

APÉNDICE E: COMPROBACIONES GEOTÉCNICAS

GEOMETRÍA DE LA CIMENTACIÓN DIRECTA					
PARAMETRO	SÍMBOLO	MAGNITUD	UNIDAD	FÓRMULA	COMENTARIO
Canto zapata	h	4	m		
Longitud = Diámetro	B	30	m		
Ancho = Diámetro	L	30	m		
Profundidad de la cimentación	D	4.5	m		
Diámetro de la base de la torre	D ₃	4.038	m		
Excentricidad	e	2.99	m	e = M / N	
Longitud eficaz	L*	24.01	m	L* = L - 2 · e	
Ancho eficaz = Diámetro eficaz	B*	24.01	m	B* = B - 2 · e	
Área eficaz	A*	452.88	m ²	A* = π · (B*/2) ²	

MATERIALES			
PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD
Peso específico aparente medio del suelo	γ	23.00	kN/m ³
Peso específico del hormigón armado	γ _{norm}	25.00	kN/m ³
Cohesión del suelo	c'	0	kPa
Angulo de rozamiento del suelo	Φ	48	º

CARGAS	Fx [kN]	Fz [kN]	My [kN-m]
Cargas en la base del aerogenerador	2355.34	3998.16	247458.54
Peso propio de la zapata		70685.83	
Peso propio del terreno		7981.60	
Sumatorio de acciones en la base de la cimentación	V	N	M
	2355.34	82665.60	247458.54

SEGURIDAD FRENTE A HUNDIMIENTO					
Factor de seguridad	F	1.82E+03	[-]	$F = p_{vhn} / p_{vn} \geq 3$	
Ancho = Diámetro	B	30.00	m		
Sobrecarga que actúa a nivel del plano de cimentación	q'	103.50	kN/m ²	$q' = D \cdot (\gamma - \gamma_w)$	q' = q ₀
Presión vertical total	p _v	182.53	kN/m ²	$p_v = N / A^*$	
Presión vertical neta	p _{vn}	79.03	kN/m ²	$p_{vn} = p_v - q_0$	
Presión vertical de hundimiento total	p _{vh}	1.437E+05	kN/m ²	$p_{vh} = q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q \cdot d_q \cdot t_q + r_q + c \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c \cdot d_c \cdot t_c + 1/2 \cdot \gamma \cdot B^* \cdot N_y \cdot s_y \cdot i_y \cdot d_y \cdot t_y \cdot r_y$	
Presión vertical de hundimiento neta	p _{vhn}	1.436E+05	kN/m ²	$p_{vhn} = p_{vh} - q_0$	
	N _q	2.223E+02		$N_q = \frac{1 + \text{sen}(\Phi')}{1 - \text{sen}(\Phi')} \cdot e^{\pi \cdot \text{tg}(\Phi')}$	
Factores de capacidad de carga	N _c	1.993E+02		$N_c = (N_q - 1) \cdot \text{cotg} \Phi'$	
	N _y	4.916E+02		$N_y = 2 \cdot (N_q - 1) \cdot \text{tg} \Phi'$	
Factores de forma	s _q	2.116E+00		$s_q = s_c = 1 + \frac{B^*}{L^*} \cdot \frac{N_q}{N_c}$	
	s _c	2.116E+00			
	s _y	0.7		$s_y = 1 - 0.3 \cdot B^*/L^*$	
Factores de inclinación	i _q	1			
	i _c	1		$i_q = i_c = i_y = 1$	Solo hay cargas verticales
	i _y	1			
Factores de profundidad	d _q	1			
	d _c	1		$d_q = d_c = d_y = 1$	Por seguridad
	d _y	1			
Factores de proximidad de la cimentación al talud	t _q	1			
	t _c	1		$t_q = t_c = t_y = 1$	
	t _y	1			
Factores de inclinación del plano de apoyo	r _q	1			
	r _c	1		$r_q = r_c = r_y = 1$	
	r _y	1			

