

DILIGENCIA: Para hacer constar que este documento que consta de 52 páginas, forma parte del PLAN DE REFORMA INTERIOR DEL PROGRAMA DE ACTUACIÓN AISLADA PARCELA ZC-1 PP 2/1 "PONIENTE", sometido a información pública por Resolución de la Concejal-Delegada de Urbanismo nº 4472/2022 de 2 de noviembre de 2022.



IN RESONANCE WITH:

Benidorm, a 1 de diciembre de 2022

LA SECRETARIA P.D.

MERCEDES
YAÑEZ
SANCHEZ - DNI
27435579Y

Firmado digitalmente
por MERCEDES YAÑEZ
SANCHEZ - DNI
27435579Y

oa

otxotorena arquitectos

Estudio Aerodinámico Torre Benidorm - Evaluación de capacidad de generación de potencia

203-H611-RP4-1494 - INFORME

06/05/2022

Tabla de contenidos

- Antecedentes
- Objetivos y Planteamiento
- Geometría
- Resultados Preliminares
- Resultados
- Conclusiones
- Proveedores
- Próximos pasos

No. documento	Rev.	Fecha	Descripción	Generado por
203-H611-RP4-1494	1	17/03/2022	Informe de capacidad de generación de potencia	AP
203-H611-RP4-1494	2	19/04/2022	Informe de capacidad de generación de potencia	AP
203-H611-RP4-1494	3	06/05/2022	Informe de capacidad de generación de potencia	AP

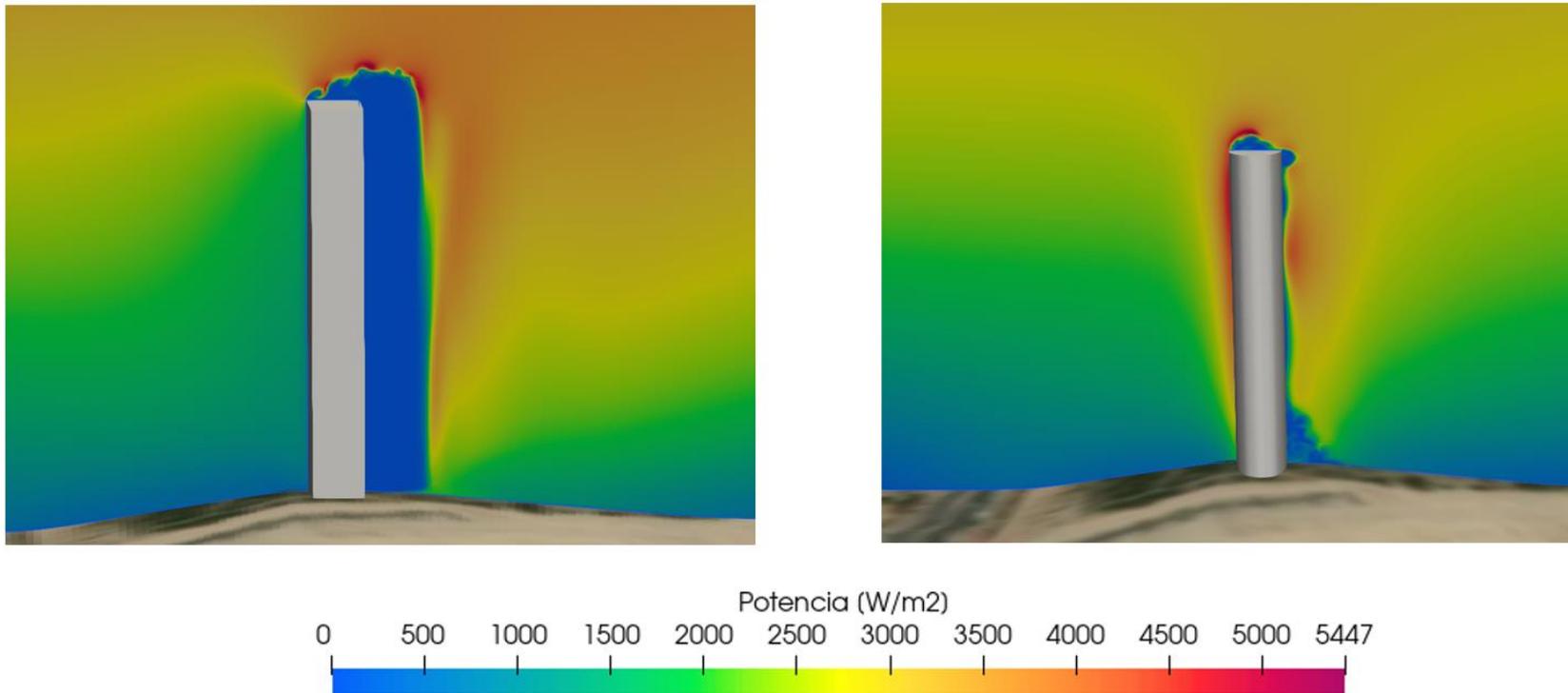
Antecedentes

- SDEA y Otxotorena Arquitectos están trabajando conjuntamente en el diseño de forma en planta y en la orientación de una edificación tipo torre que se va a construir en Benidorm
- El estudio estará enfocado a predecir y aprovechar el efecto del viento situado en la siguiente localización:



Antecedentes

- Como primer objetivo se la huella de viento generada según las dos formas en planta (rectangular y elíptica) y de la orientación del edificio. Con esto se construyeron los siguientes mapas de potencia eólica disponible:

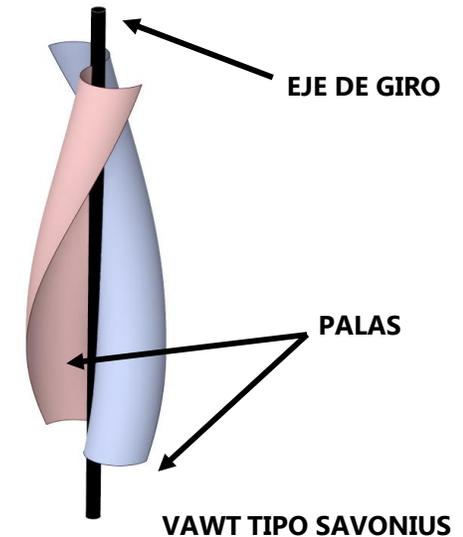


Objetivos y Planteamiento

- SDEA y Otxotorena Arquitectos, basados en el análisis realizado, plantean el estudio del posible aprovechamiento de la potencia eólica disponible para la generación de energía que redunde en una reducción de la huella de carbono de la edificación
- La evaluación para distintas direcciones de viento daría lugar a un esquema de potencia total generada; la cual, cruzada con distribución de probabilidad de ocurrencia anual de las velocidades de viento nos daría la distribución de potencia total anual generada. Integrando esta función de distribución obtendríamos la potencia total anual generada.

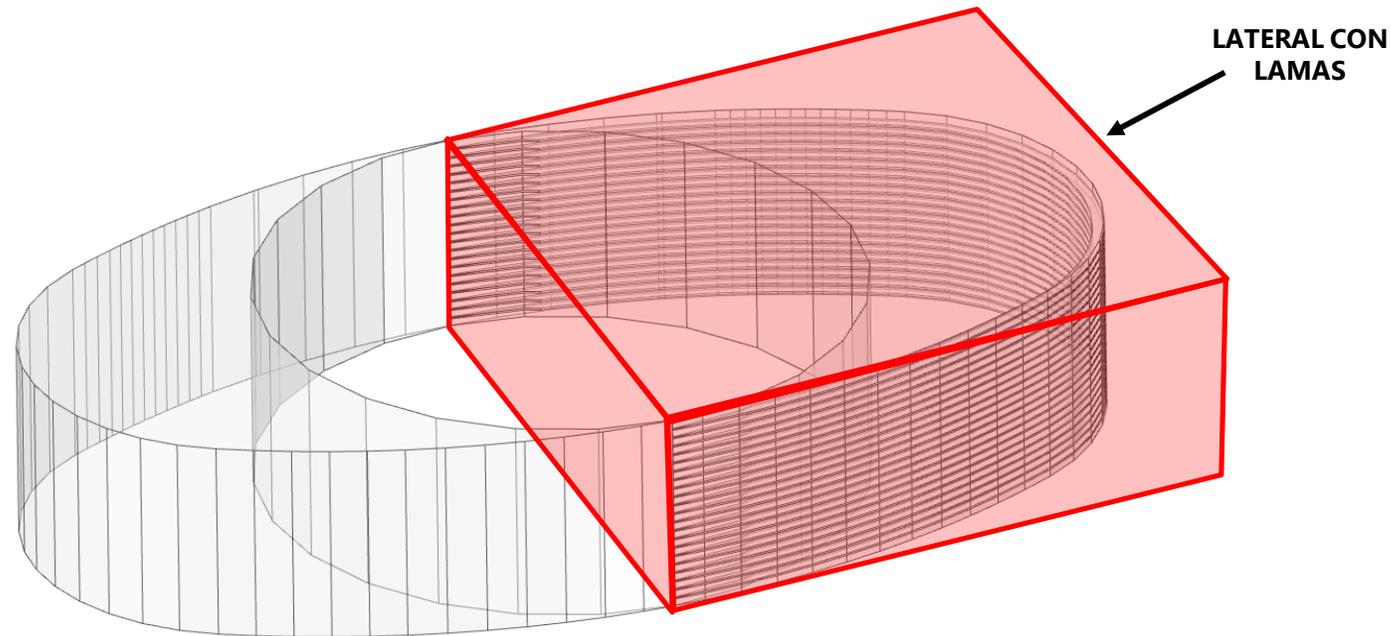
Objetivos y Planteamiento

- Se propone el uso de turbinas de eje vertical (VAWT) para las entreplantas, dado su mejor rendimiento en campos de flujo perturbado, en comparación con los pequeños aerogeneradores de eje horizontal (HAWT)
- El uso de este tipo de turbinas elimina, además, la necesidad de mecanismos de detección y orientación del viento
- El planteamiento será evaluar la potencia generada para una velocidad y dirección de viento dadas, a partir del momento inducido en los alabes de las turbinas.
- Se realiza una simulación de una turbina exenta como referencia, a la que se le asigna una potencia generada igual al producto de la potencia eólica disponible por su factor de eficiencia.
- Se establece una relación lineal entre el momento en cada una de las turbinas y su potencia generable



Objetivos y Planteamiento

- Por petición expresa del equipo de Otxotorena Arquitectos, se plantea el estudiar la influencia de disponer lamas en la porción de edificio en la que se sitúan las turbinas, de cara a no romper la composición visual de la fachada
- En aras de la eficiencia de calculo, se propone disponer en un mismo modelo de una mitad de la fachada con lamas y la otra exenta de ellas. Haciendo un barrido de 180° para una velocidad de viento de 8[m/s]



Planteamiento VAWT

Objetivos y Planteamiento

- Adicionalmente se propone hacer un estudio para distintas configuraciones de disposición en planta de las turbinas, haciendo variar su número entre 3 y 5 turbinas por lateral. No se contempla la disposición de un mayor número de turbinas
- Se ha asumido una eficiencia para las turbinas VAWT a emplear de un 25% (valor no conservador) independiente de la velocidad de viento. Este valor **se ajustará en futuros trabajos** de acuerdo con los valores proporcionados por el fabricante de las turbinas
- Se ha tomado como área proyectada por la turbina 5.8[m²] para su uso en la siguiente fórmula para el cálculo de la potencia generable:

$$\frac{P_{gen}}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3 C_p$$

P_{gen} Potencia generable

A Área proyectada

ρ Densidad del aire

v Velocidad nominal del aire

C_p Factor de aprovechamiento (eficiencia)

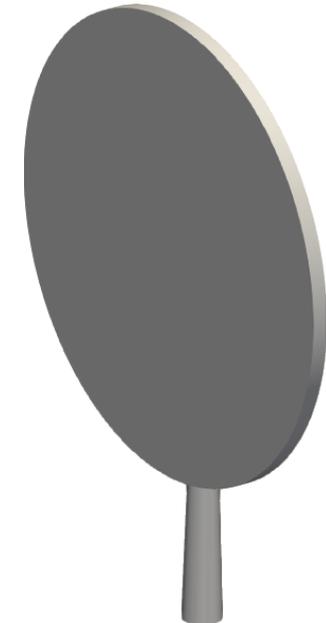
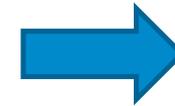
Planteamiento VAWT

Objetivos y Planteamiento

- Se propone el uso de turbinas de eje horizontal (HAWT) en cubierta por su mayor eficiencia y la exposición libre de obstáculos que ofrece la coronación del edificio
- Se recurre a un planteamiento simplificado de tipo disco actuador, que consiste en modelizar el rotor del aerogenerador como un disco con un término fuente de momento de valor $5,26[\text{N}/\text{m}^3]$
- El planteamiento será evaluar la potencia generada para una velocidad dada y 3 direcciones de viento (0° , 45° y 90°) a partir del caudal que atraviesa el disco actuador
- Se realiza una simulación de una turbina exenta como referencia, asignándole la producción correspondiente a la potencia eólica disponible afectada por un factor de eficiencia



MODELO REAL DE TURBINA



MODELO DE DISCO ACTUADOR

Objetivos y Planteamiento

- Adicionalmente se propone hacer un estudio para distintas configuraciones de disposición en planta de las turbinas, estudiando la posibilidad de incluir 3 turbinas haciendo variar su número entre 3 y 5 turbinas por lateral. No se contempla la disposición de un mayor número de turbinas
- Se ha asumido una eficiencia para las turbinas HAWT a emplear de un 45% (valor no conservador) independiente de la velocidad de viento. Este valor **se ajustará en futuros trabajos** de acuerdo con los valores proporcionados por el fabricante de las turbinas
- Se ha tomado como área proyectada por la turbina 28.3[m²] para su uso en la siguiente fórmula para el cálculo de la potencia generable:

$$\frac{P_{gen}}{A} = \frac{1}{2} \rho v^3 C_p$$

P_{gen} Potencia generable

A Área proyectada

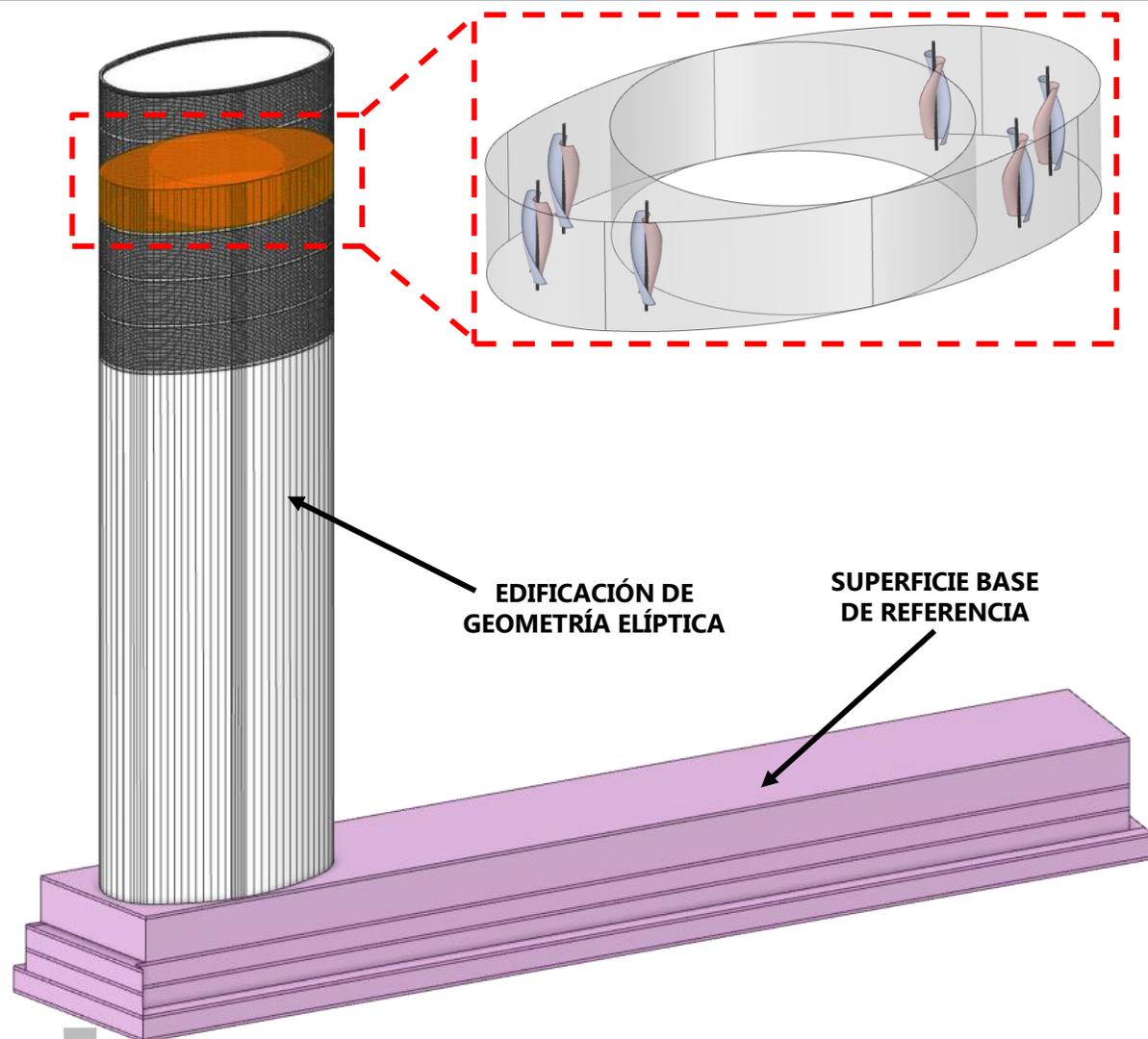
ρ Densidad del aire

v Velocidad nominal del aire

C_p Factor de aprovechamiento (eficiencia)

