso}) = 10 \frac{k}{t^n} \left(1 + \frac{3 \cdot \sigma + 3 \cdot \sigma h}{1.000} \right)$$

Siendo:

Up = Tensiones de paso en Voltios.

$K = 72$.

$n = 1$.

t = Duración de la falta en segundos: 0.7 s

σ = Resistividad del terreno.

σh = Resistividad del hormigón = 3.000 Ω .m

obtenemos los siguientes resultados:

$$Up(\text{exterior}) = 2880 \text{ V}$$

$$Up(\text{acceso}) = 11211.4 \text{ V}$$

Así pues, comprobamos que los valores calculados son inferiores a los máximos admisibles:

- en el exterior:

$$Up = 987.1 \text{ V.} < Up(\text{exterior}) = 2880 \text{ V.}$$

- en el acceso al C.T.:

$$Ud = 6110.2 \text{ V.} < Up(\text{acceso}) = 11211.4 \text{ V.}$$



II.11. INVESTIGACIÓN DE TENSIONES TRANSFERIBLES AL EXTERIOR.

Al no existir medios de transferencia de tensiones al exterior no se considera necesario un estudio previo para su reducción o eliminación.

No obstante, con el objeto de garantizar que el sistema de puesta a tierra de servicio no alcance tensiones elevadas cuando se produce un defecto, existirá una distancia de separación mínima $D_{mín}$, entre los electrodos de los sistemas de puesta a tierra de protección y de servicio, determinada por la expresión:

$$D_{mín} = \sigma * I_d 2.000 * \pi \text{con:}$$

$$\sigma = 300 \Omega.m.$$

$$I_d = 385.74 A.$$

obtenemos el valor de dicha distancia:

$$D_{mín} = 18.42 m.$$

II.12. CORRECCIÓN Y AJUSTE DEL DISEÑO INICIAL ESTABLECIENDO EL DEFINITIVO.

No se considera necesario la corrección del sistema proyectado. No obstante, si el valor medido de las tomas de tierra resultara elevado y pudiera dar lugar a tensiones de paso o contacto excesivas, se corregirían estas mediante la disposición de una alfombra aislante en el suelo del Centro, o cualquier otro medio que asegure la no peligrosidad de estas tensiones.

II.13 CALCULO DE ELEMENTOS SECUNDARIOS PARA GENERACIÓN Y ALMACENAJE DE ENERGIA.

A pesar del tipo de instalación, de generación de energía, y dadas sus características, de producción variable, y de situación aislada, es necesario un sistema de almacenaje y producción ajeno a la instalación.

Como es habitual en centrales de producción de energía renovable, el sistema de almacenaje óptimo es mediante baterías. Aunque esta opción requiere de otro método que le respalde en situaciones críticas en las que la producción del mini parque haya sido nula a lo largo de un tiempo superior al de descarga de las baterías.



Un grupo electrógeno sería el elemento adecuado para complementar a las baterías. Además de obtener energía de forma independiente, sirve para abastecer a aquellas máquinas necesarias en el mantenimiento de la instalación, dada su posibilidad de movilidad por toda su superficie.

II.13.1 Energía almacenada mediante baterías.

Mediante el almacenaje de energía en las baterías, cubriremos las necesidades para el alumbrado en el centro de Seccionamiento, así como el alumbrado de emergencia, y se garantizará el suministro a los sistemas del propio Centro en caso de no existir producción. Además, se podrá emplear para abastecer de corriente a las tomas que se encuentran dentro del edificio del Centro de Seccionamiento, necesarias para la conexión de herramientas, alumbrado portátil, equipos informáticos, y demás elementos para las tareas de mantenimiento del Centro.

Se incluirán 8 baterías para cubrir estas necesidades, consiguiendo además un excedente en caso de descargas ó fallo de alguna de ellas. Almacenarán la energía generada en la instalación ó por el grupo electrógeno, mediante el cargador-inversor.

(Ver características del cargador-inversor y baterías en documentación técnica del Anexo 2).

II.13.2 Grupo Electrógeno.

Será necesario en el mantenimiento de los aerogeneradores, y servirá de apoyo al sistema de baterías.

A lo que se refiere en el mantenimiento, será necesaria la conexión en el grupo electrógeno de máquinas herramientas tales como radiales, destornilladores eléctricos, taladro, taladro percutor, equipo de soldadura, sierra eléctrica, así como la opción de conectar una torre de iluminación.

Así, la demanda de energía para el grupo sería:

- Torre de iluminación: 8 focos de 1,5 kW.
- Taladro: 0,65 kW



- Radial: 1,5 kW
- Taladro percutor: 2 kW
- Sierra eléctrica: 1 kW
- Máquina soldadora: 6 kW
- Lámpara portátil: 0,6 kW

Con lo que, mediante este grupo electrógeno, queda cubierta la necesidad de electricidad para el mantenimiento y para la correcta actividad del Centro de Seccionamiento.