

LAS CORRIENTES ATMOSFÉRICAS

Con relacion a las construcciones marítimas

Al hacer el estudio de un proyecto de puerto es menester considerar los vientos bajo cuatro aspectos diversos, que son: su velocidad, su fuerza, su direccion i su duracion.

La velocidad.—La velocidad del viento se mide por medio de ciertos aparatos llamados anemómetros, de los cuales solo describiremos el que se usa mas comunmente, esto es el de Robinson.

Este anemómetro se compone de cuatro hemisferios metálicos huecos, colocados en las estremidades de dos varillas horizontales que se cruzan en ángulo recto i por cuyo punto de cruzamiento pasa un eje vertical que puede jirar libremente. El movimiento de este eje se comunica por medio de un tornillo sin fin que tiene en su parte inferior, a una serie de engargantes que marcan o registran automáticamente el número de revoluciones ejecutadas por el eje vertical. La diferencia de las presiones del viento sobre las partes cóncavas i las convexas de los hemisferios huecos provoca la rotacion de dicho eje.

Primitivamente se creyó que la velocidad de rotacion de los hemisferios era igual a la tercera parte de la velocidad del viento; pero de esperimentos posteriores se ha deducido que esta relacion varia con las dimensiones del instrumento i la rapidez del viento.

El conocimiento de la velocidad del viento es útil porque de ella se puede deducir, mediante una fórmula que luego daremos a conocer, la presion que ejerce sobre una superficie determinada.

La presión.—La fuerza o presión del viento se mide con los anemómetros de presión, el más usado de los cuales es el de Osler, que consiste en una placa metálica plana, mantenida verticalmente de frente al viento por una veleta. Detrás de la placa hai un resorte en forma de hélice que el viento comprime más o menos, según la fuerza con que sopla. Estos movimientos de la placa son anotados por un lápiz sobre una hoja de papel que un mecanismo de relojería hace avanzar proporcionalmente al tiempo. La relación que hai entre la presión ejercida por el viento i el movimiento de la placa se determina previamente, viendo las variaciones que experimenta el resorte al cargar la placa con pesos conocidos.

La presión del viento es uno de los principales elementos que hai que tomar en cuenta al determinar la estabilidad de las construcciones elevadas, como los faros, las torres valizas, etc., por lo cual es interesante conocer las presiones máximas que se ha medido directamente. En el observatorio de Bidston, cerca de Liverpool, un anemómetro de Osler ha dado las siguientes indicaciones en las fechas designadas:

1.º de Febrero de 1868.....	342 kgs. por m ²
27 » Diciembre de 1868.....	391 » » »
9 » Marzo de 1871.....	440 » » »
27 » Setiembre de 1875.....	342 » » »
30 » Enero de 1877.....	678 » » »
20 » Febrero de 1877.....	484 » » »
28 » Diciembre de 1879.....	409 » » »

Con el huracán de esta última fecha se cayó el puente del Tay.

En la práctica, para las construcciones comunes, de poca elevación sobre el suelo, se puede tomar como límite una presión de 180 kilogramos por metro cuadrado, valor que Nordling dedujo del cálculo del esfuerzo ejercido por el viento para volcar ciertos carros de ferrocarril.

Para las construcciones muy elevadas, establecidas en parajes excesivamente espuestos al viento se recomienda adoptar la cifra de 273.43 kgs. por m² que una Comisión inglesa dedujo con motivo de la caída del puente del Tay.

En el emplazamiento del puente del Forth se midió la presión del viento usando simultáneamente: *a*) una placa grande de 20 pies de largo por 15 pies de alto, o sea de 300 pies cuadrados de superficie, en cuyo centro se había arreglado una placa circular de 18 pulgadas de diámetro; *b*) una placa pequeña que tenía $1\frac{1}{2}$ pié cuadrado de superficie i *c*) otra placa de $1\frac{1}{2}$ pié cuadrado, arreglada de modo que siempre se presentaba de frente al viento. Las placas *a* i *b* estaban fijas i haciendo frente al viento mas fuerte de la rejion. De los resultados numéricos allí obtenidos se deduce esta curiosa conclusion: *la presión media del viento sobre una gran superficie es menor que sobre una superficie pequeña.*

La dirección.—La dirección del viento en sus capas inferiores se obtiene por medio de la veleta, aparato cuyas indicaciones pueden leerse sobre una rosa de los vientos o inscribirse automáticamente. Por lo jeneral se divide la rosa solo en los ocho rumbos principales.

La duración.—La duración o frecuencia de los vientos no es otra cosa sino el número de veces que cada rumbo ha sido observado durante cierto tiempo, un año por ejemplo.

En el *Anuario Meteorológico* están consignadas las observaciones de la dirección i de la fuerza del viento para un buen número de puntos de Chile, observaciones que pueden ser aprovechadas para los estudios preliminares de un trabajo marítimo; pero para una obra definitiva es preciso instalar aparatos inscriptores, los que están exentos de hacer apreciaciones mas o ménos antojadizas. Además estos aparatos permiten establecer la verdadera duración de los vientos, cosa que no es posible con solo 3 observaciones cada día. En efecto, como jeneralmente los vientos principian a soplar en Chile despues de hecha en las estaciones meteorológicas la observacion de la mañana i calman ántes de la observacion de la noche, resulta que la proporción de las calmas, anotadas en los cuadros, no es la que realmente se obtiene haciendo observaciones mas repetidas.

Por medio del *Anuario* citado i sin tomar en cuenta la fuerza de los vientos, cuya apreciacion a ojo es difícil, hemos formado el siguiente cuadro para la estación meteorológica del Faro de Valparaiso, cuadro cuyo uso indicaremos mas adelante.