Planteamiento HAWT

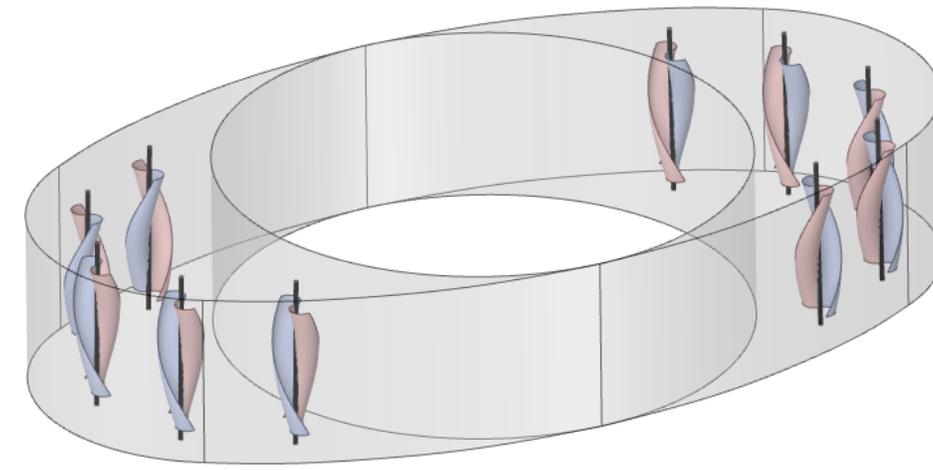
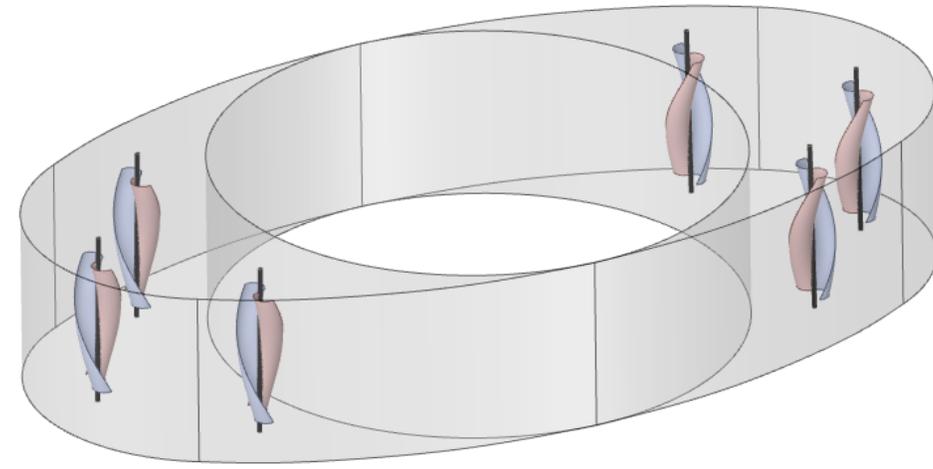
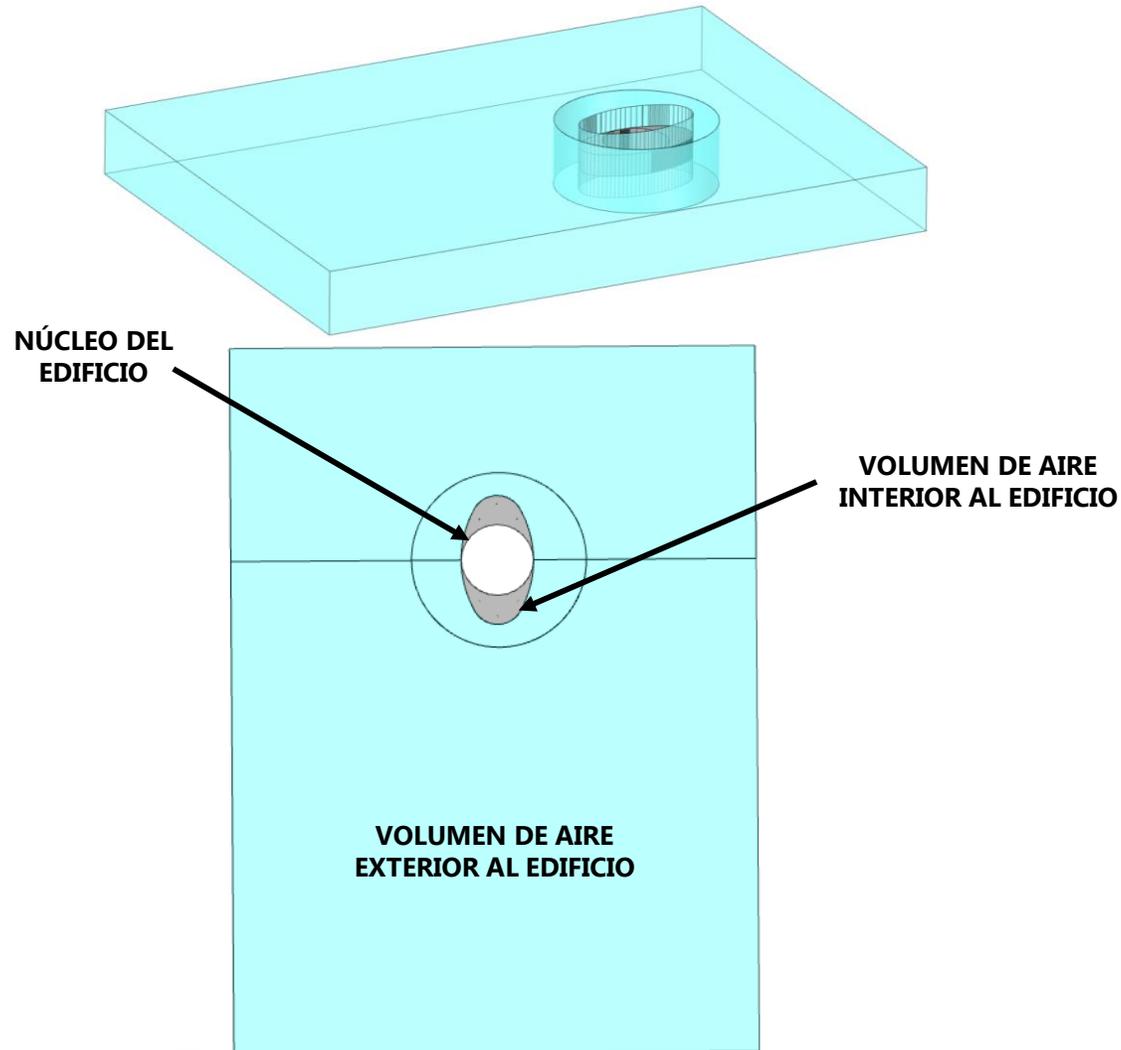
Geometría - Análisis VAWT



- Se toma una porción representativa de la zona de interés y se definen las oportunas condiciones de contorno
- El edificio mide 105,5[m] de altura, medidos desde la superficie base de referencia
- El propósito de la disposición de las turbinas de eje vertical es el de hacer un estudio comparativo para evaluar la mejor configuración. De este modo, el subtipo de turbina seleccionado no es de relevancia. No obstante y a efectos de claridad, indicar que se trata de rotores tipo Savonius

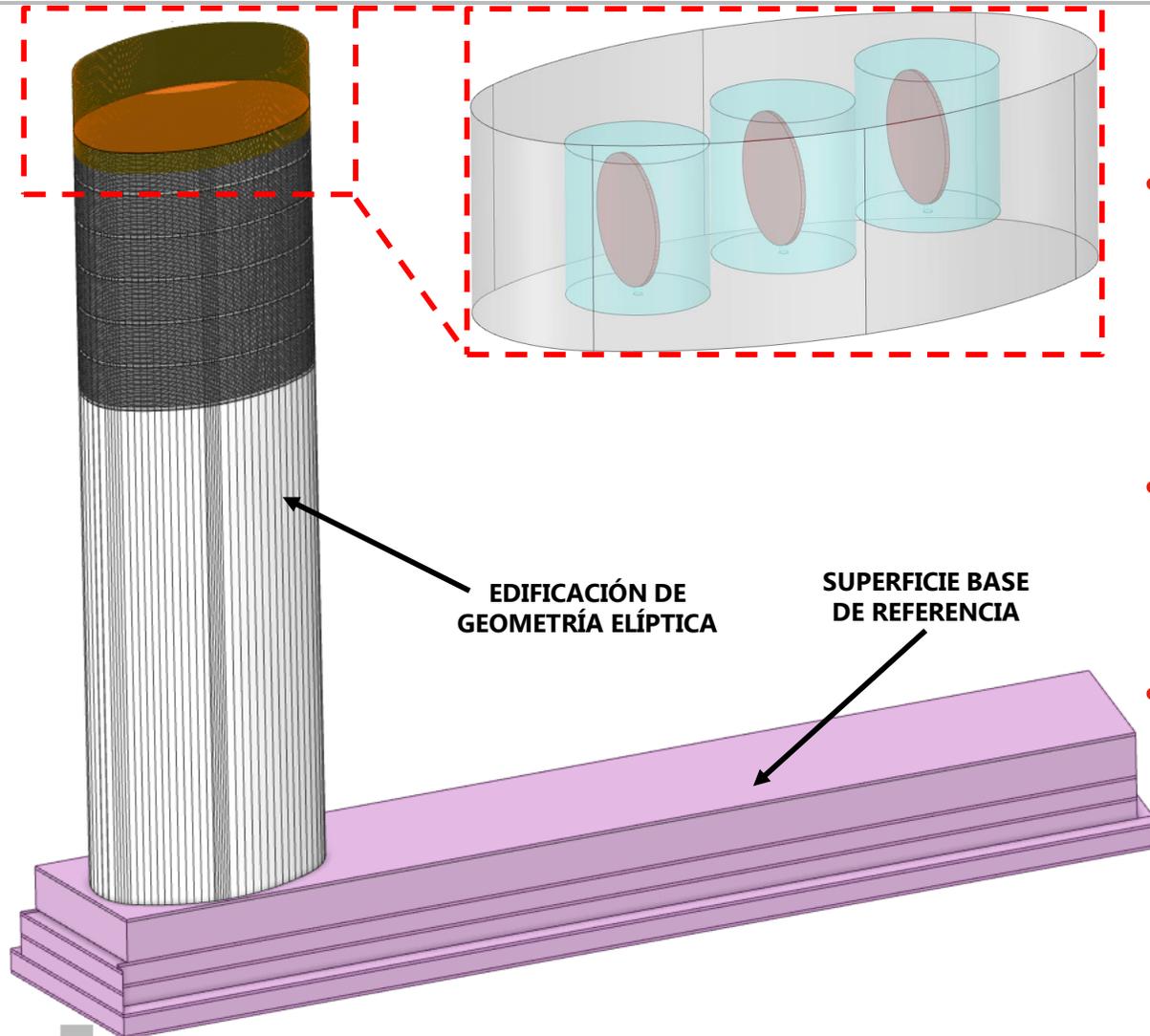
Delimitación del dominio de estudio

Geometría - Análisis VAWT



Dominio computacional completo

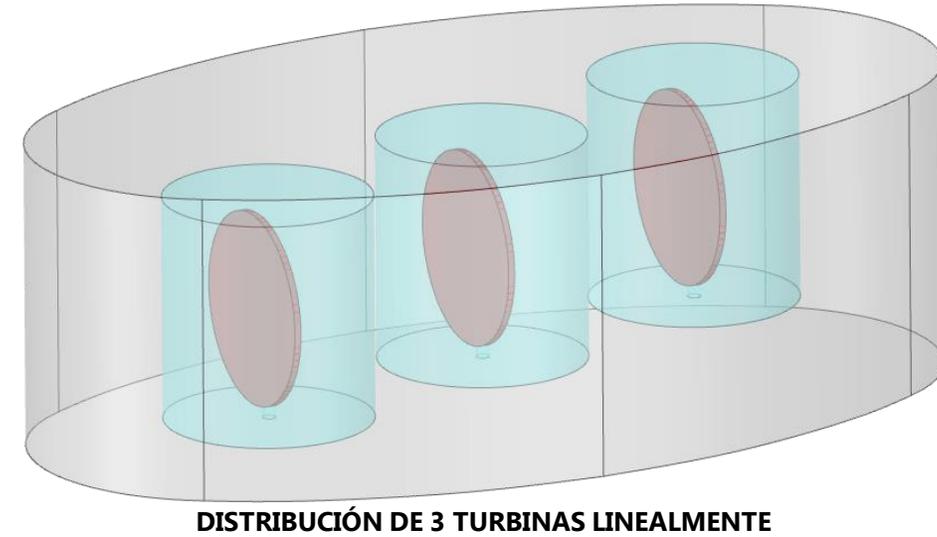
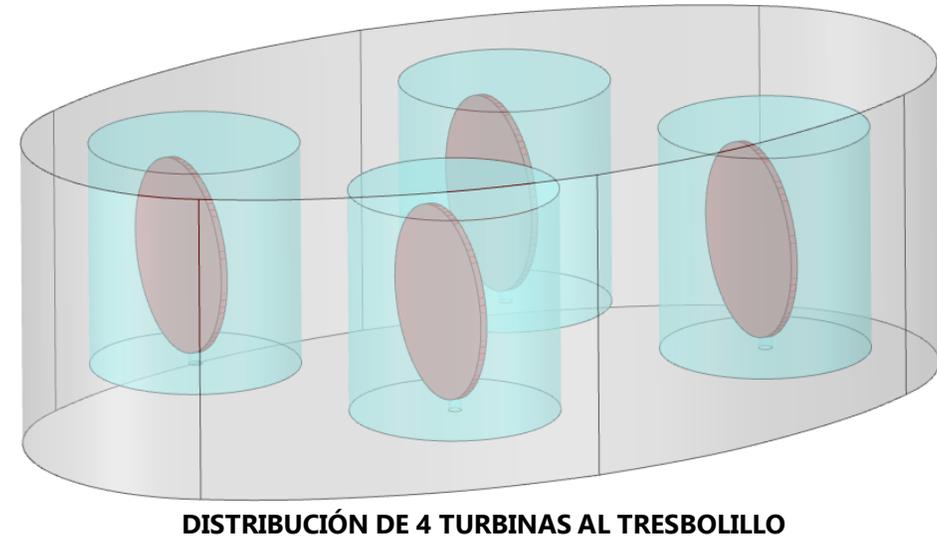
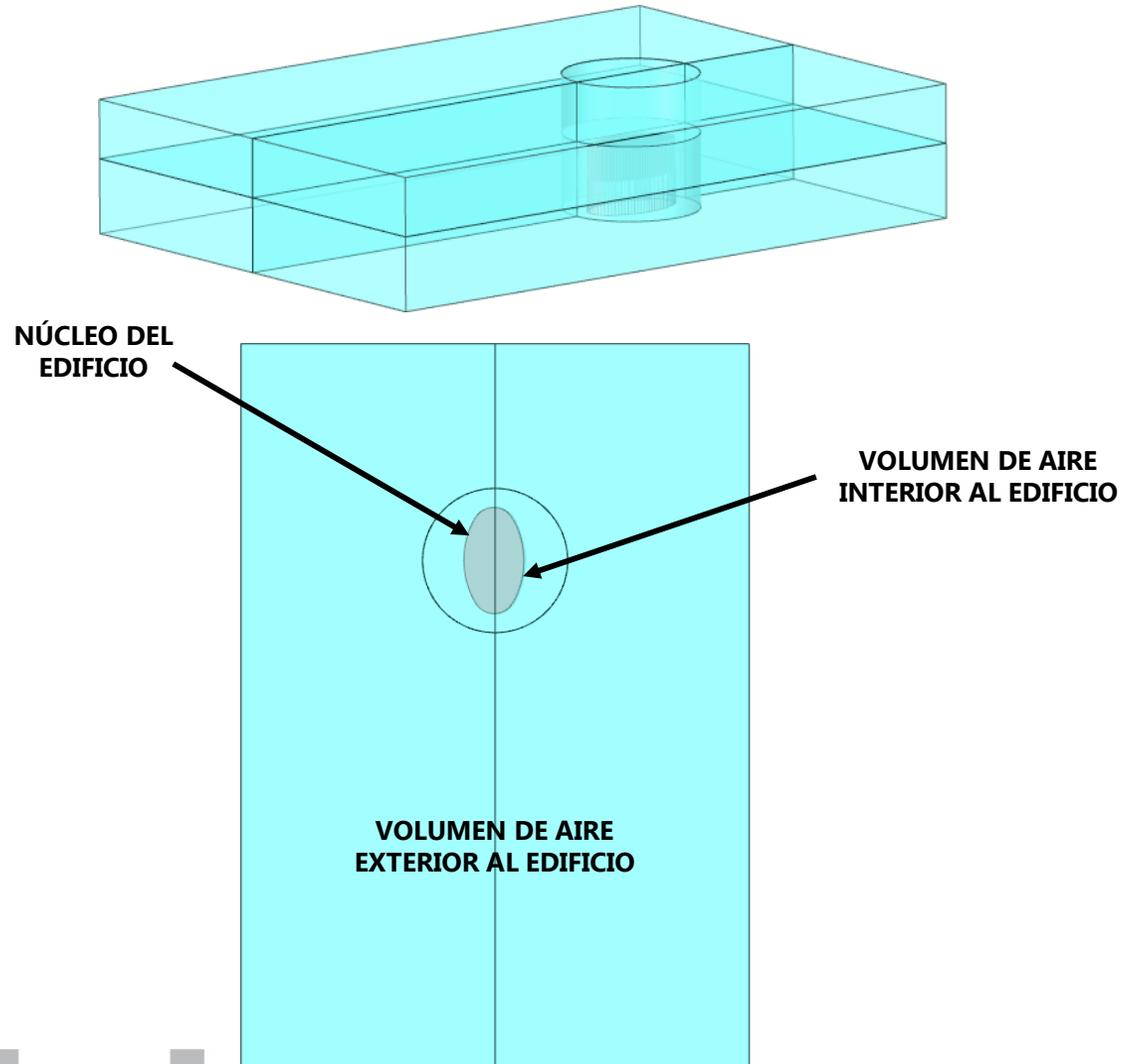
Geometría - Análisis HAWT



- El dominio de cálculo está conformado por la mitad superior de la última planta, la cubierta del edificio y una altura de capa de aire de 8,5[m] sobre dicha cubierta
- El edificio mide 105,5[m] de altura, medidos desde la superficie base de referencia
- El propósito de la disposición de las turbinas de eje horizontal es el de hacer un estudio comparativo para evaluar la mejor configuración. De este modo, la geometría en concreto del modelo de turbina no es de relevancia.