SEGURIDAD FRENTE A DESLIZAMIENTO					
Factor de seguridad	F _d	31.78	[-]	$F_d = \frac{N \cdot \text{tg} \Phi_c + A^* \cdot C_c + R}{V} \geq 1.5$	
Longitud = Diámetro	B	30	m		
Angulo rozamiento zapata-terreno	tg Φ _c	0.89	º	$\text{tg} \Phi_c = 0.8 \cdot \text{tg} \Phi'$	Cimentación ejecutada in situ
Cohesión zapata-terreno	C _c	0	kPa	C _c = c'	
Suma de las posibles resistencias adicionales en la misma dirección y sentido contrario a V	R	1404.80	kN		Se considera únicamente el Empuje pasivo
Coeficiente empuje pasivo	k _p	6.786	[-]	$k_p = \frac{1 + \text{sen}(\Phi')}{1 - \text{sen}(\Phi')}$	
Tensión efectiva vertical z=4.5m	σ _v ' (z=4.5)	103.50	kN/m ²	σ _v ' = σ _v - u	
Empuje pasivo efectivo z=4.5m	e _p ' (z=4.5)	702.40	kN/m ²	$e_p = \sigma_v \cdot k_p + 2 \cdot c' \cdot \sqrt{k_p}$	

SEGURIDAD FRENTE A VUELCO					
Factor de seguridad	F _v	5.02	[-]	$F_v = \frac{\sum M.\text{estabilizadores}}{\sum M.\text{volcadores}} \geq 2$	M.estabilizadores los debidos a la resultante vertical efectiva y del empuje pasivo. M.volcadores los debidos a las componentes horizontales de las acciones.
Longitud = Diámetro	B	30	m		

SEGURIDAD FRENTE A ASIENTO					
Asiento máximo admisible	σ _{adm}	0.05	m		Asiento máximo en losas (GCC)
Asiento producido	σ _{prod}	0.040	m	$s = I_s \cdot q_{tn} \cdot B \cdot (1 - v^2) \cdot 1 / E$	
Comprobación de cumplimiento del asiento	-	CUMPLE	[-]	σ _{prod} < σ _{adm}	
Coeficiente de influencia	I _s	1	[-]		Zapatas circulares
Presión vertical neta	q _{tn}	79.03	kN/m ²	$p_{vn} = p_v - q_0$	q _{tn} = p _{vn}
Presión vertical total	p _v	182.53	kN/m ²	$p_v = N / A^*$	
Carga del suelo en el plano de la cimentación	q'	103.50	kN/m ²	$q' = D \cdot (\gamma - \gamma_w)$	q' = q ₀
Coeficiente de Poisson	v	0.28	[-]		
Modulo de elasticidad	E	43260	kPa		Se considera que es igual al 60% de E de la roca matriz, al estar altamente fracturada
Longitud = Diámetro	B*	24.01	m		