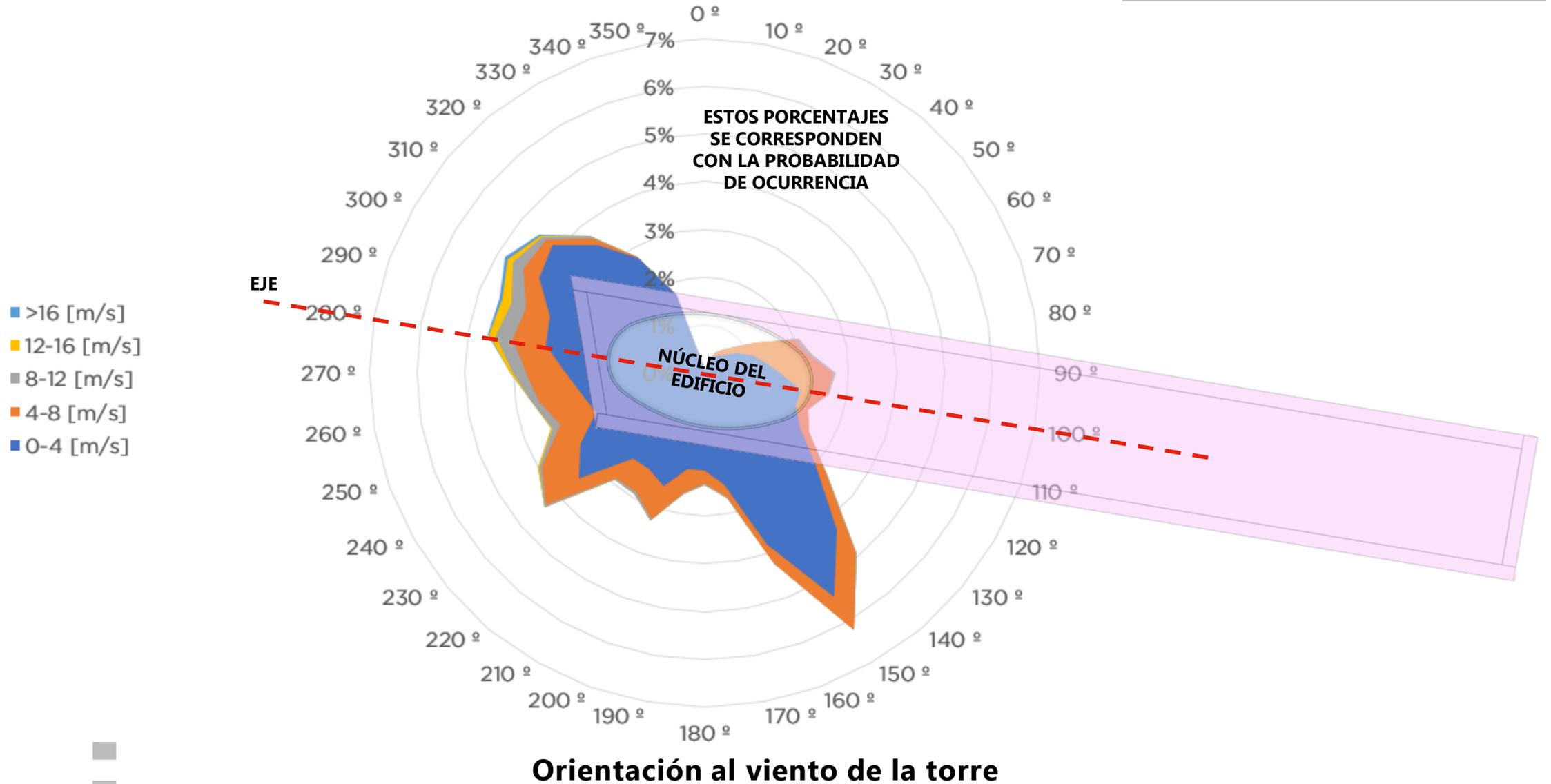
Delimitación del dominio de estudio

Geometría - Análisis HAWT

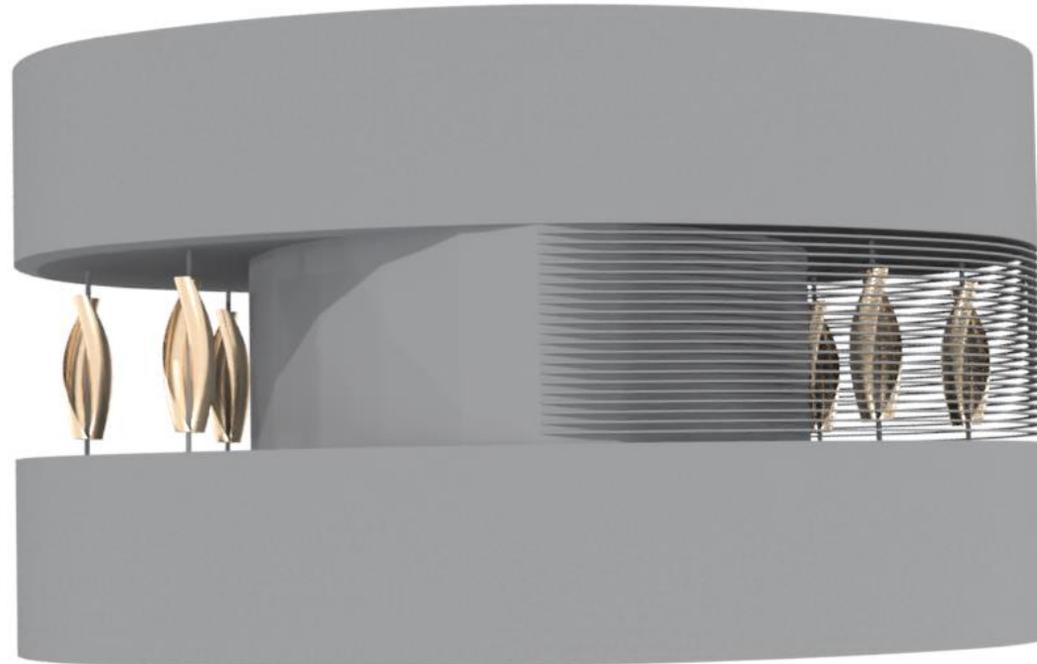


Dominio computacional completo

Geometría

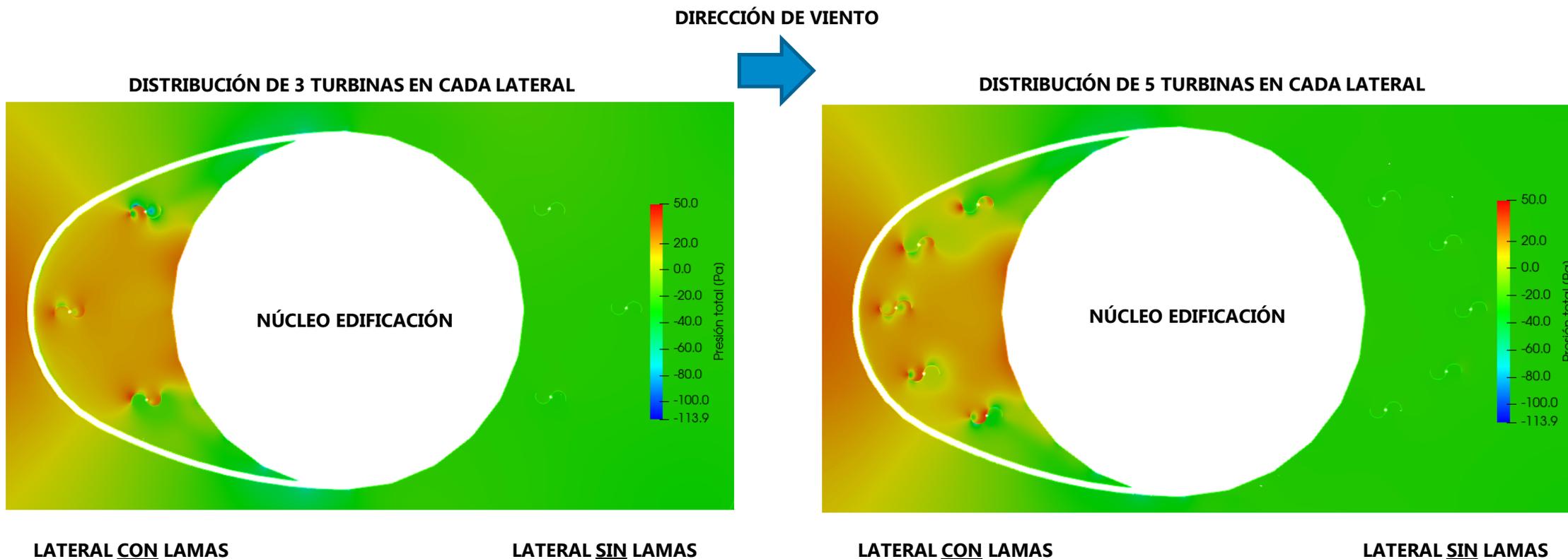


RESULTADOS VAWT



Resultados – VAWT de referencia

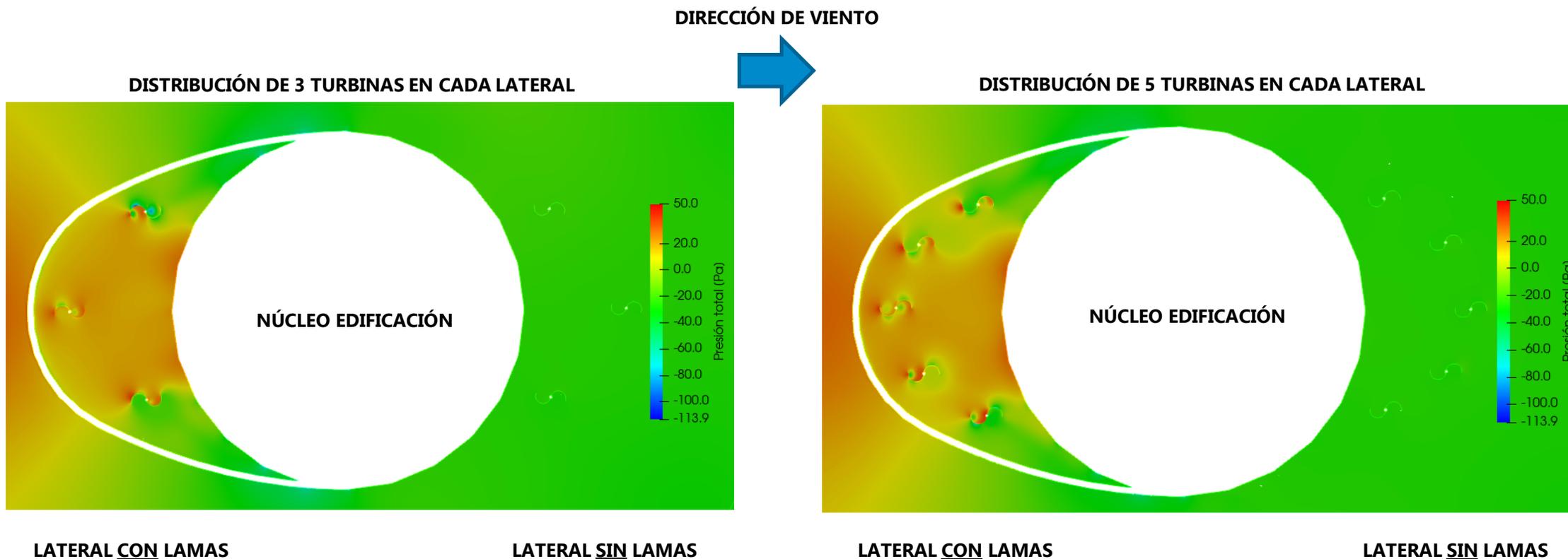
- Las siguientes figuras muestran una comparación entre las huellas de presión de viento generadas por el las dos distribuciones de turbinas a estudiar, cuando el viento incide sobre el lateral provisto de lamas:



Comparación del perfil de huellas

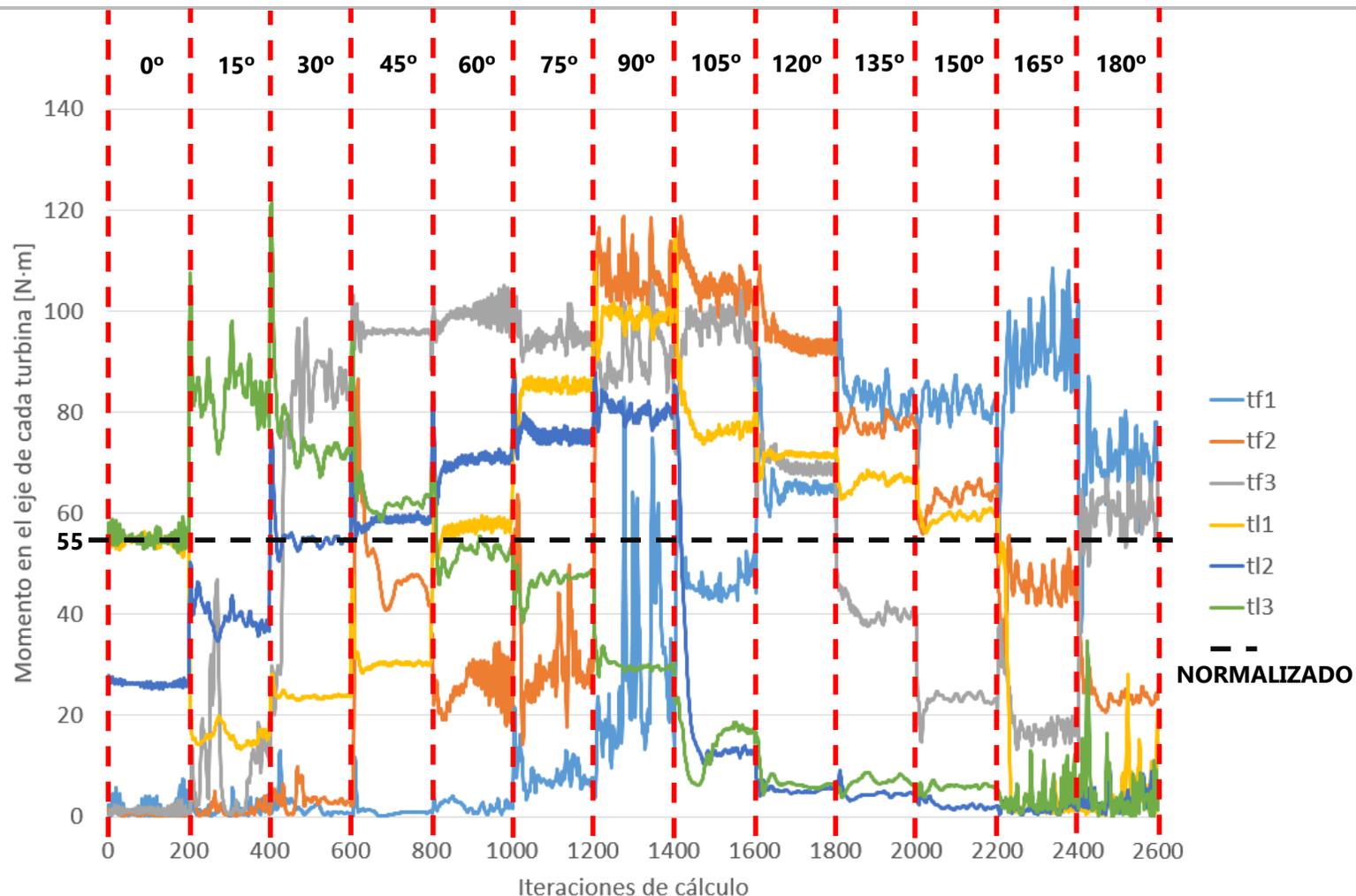
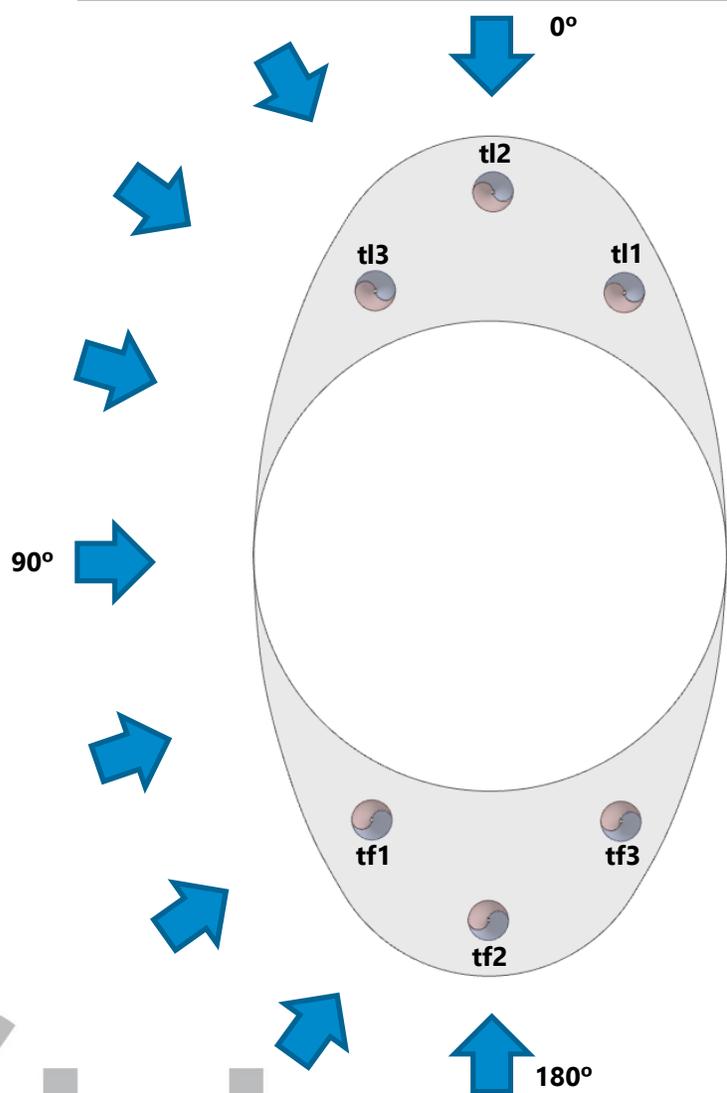
Resultados Preliminares

- Las siguientes figuras muestran una comparación entre las huellas de presión de viento generadas por el las dos distribuciones de turbinas a estudiar, cuando el viento incide sobre el lateral provisto de lamas:



Comparación del perfil de huellas

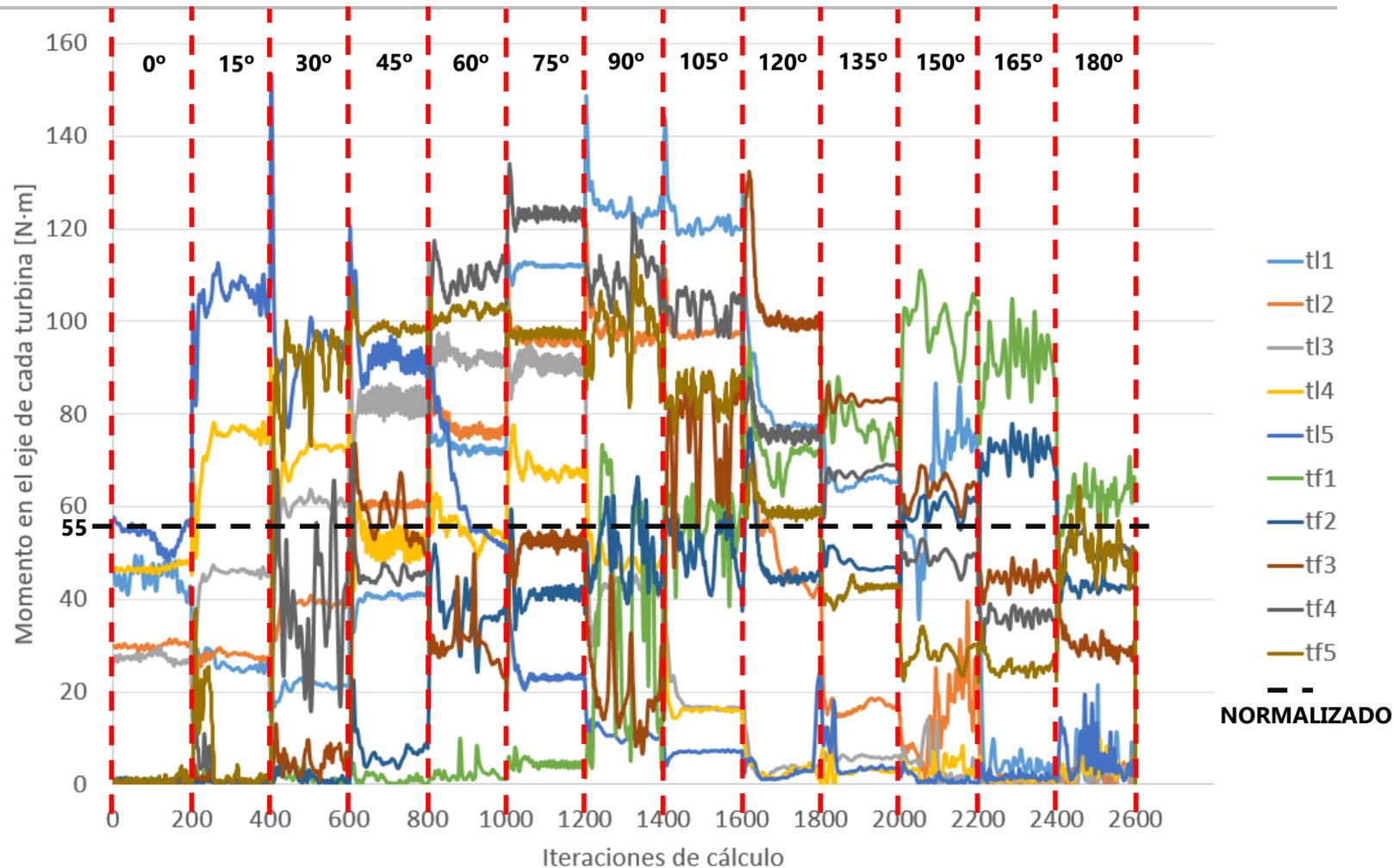
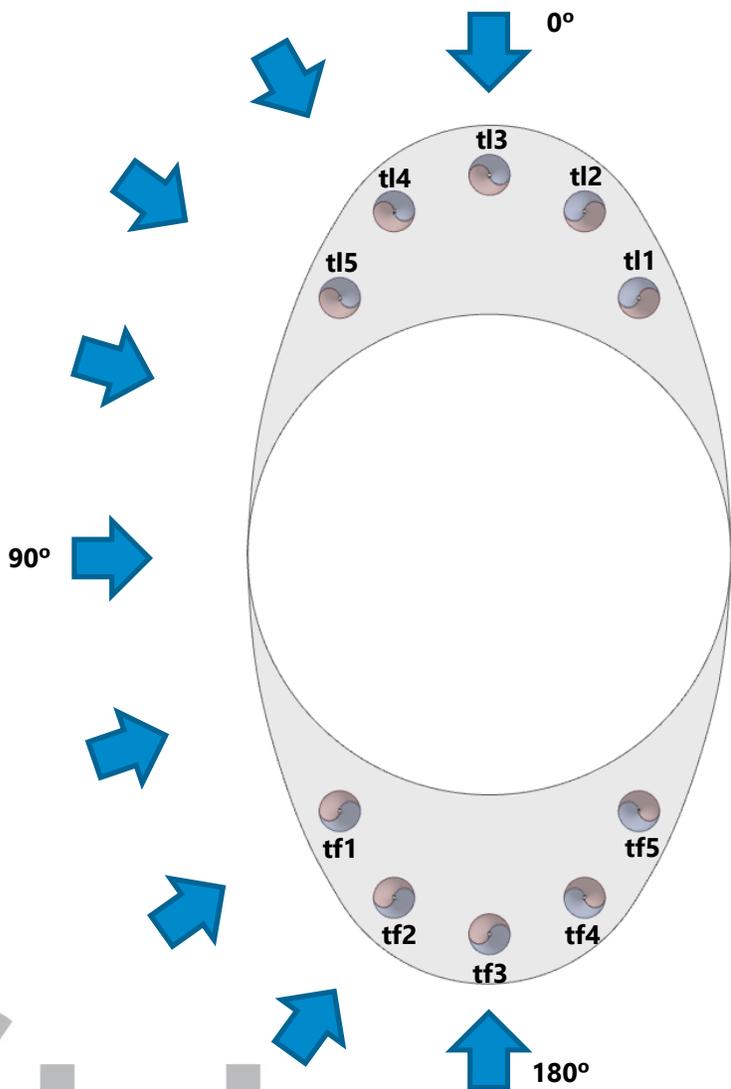
Resultados Preliminares - 3 Turbinas en cada lateral



tf: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL SIN LAMAS
tl: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL CON LAMAS

Gráfica de momentos en ejes de turbinas

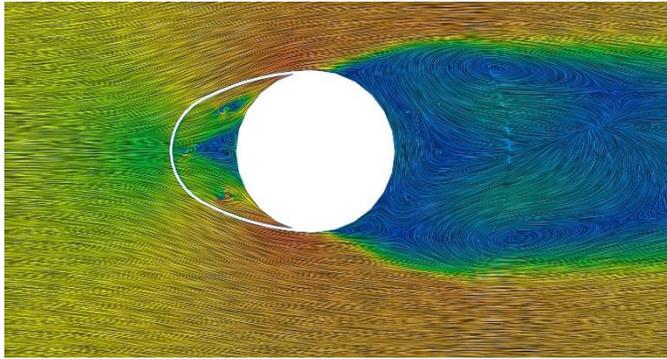
Resultados Preliminares - 5 Turbinas en cada lateral



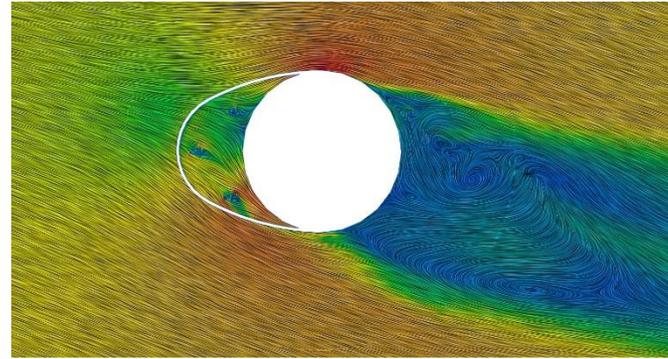
tf: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL SIN LAMAS
tl: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL CON LAMAS

Gráfica de momentos en ejes de turbinas

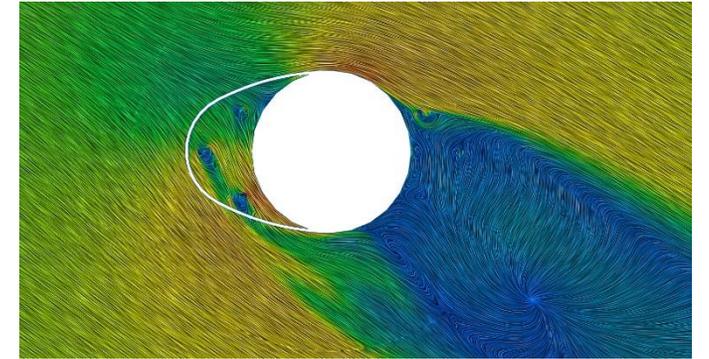
Resultados Preliminares - 3 Turbinas en cada lateral



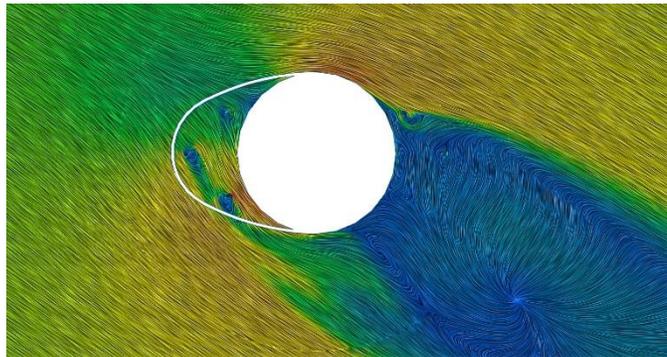
VIENTO INCIDENTE A 0° SOBRE EL LATERAL CON LAMAS



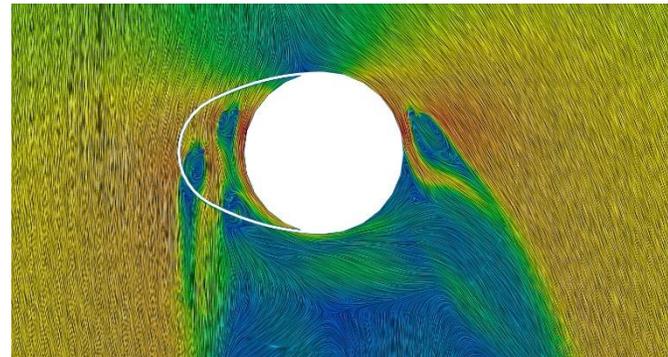
VIENTO INCIDENTE A 15°



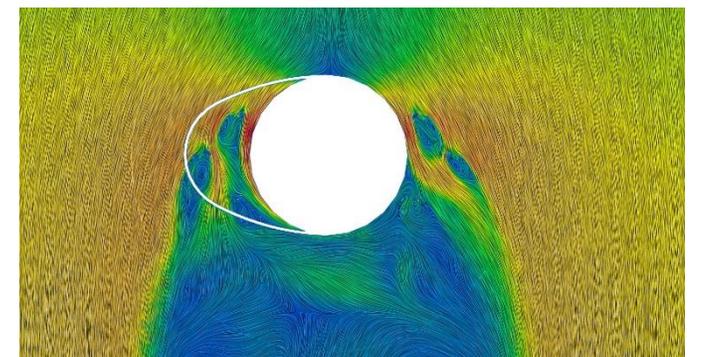
VIENTO INCIDENTE A 30°



VIENTO INCIDENTE A 60°



VIENTO INCIDENTE A 75°

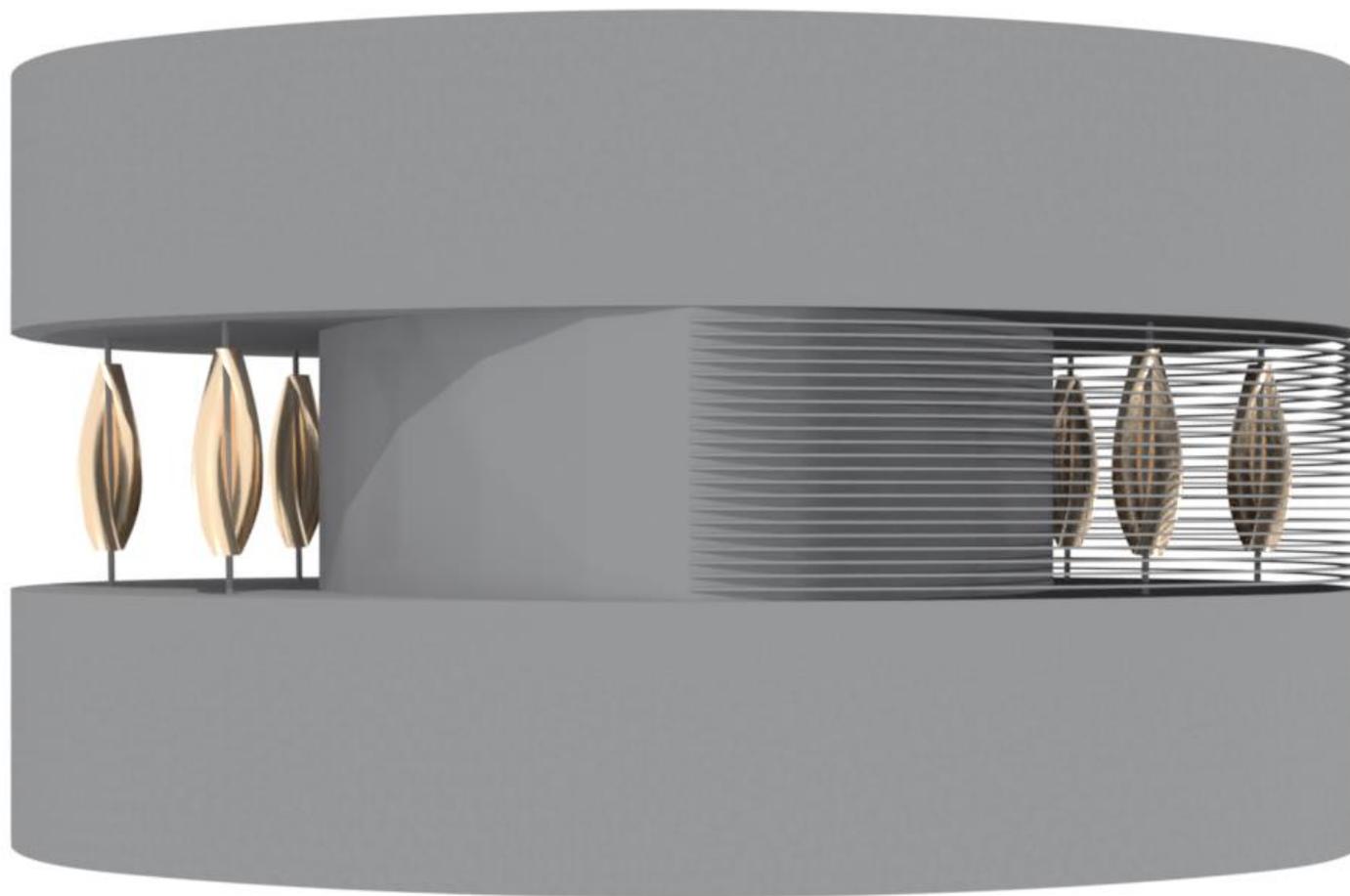


VIENTO INCIDENTE A 90°

Contornos de velocidades de viento

Resultados – Torre Eólica

3 Turbinas por lateral (VAWT)



Resultados – 3 Turbinas en cada lateral

- Valores de la tabla expresados en tanto por uno

	Grados (°)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
tf1	0.036	0.036	0.036	0.036	0.036	0.136	0.636	0.864	1.182	1.500	1.500	1.682	1.273
tl1	1.000	0.291	0.445	0.545	1.045	1.545	1.800	1.409	1.309	1.227	1.091	0.045	0.045
tf2	0.018	0.018	0.045	0.818	0.500	0.545	1.909	1.864	1.691	1.409	1.182	0.818	0.418
tl2	0.491	0.682	1.000	1.055	1.273	1.364	1.455	0.227	0.091	0.073	0.045	0.045	0.045
tf3	0.018	0.273	1.545	1.736	1.818	1.727	1.636	1.773	1.255	0.745	0.418	0.318	1.091
tl3	1.000	1.500	1.318	1.136	0.955	0.864	0.545	0.318	0.109	0.109	0.109	0.045	0.045

tf: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL SIN LAMAS
tl: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL CON LAMAS

- Los valores de eficiencia recogidos en la tabla para las turbinas "tl" corresponden a lamas cuadradas
- Se ha evaluado la adopción de un perfil aerodinámico NACA en sustitución de las anteriores, dando lugar a una mejora en la eficiencia de las "tl" de 0.13 que se aplica tanto para el caso de 3 turbinas como para el de 5 turbinas

Resultados – 3 Turbinas en cada lateral

- Valores de la tabla expresados en Wattios

ÁNGULO DE INCIDENCIA
PARA MÁXIMA GENERACIÓN

	Grados (°)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
tf1	17	17	17	17	17	62	289	393	537	682	682	765	579
tl1	455	132	203	248	475	703	818	641	595	558	496	21	21
tf2	8	8	21	372	227	248	868	847	769	641	537	372	190
tl2	223	310	455	480	579	620	661	103	41	33	21	21	21
tf3	8	124	703	790	827	785	744	806	570	339	190	145	496
tl3	455	682	599	517	434	393	248	145	50	50	50	21	21
SUMA	1166	1273	1997	2422	2559	2811	3629	2935	2563	2303	1976	1343	1327

tf: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL SIN LAMAS

tl: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL CON LAMAS

Tabla de potencias generables para 8[m/s] en todas las direcciones de viento

Resultados – 3 Turbinas en cada lateral

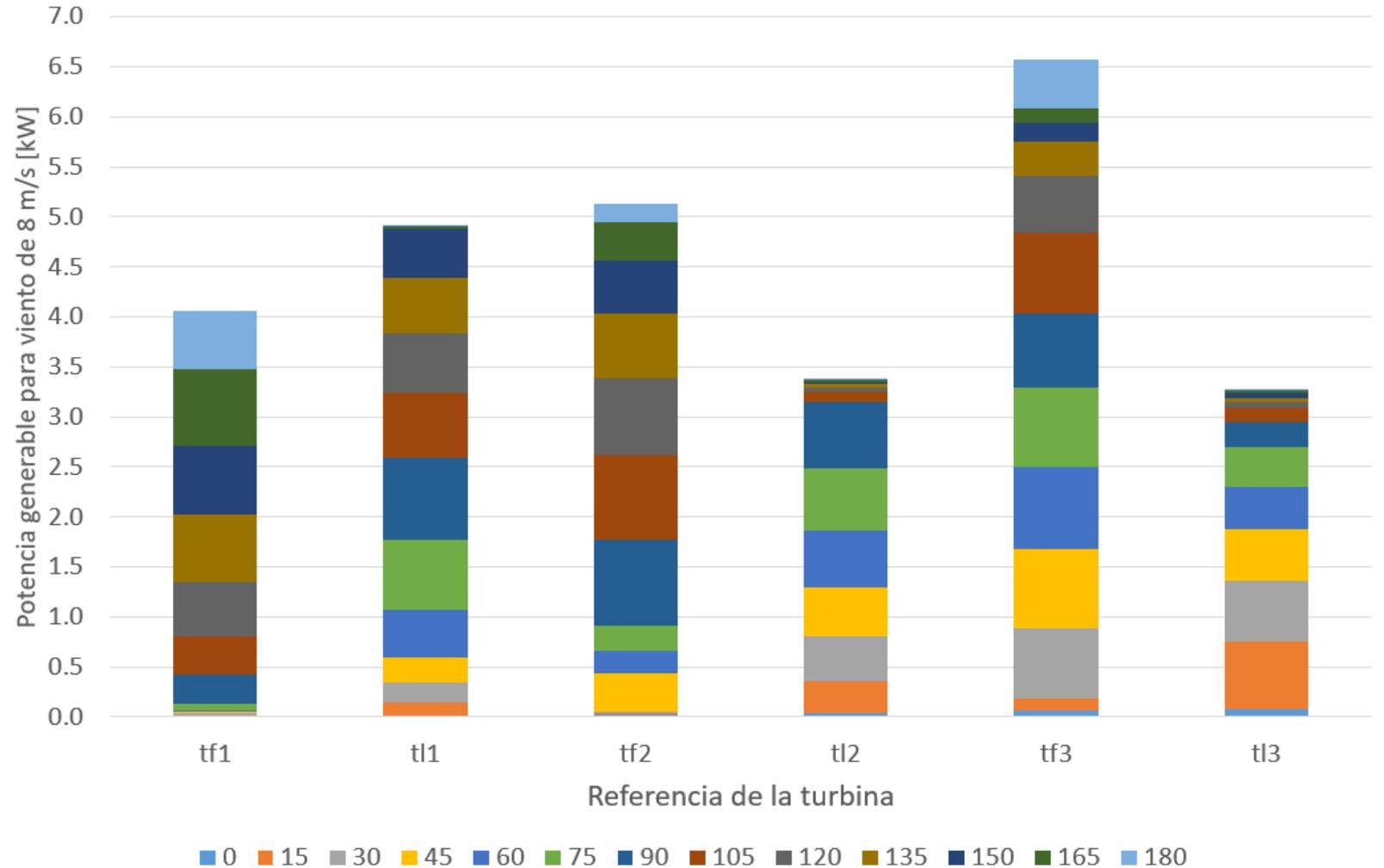
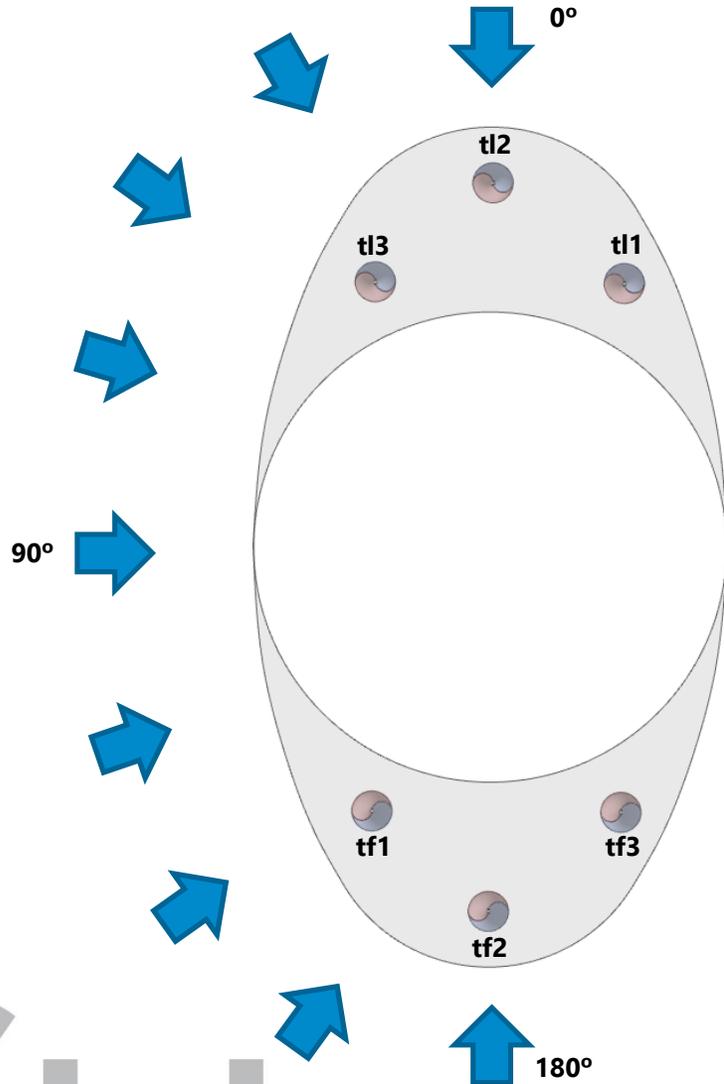