CIMENTACIÓN INDIRECTA - GRAVAS					
25 PILOTES					
PARÁMETRO	SÍMBOLO	VALOR	UNIDAD	FÓRMULA	COMENTARIO
Lado del encepado	B	20	m		
Canto del encepado	H	2	m		
Diámetro del pilote	D	1	m		
Longitud del pilote	L	15	m		
Número de pilotes	n _p	36	[-]		
Separación entre los ejes de los pilotes	s	3.5	m		
Diámetro de la base de la torre	D ₃	4.038	m		
Potencia de terreno sobre el encepado	h	0.5	m		
MATERIALES					
Peso específico del terreno	Y	23	kN/m3		
Peso específico del hormigón	Y _{horm}	25	kN/m3		
Cohesión del suelo	c'	0	kPa		
Angulo de rozamiento del suelo	Φ	48	º		
CARGAS					
	Fx [kN]	Fz [kN]	My [kN·m]		
Cargas en la base del aerogenerador	2355.34	3998.16	247458.54		
Peso propio de los pilotes		10602.88			
Peso propio del encepado		20000.00			
Peso propio del terreno sobre el encepado		4452.73			
Sumatorio de acciones en la base de la cimentación	V [kN] 2355.34	N [kN] 39053.77	M [kN·m] 247458.54		
SEGURIDAD FRENTE A HUNDIMIENTO					
Carga de hundimiento	Q _h	6006.33	kN		
Resistencia por la base	Q _p	316.12	kN	Qp = qp · Ap	
Área de la base	A _p	0.79	m2		
Resistencia unitaria por la base	q _p	27964.48	kN/m ²	qp = Nq · σv' + Nc · c	
	N _q	69.48	-	$Nq = \frac{1 + \operatorname{sen}(\Phi')}{1 - \operatorname{sen}(\Phi')} \cdot e^{\pi \cdot \operatorname{tg}(\Phi')} \cdot f_D$	
Factor de capacidad de carga	N _c	61.66	-	Nc = (Nq - 1) · cotg Φ'	
Factor que tiene en cuenta el efecto del diámetro del pilote en el coeficiente de capacidad de carga	f _D	0.67	m	fD = 1 - 0.33 · D	
Tensión vertical efectiva al nivel de la base	σ _v '	402.50	kN/m ²	σv' = σv - u	
Resistencia por el fuste	Q _f	5690.21	kN	Qf = qf · Af	
Área del fuste	A _f	47.12	m ²		
Resistencia unitaria por el fuste	q _f	120.75	kN/m ²	qf = ca + Ks · σv' · tg δ	Si no se dispone de información se puede tomar Ks · tg δ = 0.3
Adherencia unitaria	c _a	0.00	kPa		
Carga admisible de hundimiento	Q _{adm}	2310.13	kN	Qadm = Qh / 3	
Carga transmitida por cada pilote	Q	1084.83	kN	Q = N / n	
Comprobación de la resistencia de un pilote		CUMPLE		Qadm>Q	
SEGURIDAD FRENTE A VUELCO					
Factor de seguridad	F _v	5.21	[-]	$F_v = \frac{\sum M.\text{estabilizadores}}{\sum M.\text{volcadores}} \geq 2$	M.estabilizadores los debidos a la resultante vertical efectiva y del empuje pasivo. M.volcadores los debidos a las componentes horizontales de las acciones.
Lado del conjunto del terreno con los pilotes	B	18.50	m		Se considera que el terreno y los pilotes constituyen una unidad, que a efectos de calculo se considerada que es una zapata
Canto	h	15	m		
Excentricidad	e	1.68	m	e = M / N' <= B / 6	
Lado del conjunto del terreno con los pilotes efectivos	B*	15.14	m	B* = B - 2 · e	
Lado del conjunto del terreno con los pilotes efectivos	L*	15.14	m	L* = L - 2 · e	
Peso del terreno entre los pilotes	W _{terreno · pilotes}	108321.60	KN		
Suma de las posibles resistencias adicionales en la misma dirección y sentido contrario a V	R	23901.17	kN		Se considera únicamente el Empuje pasivo
Coeficiente empuje pasivo	k _p	6.79	[-]	$k_p = \frac{1 + \operatorname{sen}(\Phi')}{1 - \operatorname{sen}(\Phi')}$	
Tensión efectiva vertical	σ _v '	402.50	kN/m ²	σv' = σv - u	
Empuje pasivo efectivo	e _p '	2731.56	kN/m ₂	$e_p = \sigma_v \cdot k_p + 2 \cdot c \cdot \sqrt{k_p}$	
SEGURIDAD FRENTE A DESLIZAMIENTO					
Factor de seguridad	F _d	26.07	[-]	$F_d = \frac{N \cdot \operatorname{tg} \Phi_c + A \cdot C_c + R}{V} \geq 1.5$	
Angulo rozamiento zapata-terreno	tg Φc	0.96	º	tg Φc = 0.8 · tg Φ'	Cimentación ejecutada in situ
Cohesión zapata-terreno	C _c	0	kPa	Cc = c'	
Suma de las posibles resistencias adicionales en la misma dirección y sentido contrario a V	R	23901.17	kN		Se considera únicamente el Empuje pasivo
Coeficiente empuje pasivo	k _p	6.79	[-]	$k_p = \frac{1 + \operatorname{sen}(\Phi')}{1 - \operatorname{sen}(\Phi')}$	
Tensión efectiva vertical	σ _v '	402.50	kN/m ²	σv' = σv - u	
Empuje pasivo efectivo	e _p '	2731.56	kN/m ²	$e_p = \sigma_v \cdot k_p + 2 \cdot c \cdot \sqrt{k_p}$	
Área efectiva	A*	229.27	m ²		