Tabla de potencias generables considerando 8[m/s] en todas las direcciones de viento

Resultados – 3 Turbinas en cada lateral

- Valores de la tabla expresados en Wattios

ÁNGULO DE INCIDENCIA
PARA MÁXIMA GENERACIÓN

	Grados (°)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
tf1	56	56	56	56	56	209	977	1325	1814	2302	2302	2581	1953
tl1	1535	446	684	837	1604	2372	2762	2163	2009	1883	1674	70	70
tf2	28	28	70	1256	767	837	2930	2860	2595	2163	1814	1256	642
tl2	753	1046	1535	1618	1953	2093	2232	349	140	112	70	70	70
tf3	28	419	2372	2665	2790	2651	2511	2721	1925	1144	642	488	1674
tl3	1535	2302	2023	1744	1465	1325	837	488	167	167	167	70	70
SUMA	3934	4297	6739	8176	8636	9487	12250	9906	8650	7771	6669	4534	4478

tf: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL SIN LAMAS

tl: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL CON LAMAS

Tabla de potencias generables para 12[m/s] en todas las direcciones de viento

Resultados – 3 Turbinas en cada lateral

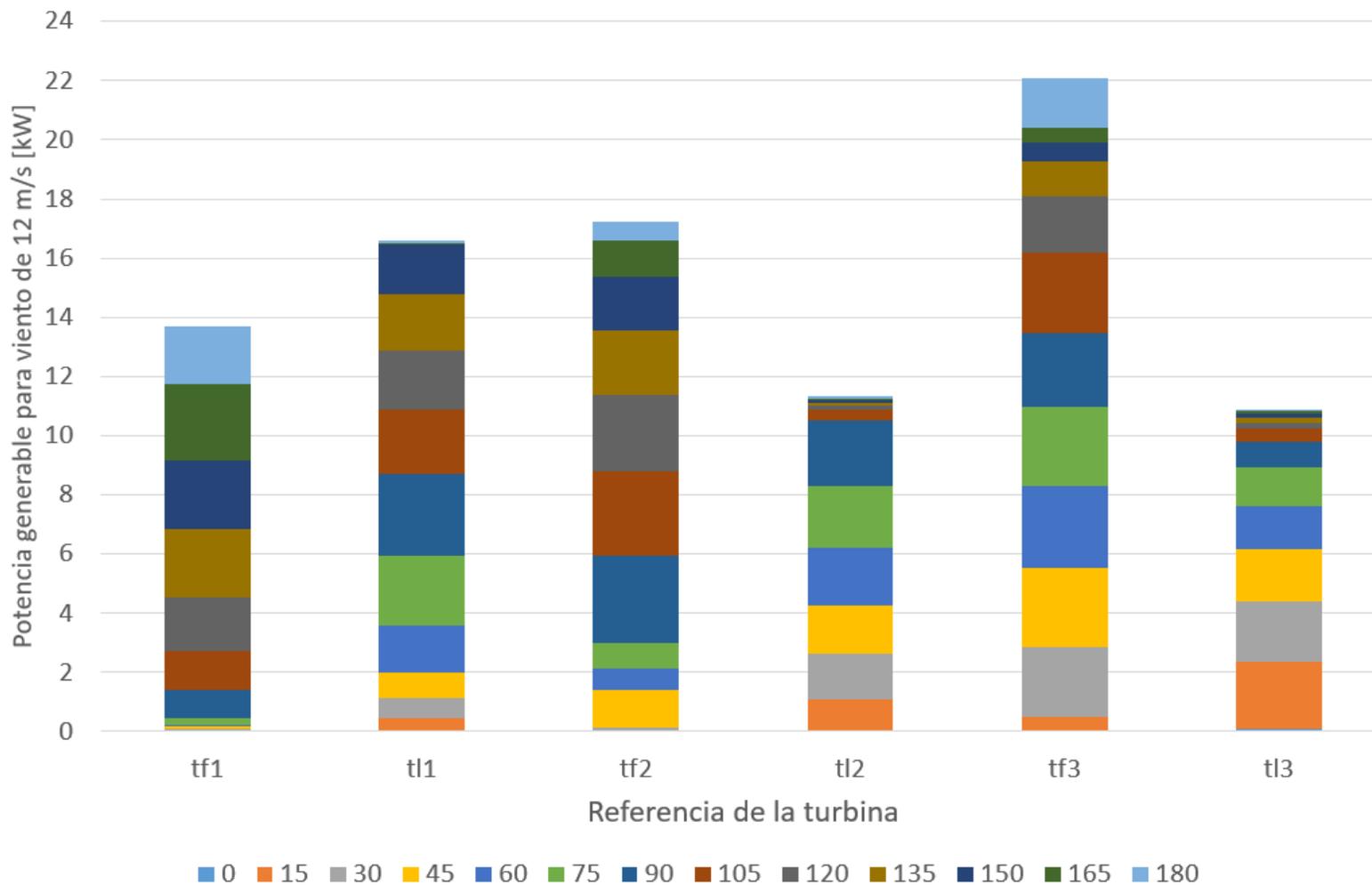
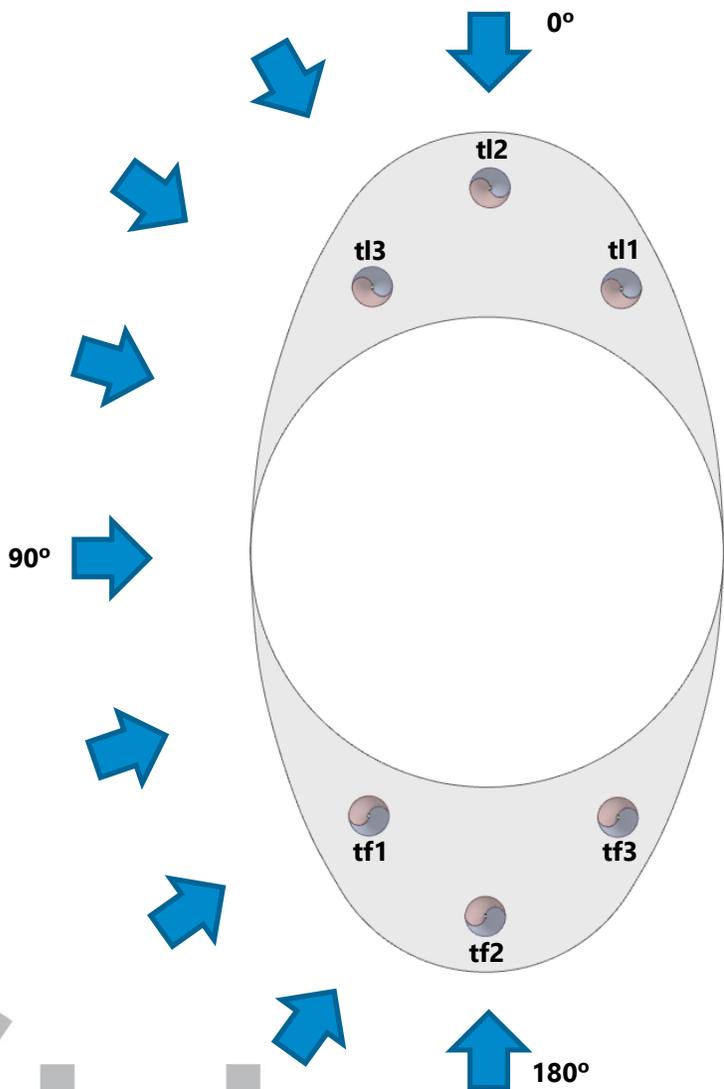
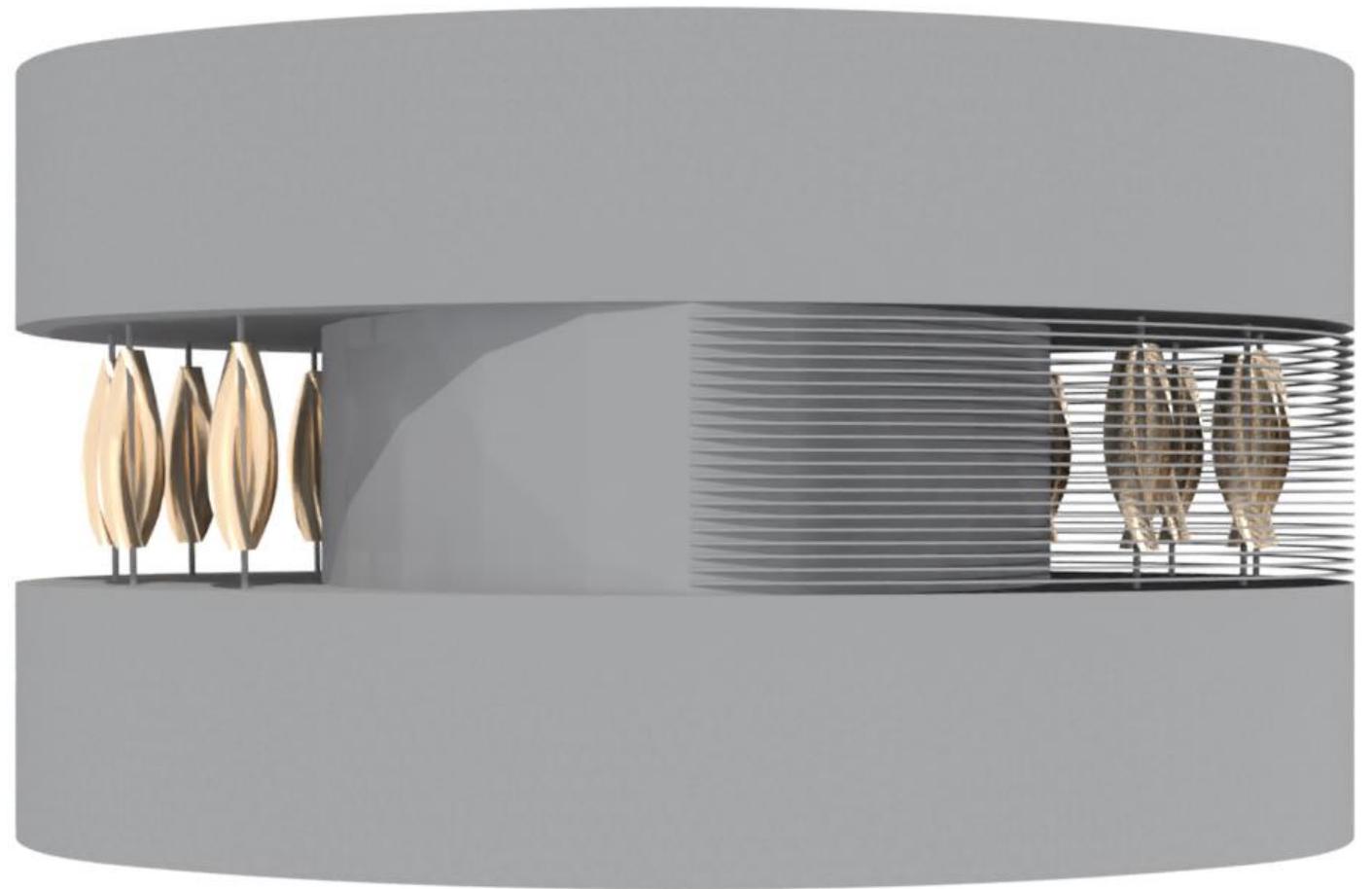


Tabla de potencias generables considerando 12[m/s] en todas las direcciones de viento

Resultados – Torre Eólica

5 Turbinas por lateral (VAWT)



Resultados – 5 Turbinas en cada lateral

- Valores de la tabla expresados en tanto por uno

	Grados (°)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
tf1	0.018	0.000	0.036	0.036	0.045	0.091	0.636	1.000	1.318	1.364	1.773	1.682	1.136
tl1	0.818	0.491	0.391	0.727	1.318	2.036	2.273	2.182	1.409	1.182	1.364	0.045	0.036
tf2	0.000	0.000	0.018	0.136	0.673	0.755	0.909	0.864	0.818	0.864	1.091	1.318	0.773
tl2	0.545	0.500	0.709	1.091	1.382	1.727	1.773	1.773	0.818	0.318	0.364	0.018	0.045
tf3	0.009	0.009	0.091	0.945	0.455	0.955	0.309	1.273	1.818	1.509	1.136	0.818	0.518
tl3	0.491	0.818	1.109	1.500	1.673	1.636	0.773	0.309	0.073	0.109	0.036	0.009	0.045
tf4	0.009	0.009	0.682	0.818	2.000	2.227	2.000	1.864	1.364	1.227	0.864	0.636	0.909
tl4	0.845	1.364	1.318	0.945	0.945	1.227	0.864	0.291	0.045	0.045	0.045	0.027	0.082
tf5	0.027	0.027	1.682	1.773	1.864	1.773	1.818	1.545	1.045	0.773	0.500	0.455	0.864
tl5	0.955	1.909	1.727	1.655	0.955	0.427	0.182	0.127	0.045	0.055	0.027	0.036	0.064

tf: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL SIN LAMAS

tl: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL CON LAMAS

Tabla de eficiencias de las turbinas según la dirección de viento

Resultados – 5 Turbinas en cada lateral

- Valores de la tabla expresados en Wattios

ÁNGULO DE INCIDENCIA
PARA MÁXIMA GENERACIÓN

	Grados (°)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
tf1	8	0	17	17	21	41	289	455	599	620	806	765	517
tl1	372	223	178	331	599	926	1033	992	641	537	620	21	17
tf2	0	0	8	62	306	343	413	393	372	393	496	599	351
tl2	248	227	322	496	628	785	806	806	372	145	165	8	21
tf3	4	4	41	430	207	434	141	579	827	686	517	372	236
tl3	223	372	504	682	761	744	351	141	33	50	17	4	21
tf4	4	4	310	372	909	1013	909	847	620	558	393	289	413
tl4	384	620	599	430	430	558	393	132	21	21	21	12	37
tf5	12	12	765	806	847	806	827	703	475	351	227	207	393
tl5	434	868	785	752	434	194	83	58	21	25	12	17	29
SUMA	1691	2331	3530	4378	5142	5845	5246	5105	3981	3386	3274	2294	2034

tf: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL SIN LAMAS

tl: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL CON LAMAS

Tabla de potencias generables considerando 8[m/s] en todas las direcciones de viento

Resultados – 5 Turbinas en cada lateral

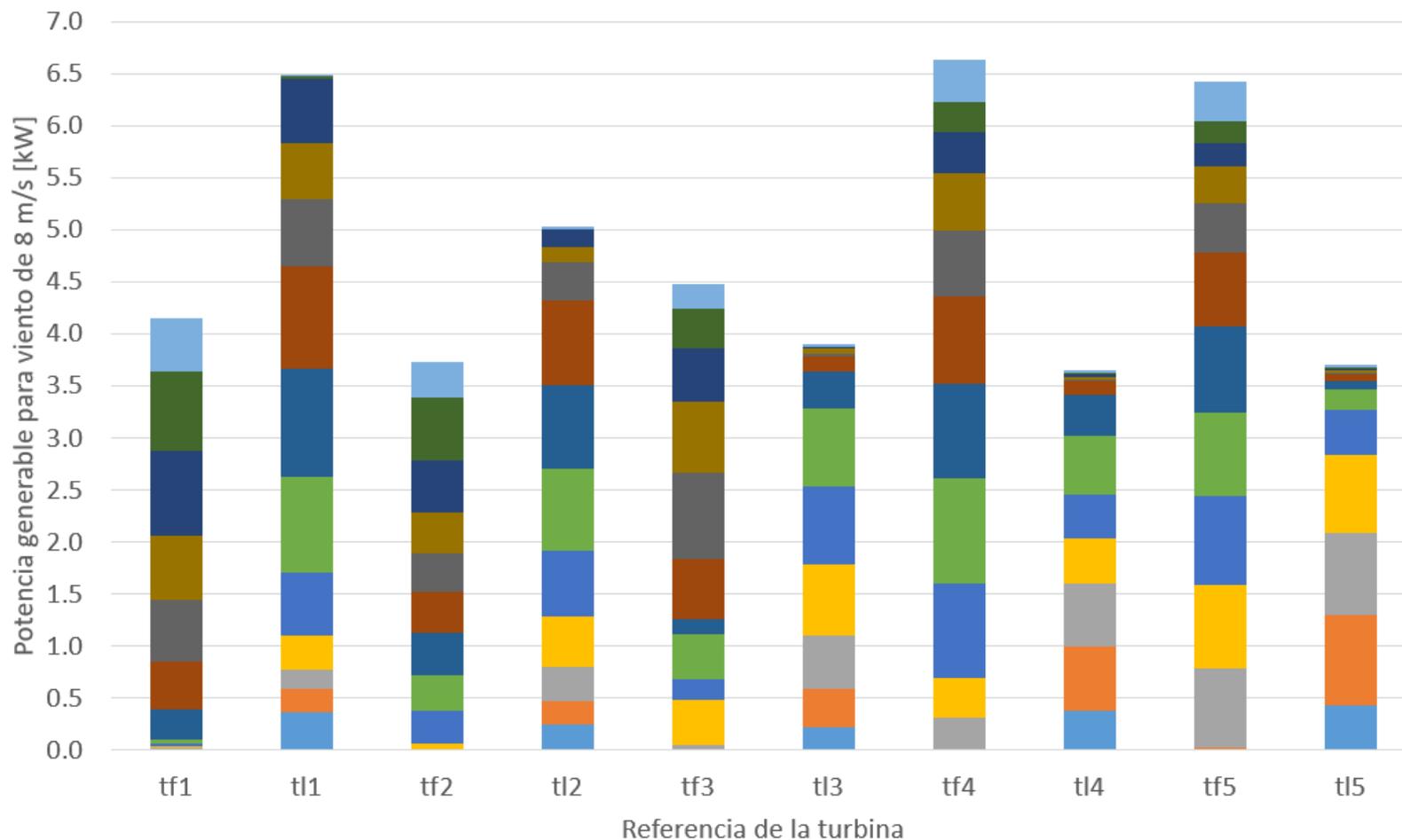
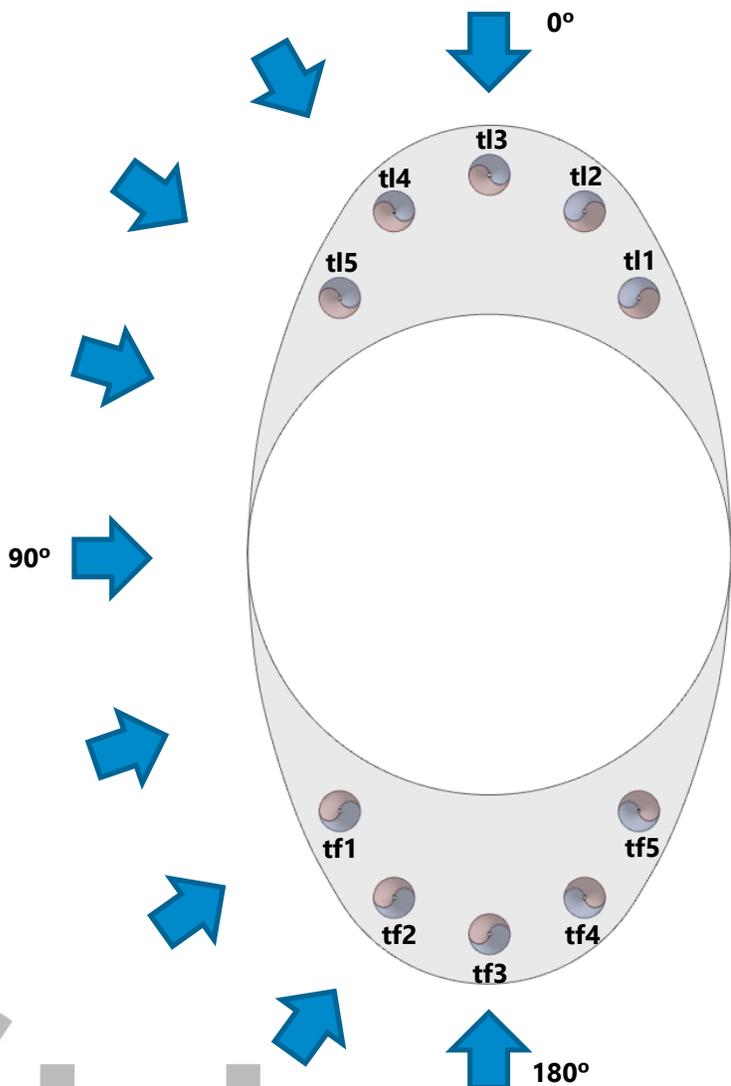


Tabla de potencias generables considerando 8[m/s] en todas las direcciones de viento

Resultados – 5 Turbinas en cada lateral

- Valores de la tabla expresados en Wattios

ÁNGULO DE INCIDENCIA
PARA MÁXIMA GENERACIÓN

	Grados (°)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
tf1	28	0	56	56	70	140	977	1535	2023	2093	2721	2581	1744
tl1	1256	753	600	1116	2023	3125	3488	3348	2163	1814	2093	70	56
tf2	0	0	28	209	1032	1158	1395	1325	1256	1325	1674	2023	1186
tl2	837	767	1088	1674	2121	2651	2721	2721	1256	488	558	28	70
tf3	14	14	140	1451	698	1465	474	1953	2790	2316	1744	1256	795
tl3	753	1256	1702	2302	2567	2511	1186	474	112	167	56	14	70
tf4	14	14	1046	1256	3069	3418	3069	2860	2093	1883	1325	977	1395
tl4	1298	2093	2023	1451	1451	1883	1325	446	70	70	70	42	126
tf5	42	42	2581	2721	2860	2721	2790	2372	1604	1186	767	698	1325
tl5	1465	2930	2651	2539	1465	656	279	195	70	84	42	56	98
SUMA	5706	7869	11915	14775	17356	19728	17705	17230	13435	11426	11050	7743	6864

tf: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL SIN LAMAS

tl: TURBINA SITUADA EN EL LATERAL CON LAMAS

Resultados – 5 Turbinas en cada lateral

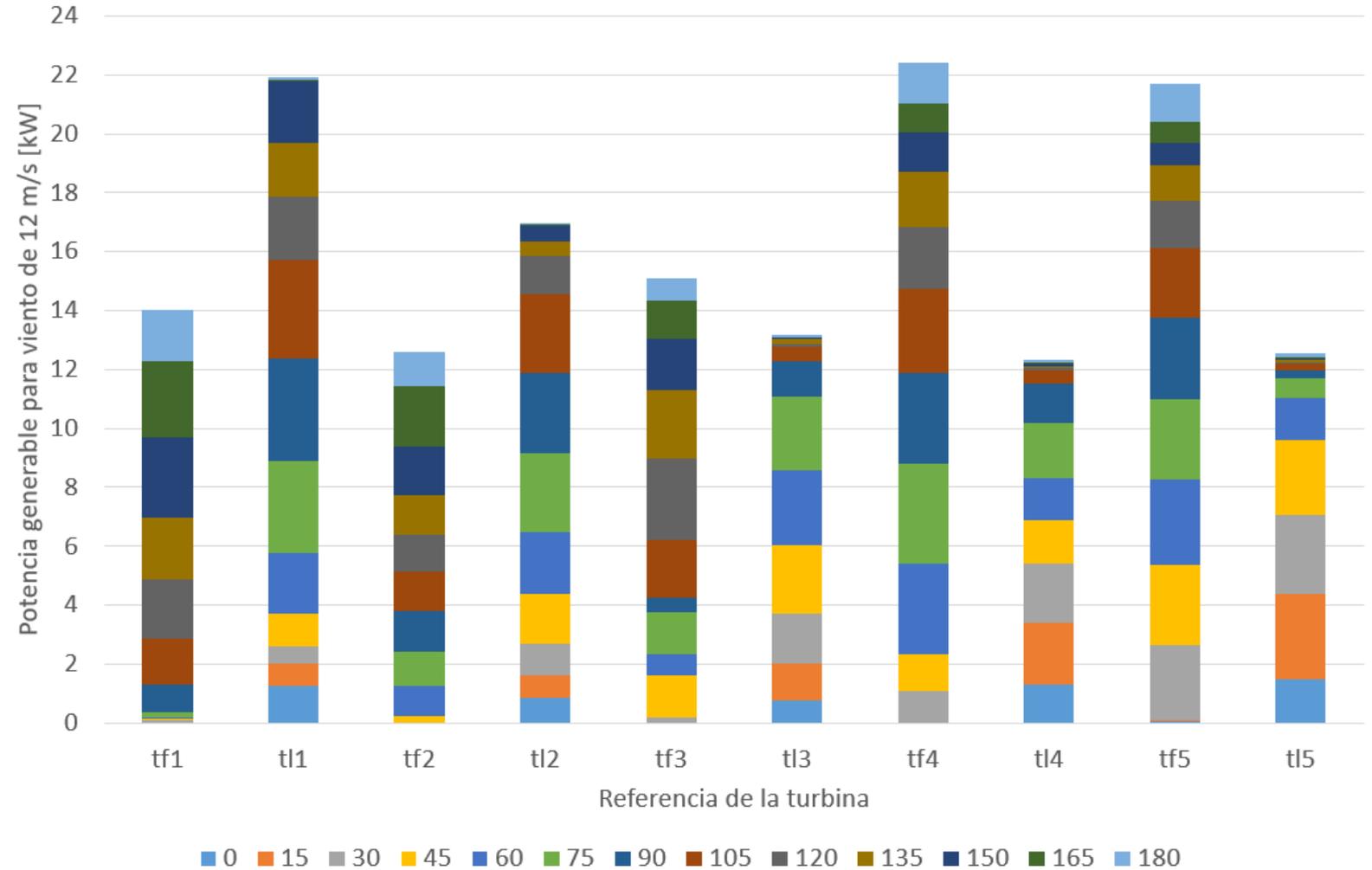
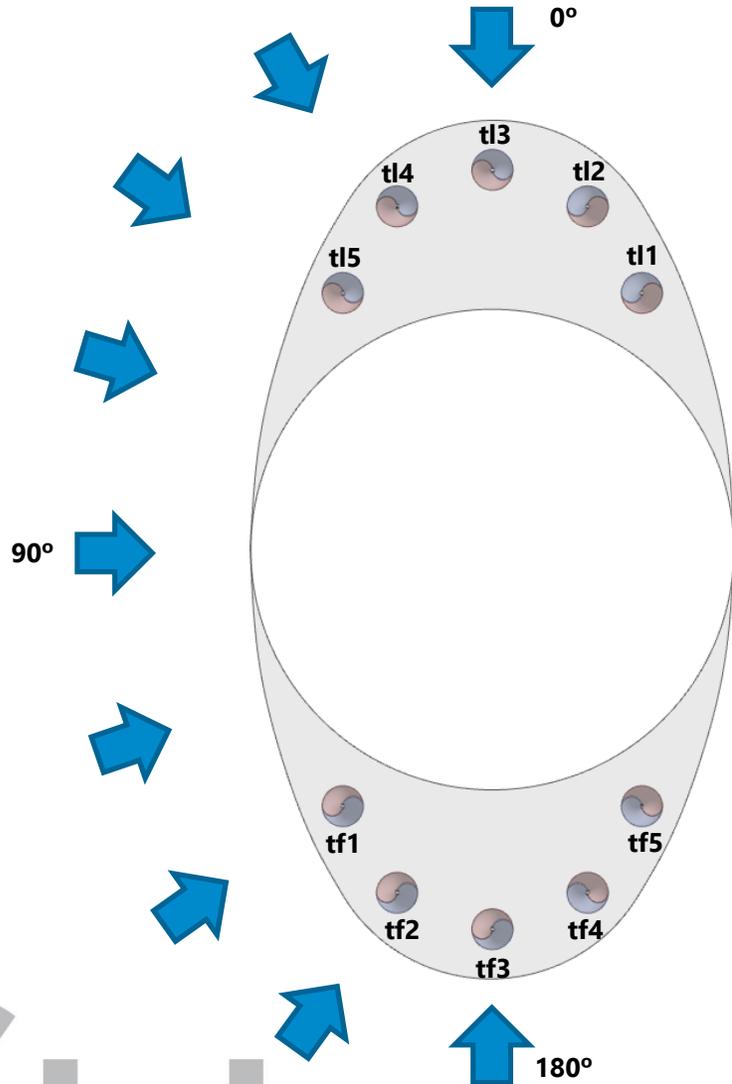
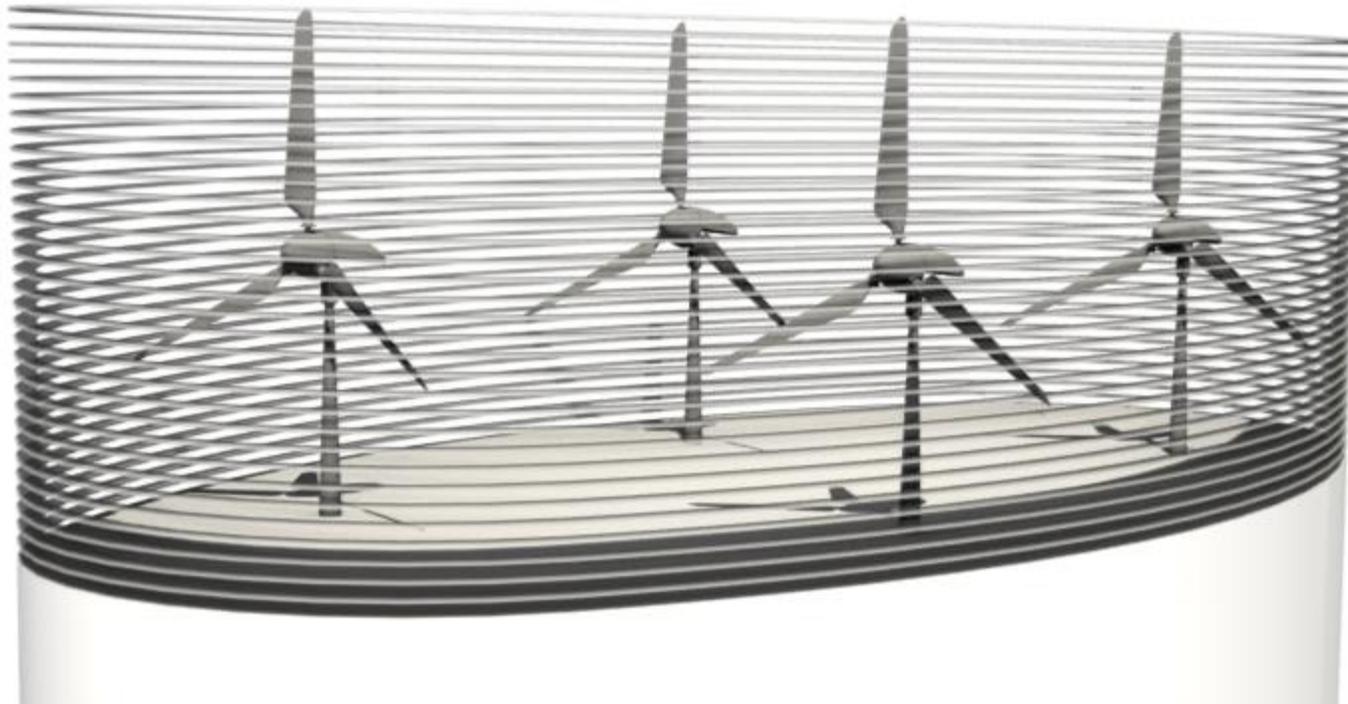
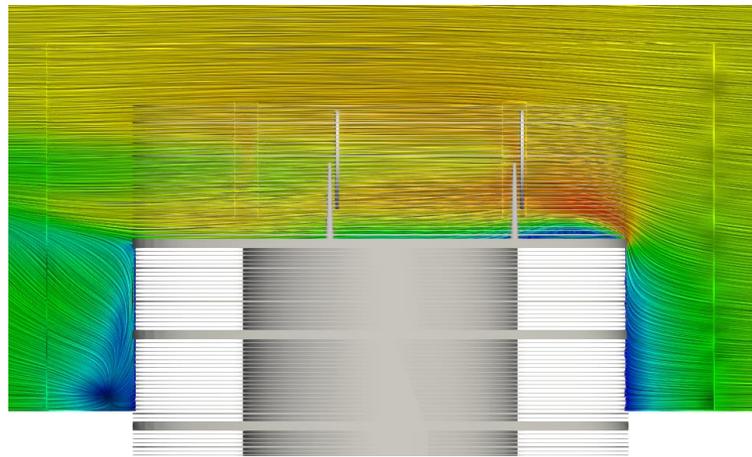


Tabla de potencias generables considerando 12[m/s] en todas las direcciones de viento

RESULTADOS HAWT



Resultados – Iteración viento-edificio en coronación



VIENTO INCIDENTE A 0°

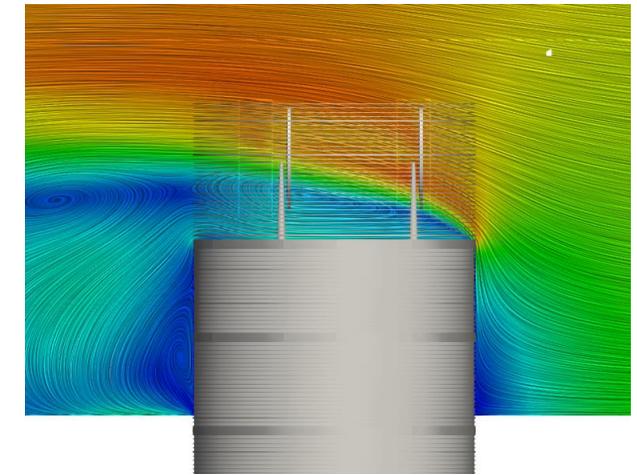
SE OBSERVA UN INCREMENTO DE VELOCIDAD IMPORTANTE EN LA CORONACIÓN DEL EDIFICIO LO QUE REDUNDA EN UN AUMENTO DE EFICIENCIA DE LAS HAWT MÁS PROXIMAS AL FRENTE DEL EDIFICIO DEL LADO SOTAVENTO



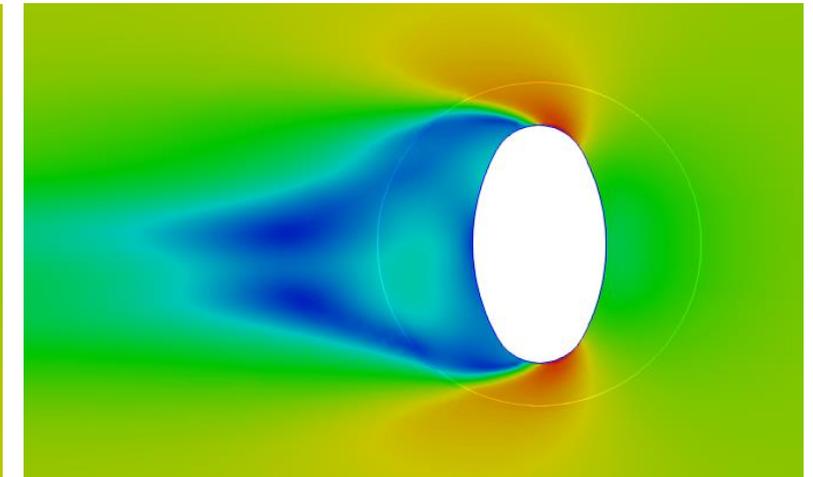
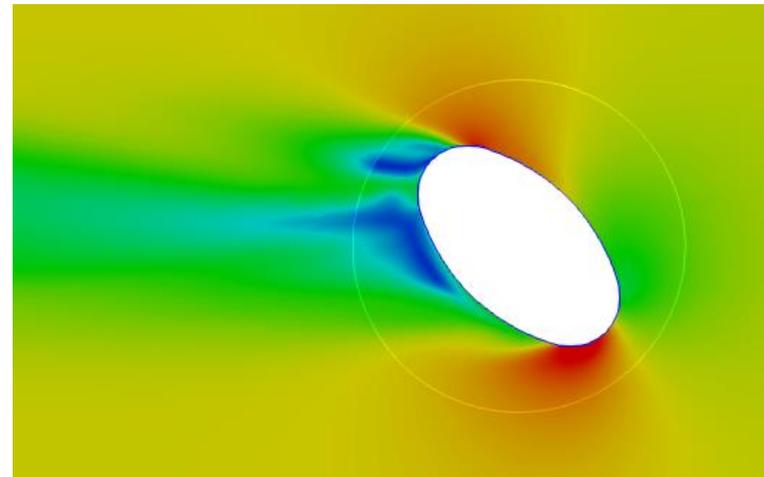
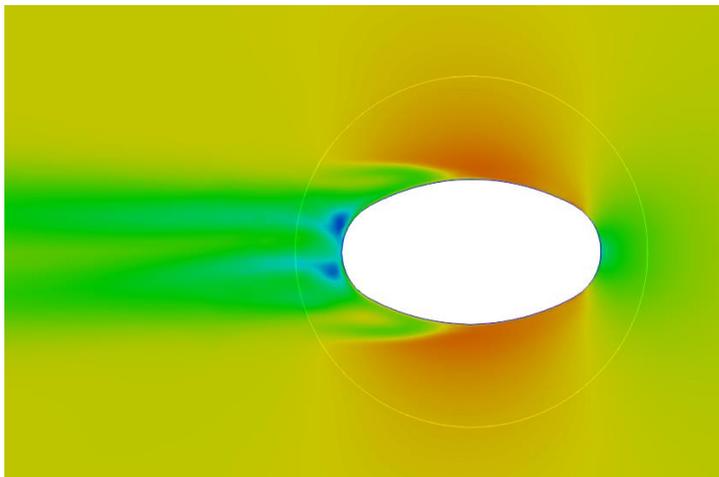
EN LAS IMAGENES DE ABAJO VEMOS COMO LA ORIENTACIÓN DEL EDIFICIO AL VIENTO RESULTA SER CLAVE EN LA MAYOR O MENOR IRRUPCIÓN AL FLUJO QUE SE PRODUCE

ESTO ANTERIOR EXPLICA LOS PICOS DE VELOCIDAD EN EL CASO DE UNA INCIDENCIA A 90° Y EL DESPRENDIMIENTO TEMPRANO DE LA CAPA LÍMITE EN ESTA SITUACIÓN

VIENTO INCIDENTE A 45°

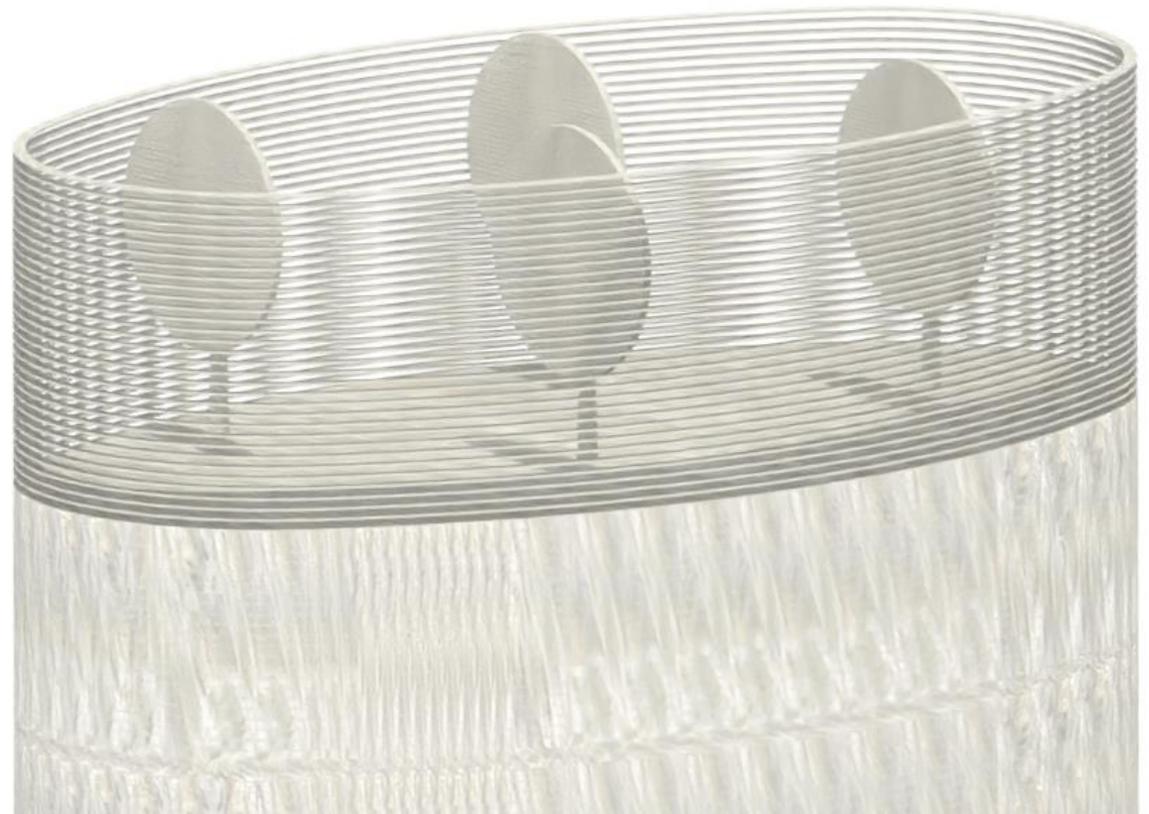


VIENTO INCIDENTE A 90°

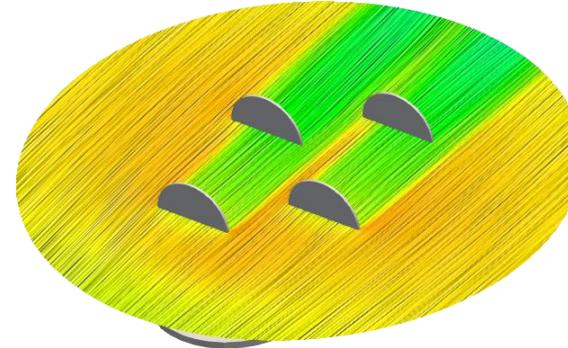
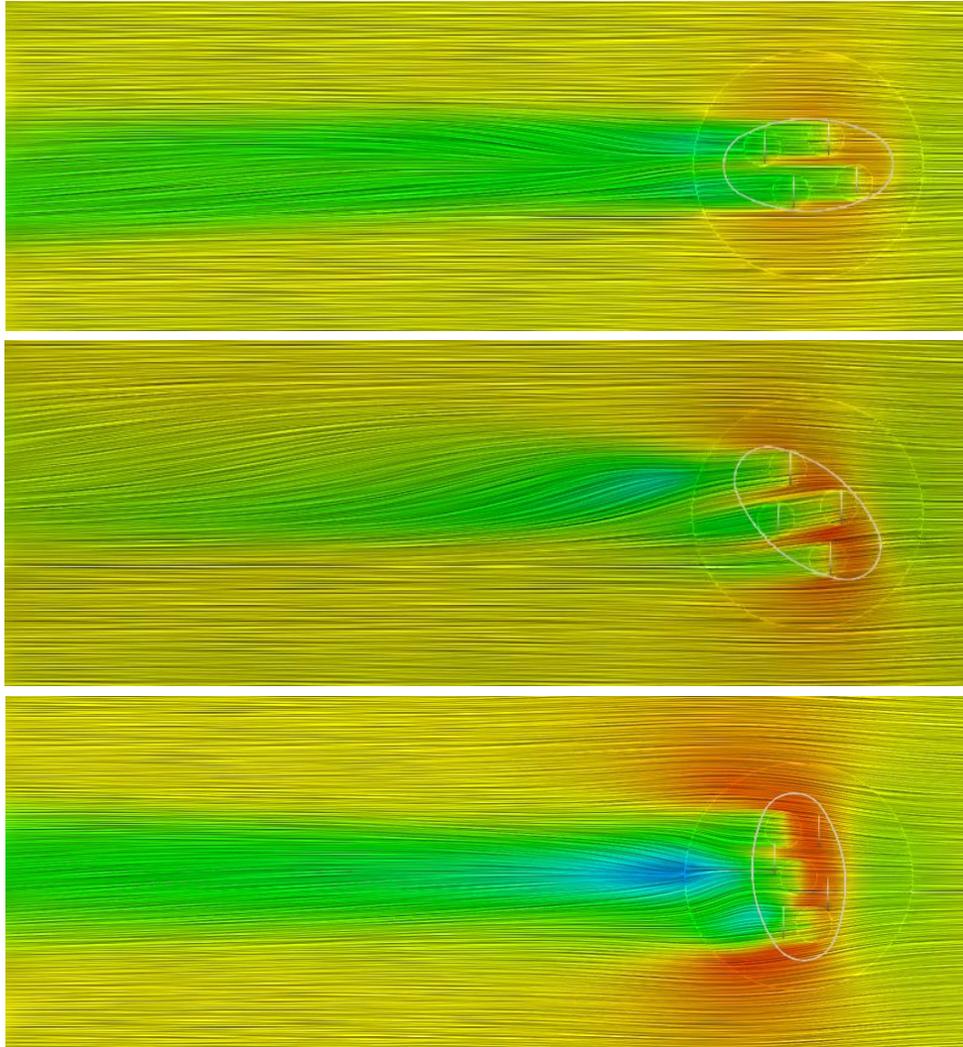


Resultados – Torre Eólica

4 Turbinas en cubierta (HAWT)



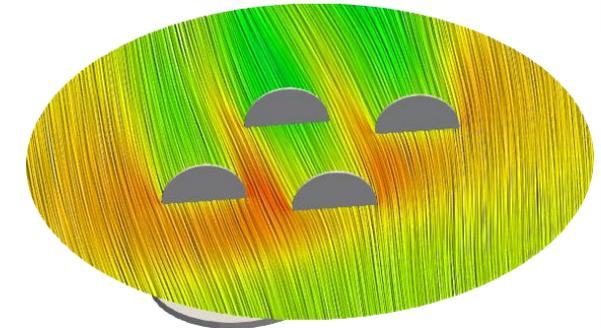
Resultados – 4 HAWT en cubierta



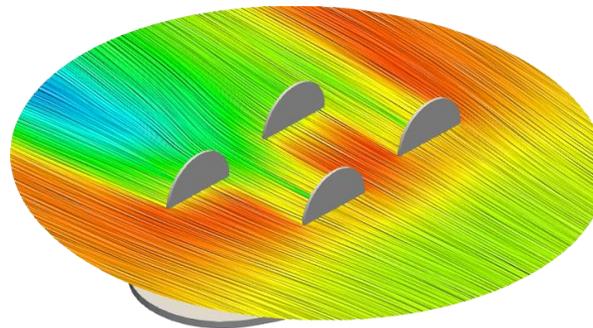
VIENTO INCIDENTE A 0°

EN ESTOS GRÁFICOS DE ESTELAS PODEMOS VER COMO CON LA DISPOSICIÓN AL TRESBOLILLO LAS DOS TURBINAS QUE QUEDAN A BARLOVENTO PASAN DE TENER UN PORCENTAJE SECCIÓN DEL ENTORNO DEL 90% AFECTADO POR LA ESTELA DE LA ANTERIOR, HASTA LLEGAR A 5% EN EL CASO DE VIENTO INCIDENTE A 90°

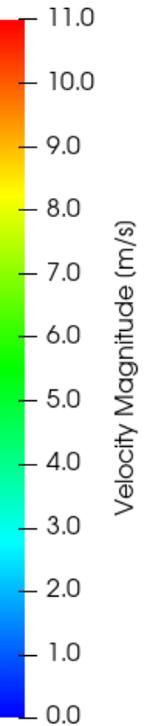
EN EL CASO DE VIENTO A 45° TENEMOS UN MÍNIMO DE GENERACIÓN EN LA TURBINA MÁS ALEJADA, QUE CUENTA CON EL 100% DE SU CAUDAL NOMINAL EN ESTELA



VIENTO INCIDENTE A 45°



VIENTO INCIDENTE A 90°

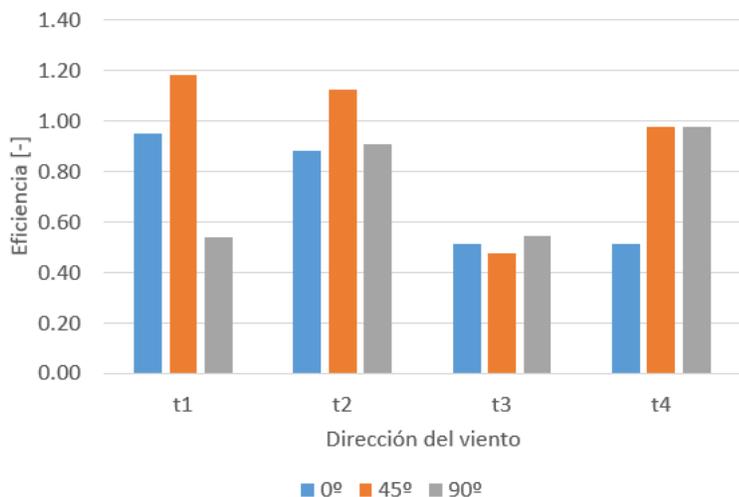


Desarrollo de estelas para distintas direcciones de viento

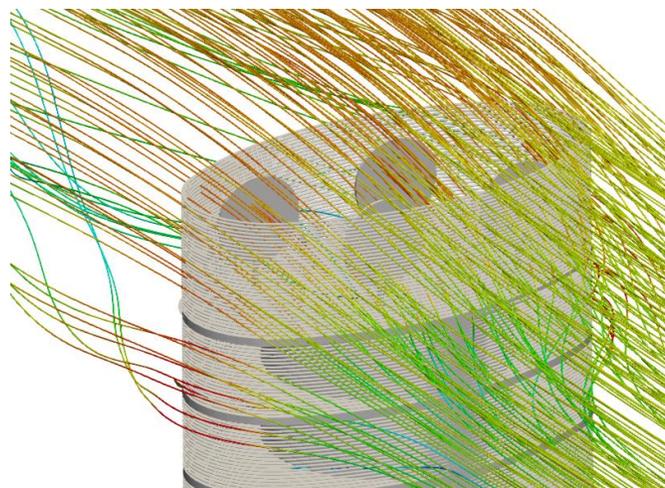
Resultados – 4 HAWT en cubierta

- Tabla de eficiencias en tanto por uno

	Grados (°)		
	0	45	90
t1	0.950	1.185	0.539
t2	0.884	1.125	0.908
t3	0.513	0.479	0.545
t4	0.511	0.975	0.975



ÁNGULO DE INCIDENCIA
PARA MÁXIMA GENERACIÓN



- Tabla de potencias generadas en Wattios

	Grados (°)		
	0	45	90
t1	3792	4728	2149
t2	3525	4487	3624
t3	2045	1913	2174
t4	2040	3891	3890
SUMA	11402	15019	11837

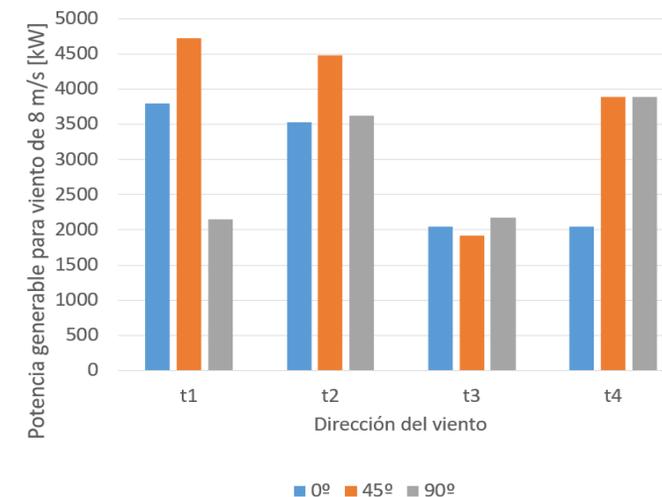
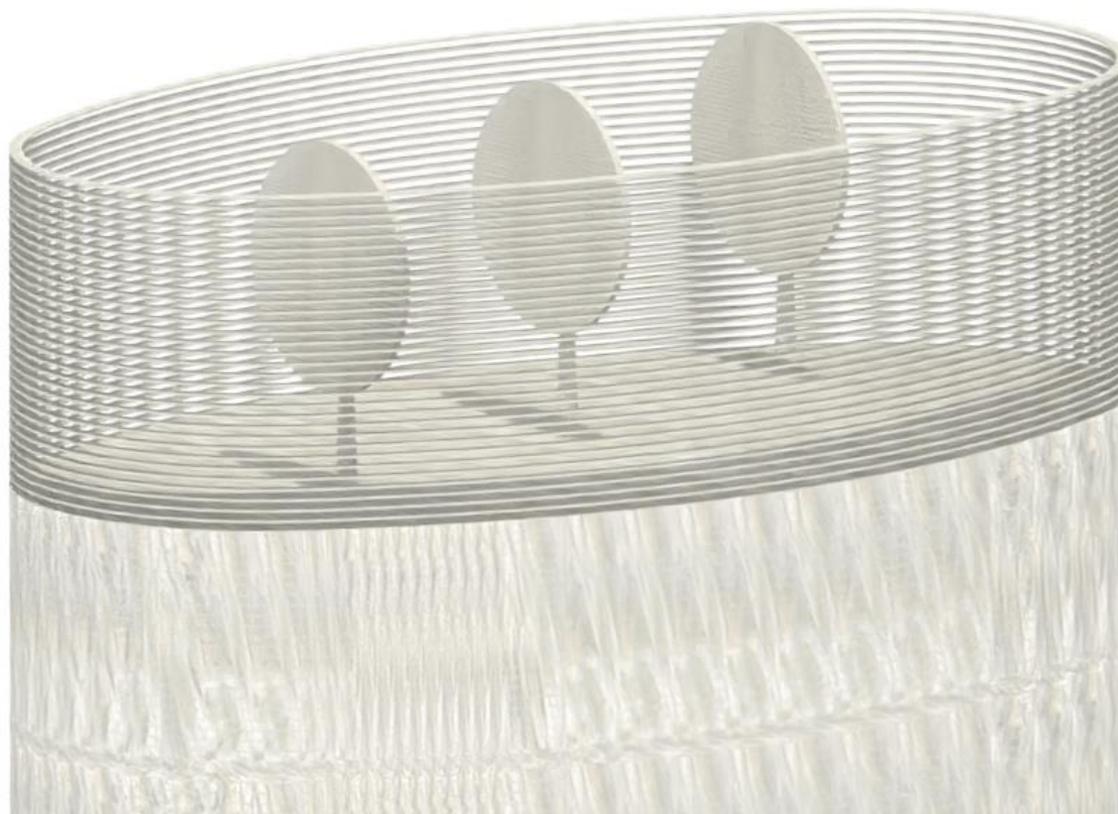


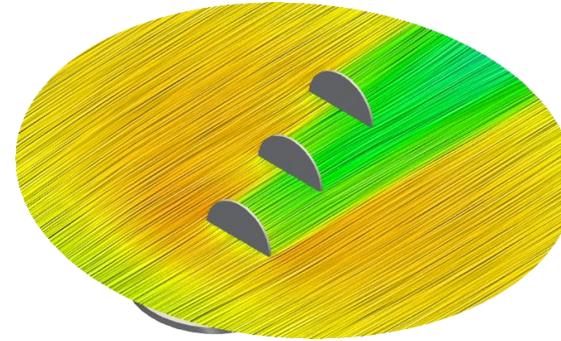
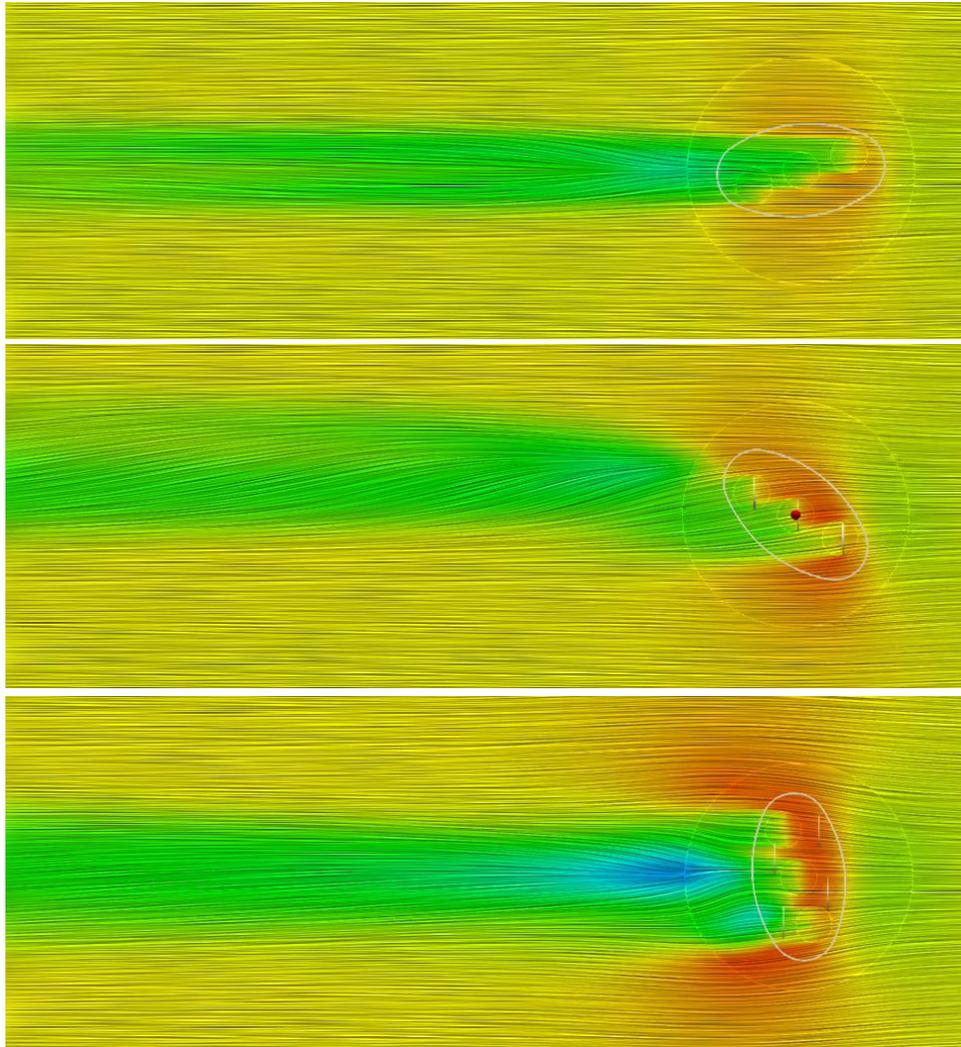
Tabla considerando 8[m/s] en todas las direcciones de viento

Resultados – Torre Eólica

3 Turbinas en cubierta (HAWT)

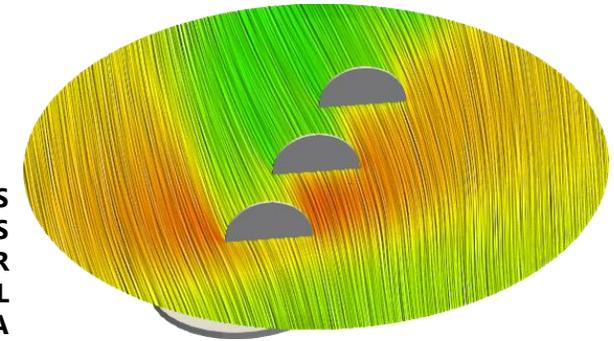


Resultados – 3 HAWT en cubierta

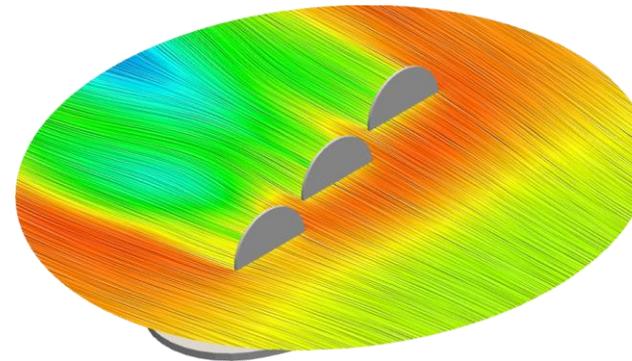


VIENTO INCIDENTE A 0°

EN ESTOS GRÁFICOS DE ESTELAS PODEMOS VER COMO CON LA DISPOSICIÓN LINEAL LAS TURBINAS A BARLOVENTO PASAN DE TENER UN PORCENTAJE SECCIÓN DEL ENTORNO DEL 80% AFECTADO POR LA ESTELA DE LA ANTERIOR, HASTA LLEGAR A 0% EN EL CASO DE VIENTO INCIDENTE A 90°



VIENTO INCIDENTE A 45°



VIENTO INCIDENTE A 90°

Velocity Magnitude (m/s)



Desarrollo de estelas para distintas direcciones de viento

Resultados – 3 HAWT en cubierta

- Tabla de eficiencias en tanto por uno

	Grados (°)		
	0	45	90
t1	0.952	1.104	0.887
t2	0.573	0.883	0.691
t3	0.569	0.659	0.670

- Tabla de potencias generadas en Wattios

	Grados (°)		
	0	45	90
t1	3798	4406	3539
t2	2285	3522	2758
t3	2271	2628	2675
SUMA	8355	10556	8972

ÁNGULO DE INCIDENCIA
PARA MÁXIMA GENERACIÓN

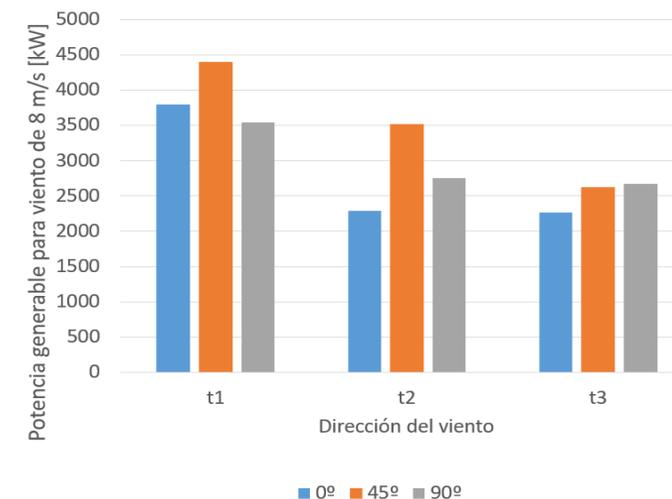
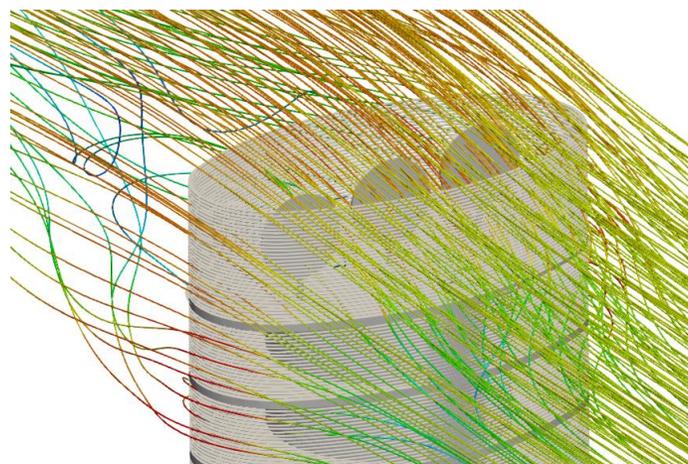
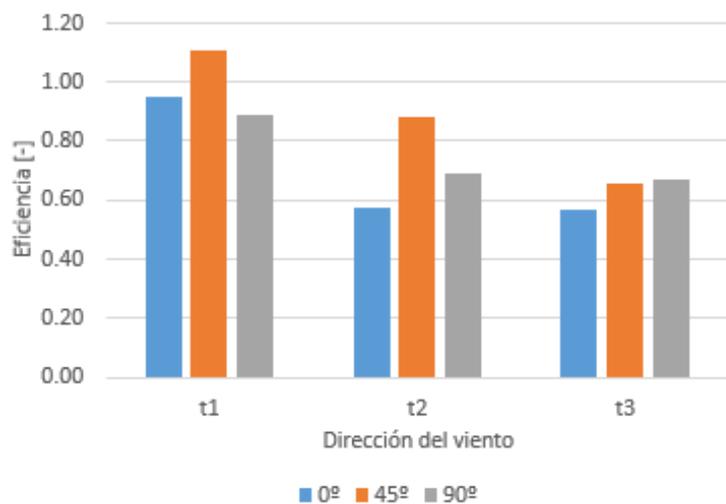


Tabla considerando 8[m/s] en todas las direcciones de viento

Resultados – Comparativa

- Tabla de eficiencias en tanto por uno

	Grados (°)		
	0	45	90
t1	0.950	1.185	0.539
t2	0.884	1.125	0.908
t3	0.513	0.479	0.545
t4	0.511	0.975	0.975

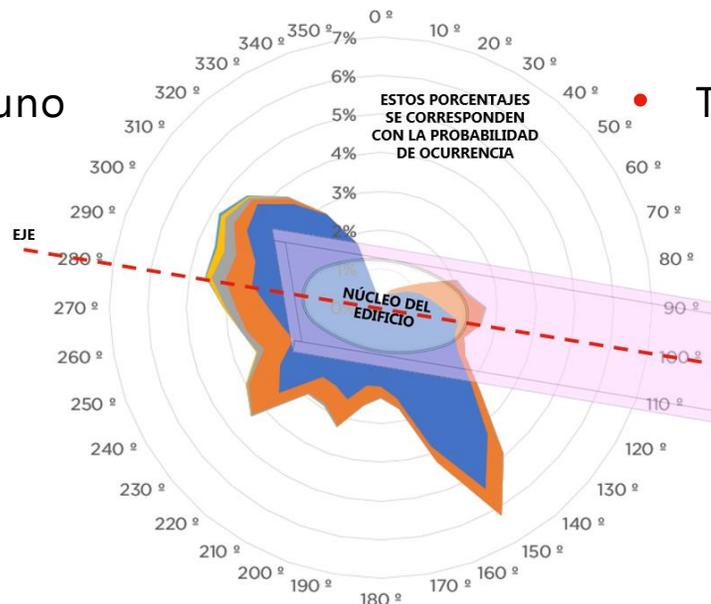
HACIENDO CASO DE LOS DATOS DE VIENTO RECABADOS EN LA FASE INICIAL DEL ESTUDIO, TENIENDO EN CUENTA LA ORIENTACIÓN DEL EDIFICIO RESPECTO AL VIENTO Y OBSERVANDO LOS RESULTADOS DE POTENCIA GENERADA, VEMOS QUE, CON AMBOS DISEÑOS, CONSEGUIMOS UN MÁXIMO DE GENERACIÓN EN LA DIRECCIÓN DE VIENTO PREDOMINANTE EN LA ZONA

- Tabla de potencias generadas en Wattios

	Grados (°)		
	0	45	90
t1	3792	4728	2149
t2	3525	4487	3624
t3	2045	1913	2174
t4	2040	3891	3890
SUMA	11402	15019	11837

- Tabla de eficiencias en tanto por uno

	Grados (°)		
	0	45	90
t1	0.952	1.104	0.887
t2	0.573	0.883	0.691
t3	0.569	0.659	0.670



- Tabla de potencias generadas en Wattios

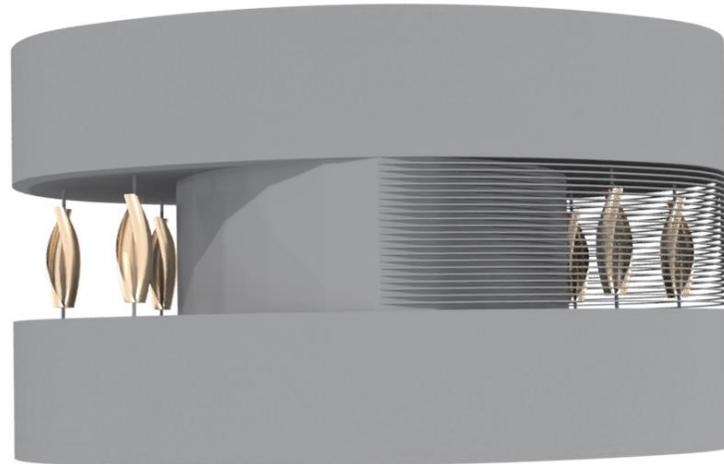
	Grados (°)		
	0	45	90
t1	3798	4406	3539
t2	2285	3522	2758
t3	2271	2628	2675
SUMA	8355	10556	8972

Tablas considerando 8[m/s] en todas las direcciones de viento

CONCLUSIONES

Conclusiones – Estudio de las VAWT

- Se ha optado por turbinas de eje vertical tipo Savonius para su inclusión en los espacios entre plantas



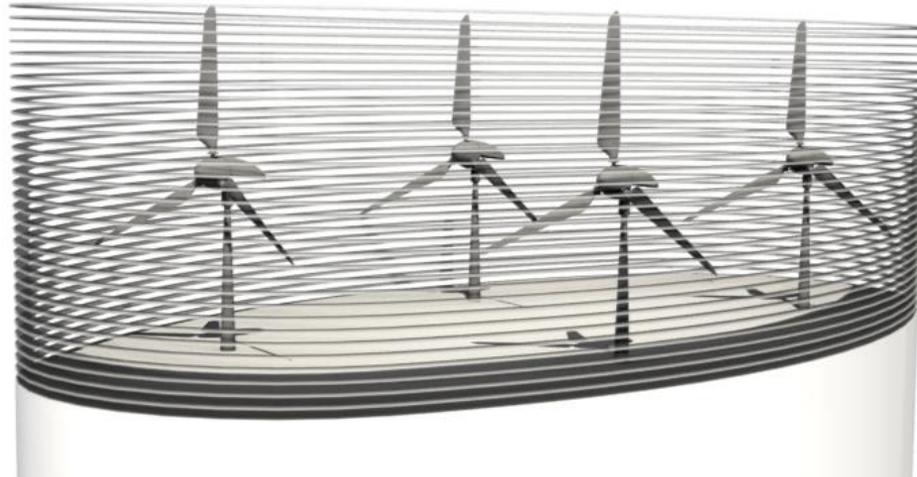
- El ángulo de incidencia de viento más favorable para la generación de energía resulta ser el de 90° para el caso de 3 VAWT, mientras que para el caso de 5 VAWT este ángulo resulta ser el de 75°
- La potencia generable para el caso de instalación de 5 VAWT resulta ser entre un 60% y un 80% superior al caso de 3 VAWT

Conclusiones – Estudio de las VAWT

- La inclusión de lamas en la fachada reduce entre un 10% y un 20% la potencia generable de las VAWT. Este intervalo se llega a reducir a entre un 4% y un 7% para el caso de colocación de lamas de perfil NACA.

Conclusiones – Estudio de las HAWT

- Se han optado por turbinas de diámetro 6[m], las cuales han sido posicionadas en altura de acuerdo con los planos facilitados por Otxotorena Arquitectos (v11 TORRE EOLICA 22 03 21.dwg) para quedar incluidas dentro del espacio cubierto por las lamas



- El ángulo de incidencia de viento más favorable para la generación de energía resulta ser el de 45° tanto para el caso de 4 HAWT como para el caso de 3 HAWT
- La potencia generable para el caso de instalación de 4 HAWT al tresbolillo resulta ser entre un 43% y un 32% superior al caso de 3 HAWT en lineal

PROVEEDORES

Listado de Proveedores

Nombre	Turbina	Email	Teléfono	P (kW)	Diam. (m)	Referencia
AeroVironment bornay	AVX1000 Wind +	wind@avinc.com bornay@bornay.com	626.357.9983 965 560 025 +44 (0)1453 790	1.0 5.0	1.60 4.05	https://www.pressebox.de/attachment/54923/AVX1000-Spec+Sheet.pdf https://www.bornay.com/es/productos/aerogeneradores/wind-plus
Britwind	R9000 Schachner Windrad	enquiries@britwind.co.uk	210 +43(0)7477/429	5.0	5.50	http://www.britwind.co.uk/our-windmills/the-r9000
Kleinwind GmbH	SW5	office@kleinwind.at	73	5.0	5.60	http://www.kleinwind.at/Windrad-SW5
Soyut	Soyut Wind 5	info@soyutwind.com	+90 312 646 50 69	5.0	5.80	http://soyutwind.com/en/service/soyut-wind-5/
Aeolos	Aeolos-H 5kW	sales@windturbinstar.com	+44 208 242 1884	5.0	6.40	http://windup.pt/resources/Aeolos-H%205kw%20Brochure.pdf
Hummer S&W	H6.4-5KW	sales@chinahummer.cn	+86 551 6344 1230	5.0	6.40	http://www.chinahummer.cn/index.php/index/content/169
ENERGIESYSTEME	S&W 5.5	-	-	5.5	5.50	http://www.s-und-w-energie.de/windkraftanlage-sw-5-5/
Hannevind Vindkraft	5.5kW	info@hannevind.com	+46 44-22 85 23	5.5	6.00	https://hannevind.com/web/Hannevind%20productinformation_Eng.pdf
Solacity	Eoltec Scirocco	-	(613) 686-4618	6.0	5.60	http://www.fundysolar.com/documents/Scirocco-6kW-Brochure.pdf
EasyWind	EasyWind 6.0	-	+49 4662 88431-0	6.0	6.00	https://www.easywind.de/de/overlay/datenblatt/
Fortis	Montana-Q 6 kW	info@fortiswindenergy.com	+31 (0) 50 5515 666	6.0	5.25	https://pdf.archiexpo.com/pdf/fortis-wind-energy-109723.html https://pdf.archiexpo.com/pdf/fortis-wind-energy/alize-10-kw-wind-turbine/109723-223773.html
Kingspan Renewables	Alize 10kW KW6	info@kingspanwind.com	01560 486 570	6.1	5.60	https://cms.esi.info/Media/documents/66252_1414139774697.pdf
Windspot S&W	7.5Kw	-	- +49 (0) 56 51 - 7	7.5	6.30	http://www.idelect.net/documentos/ficha-tecnica-windspot-7-5kw.pdf
ENERGIESYSTEME	S&W 7.5	info@s-und-w-energie.de info@braun-windturbinen.com	63 81 +49 (0)2747 /	7.5	6.50	http://www.s-und-w-energie.de/kleinwindkraftanlage-von-s-und-w/sw-7-5/ https://www.braun-windturbinen.com/products/antaris-small-wind-turbines/antaris-12-kw/
Braun Windturbinen	ANTARIS 10.0kW	info@braun-windturbinen.com	930585	10.5	6.50	https://www.braun-windturbinen.com/products/antaris-small-wind-turbines/antaris-12-kw/
enair	E70PRO	juanv@ryse.energy	-	4.0	4.30	https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e70pro
	E-20 (antiguo E220L)	jorge@ryse.energy	965 560 018	10.0	9.80	https://www.enair.es/es/aerogeneradores/e200

- Actualmente estamos en contacto con ENAIR, BRAUM WINDTURBINEN, BORNAY y S&W ENERGIESYSTEME

Listado de Proveedores

Nombre	Turbina	Email	Teléfono	P (kW)	Diam. (m)	Altura (m)	Referencia
HELIX WIND TURBINE	Wind of change 3500	info@techcarbon.de	+49 0151 196 55 616	3.0	1.75	4.65	http://www.wind-of-change.org/index.php/technology.html https://www.selfsufficientaus.com.au/products/ihx-energy-vertical-axis-wind-turbine-kit-400-500-600-w?variant=19812695015520
IHX ENERGY VERTICAL	-	-	-	0.6	0.50	1.00	
LUVSIDE	LS Savonius 3.0	info@luvside.de	+49 151 1568 0025	3.0	2.20	4.00	https://www.luvside.de/en/3-0-savonius-wind-turbine/
	LS Double Helix 1.5		+49 89 1892 8354	1.5	1.40	4.00	https://www.luvside.de/en/1-5-helix-wind-turbine/
	WS-4A			1.0	1.05	4.00	https://windside.com/wp-content/uploads/2020/12/569-ws-4a.pdf
WINDSIDE	WS-4B	general@windside.com	+358 207 304 360	1.0	1.05	4.00	https://windside.com/wp-content/uploads/2020/12/136-ws4b-dte08.pdf
	WS-12			¿?	2.00	6.00	https://windside.com/wp-content/uploads/2020/12/665-ws-12.pdf

- La búsqueda de proveedores de VAWT ha sido más complicada y ha llevado a la obtención de un listado mucho más escueto que para el caso de las HAWT. Esto es debido a que el mercado de este tipo de WT es más reducido, a lo que tenemos que añadir que nos restringimos a las VAWT tipo Savonius
- En lo que refiere a esta lista, actualmente estamos en contacto con LUVSIDE
- Se han descartado WINDSIDE (más caras pensadas para zonas extremas operado offgrid) y HELIX WINDTURBINE (han resultado ser una pantalla de humo)

Turbinas de Eje Vertical (VAWT)

PRÓXIMOS PASOS

Próximos Pasos

- Se propone estudiar la posibilidad de instalar menos HAWT en cubierta, pero de mayor diámetro. Habida cuenta de que, a igual área, la potencia generable aumenta con el diámetro de los rotores más que con el aumento del número de ellos
- Para realizar el estudio anterior habría que verificar que podemos superar los 8.50[m] que van desde la coronación del edificio hasta la última de las lamas
- Cruzar los datos de potencia generada para la velocidad de viento base en todas las direcciones de 8[m/s], con los datos reales (en forma de funciones de densidad de probabilidad) de velocidad de viento en cada una de las direcciones estudiadas para obtener la potencia anual generable
- En caso de no obtener un mapa de vientos recurrir a DTU, MERRA-2, CENER u otras fuentes de información
- Determinar el/los proveedores de las turbinas HAWT y VAWT que se van a instalar