1887	N	N E	E	S E	S	S O	O	N O	Calm
Abril.....			1		11	17	1	2	58
Mayo.....	3		4		6	17			63
Junio.....	16	4	5		10	7	1		47
Julio.....	15	8	2	1	8	10	2		47
Agosto.....	37	12		2	9	5		9	19
Setiembre.....	13	10	3	6	17	20	2	5	14
Totales para el invierno	84	34	15	9	61	76	6	16	248
Octubre.....	9	3	1	3	15	28	2	4	28
Noviembre.....	3	2	2	1	20	27	8	1	26
Diciembre.....	4		3		15	30	1	1	39
Enero (1888).....	4	1			15	22	2		49
Febrero.....	6	2			16	18	4	1	40
Marzo.....					19	17	3		54
Totales para el verano	26	8	6	4	100	142	20	7	236
Totales para el año...	110	42	21	13	161	218	26	23	484

La velocidad i la presión. -Si se conoce la velocidad del viento se puede determinar su fuerza por medio de una fórmula empírica de la forma

$$P=cV^2$$

en la cual P es la presión del viento sobre la unidad de superficie c un coeficiente i V la velocidad en la unidad de tiempo.

Smeaton propuso un valor para el coeficiente c aplicable solo para el caso de superficies pequeñas. Ese valor ha sido modificado posteriormente en vista de los esperimentos comparativos que se llevaron a cabo en Bidston, entre un anemómetro de Robinson i un aparato de Osler.

El cuadro siguiente da a conocer los resultados de estos esperimentos i los que arroja la fórmula, haciendo en ella $c=0,18$ (1).

(1) En Francia hacen a $c=0,25$. Véase J. Résal, *Ponts métalliques* t. I, p. 71.

Creemos que los esperimentadores ingleses, al formar este cuadro, partieron de la serie 20, 25, 30, 35... metros para la velocidad i que al presentar los resultados en *medidas inglesas* han redondeado las cifras. De aquí las discrepancias que encuentro al reducir nuevamente el cuadro al sistema métrico.

Velocidad máxima del viento en metros por segundo	Presión máxima según los experimentos en Kgs por m ²	Presión según nuestra fórmula $P=0,18V^2$
20,5	71,77	75,65
25,8	115,70	119,82
30,8	165,56	170,76
36,1	234,34	234,58
41,1	319,77	304,06
46,4		387,53
51,4		475,55

Para apreciar al tanteo la fuerza del viento se usa por lo general la escala siguiente: 0=calma, 1=viento casi imperceptible, 2=brisa suave, 3=buena brisa, 4=viento fresco, 5=ventarrón i 6=huracán.

A esta escala (véase Flamant, *Résistance des matériaux p. . . .*) se le atribuyen las velocidades i las presiones que indica este cuadro:

N.º	Velocidad m×segundo	Presión Kgs×m ²	N.º	Velocidad m×segundo	Presión Kgs×m ²
1	0,50	0,03	4	20,00	45,00
2	2,00	0,45	5	27,00	83,00
3	10,00	11,30	6	45,00	230,00

Como se puede ver, las presiones correspondientes a las velocidades indicadas no concuerdan con las cifras de los experimentos hechos en el observatorio de Bidston, por lo cual creemos que es

preferible sustituirle el siguiente cuadro, obtenido con nuestra fórmula $P=0,18 V^2$:

N.º	Velocidad m×segundo	Presion Kgs×m ²	N.º	Velocidad m×segundo	Presion Kgs×m ²
1	0,50	0,05	4	20,00	72,00
2	2,00	0,72	5	27,00	131,22
3	10,00	18,00	6	45,00	364,50

La fuerza i la frecuencia.— Suele ponerse en contraste los vientos mas fuertes con los mas frecuentes de una localidad.

Los vientos fuertes son, por lo jeneral, de corta duracion, de manera que, si bien sus efectos son mui rápidos i considerables pueden, sin embargo, ser contrarrestados i aun superados por un viento mas débil que haya soplado durante largo tiempo. Se dice que los primeros son los *dominantes* mientras soplan i que los segundos son los *reinantes* en casi todo el año.

La figura I representa, en jeneral, las direcciones de los vientos reinantes i dominantes, con las de las corrientes de flujo i reflujó de la marea para la costa central i norte de Chile. Como el viento es el promotor de las olas, se comprende cuan peligrosos son los temporales del NO en nuestras bahías i radas foráneas, que están, por una singularidad, casi todas abiertas en direccion al cuarto cuadrante, sobre todo si dichos temporales coinciden con una marea creciente.

La duracion i la direccion.— Cuando no se tienen observaciones fidedignas ni de la velocidad, ni de la fuerza del viento se acostumbra suponer que todos han soplado con igual fuerza i entónces aquel que haya soplado mayor número de veces será el que debe considerarse como el mas activo, del cual dependerán la direccion de las olas, su fuerza etc.

En este supuesto es fácil darse cuenta a la simple vista de todas las circunstancias relativas a la direccion i a la duracion de los vientos de una localidad dada por medio de una construccion

gráfica. Basta aplicar, a partir del centro de una rosa de los vientos, sobre los rumbos respectivos, longitudes proporcionales a la duración de los vientos durante el año, i unir los puntos que resulten por medio de rectas o de una curva.

La figura 2 representa los datos del cuadro numérico que hemos dado mas atrás para el Faro de Valparaíso, tomando 1 mm. por cada 3 observaciones.

A veces se construyen rosas de los vientos para cada estación del año, considerando en nuestro hemisferio como invierno los meses de Abril, Mayo, Junio, Julio, Agosto i Setiembre i como verano los otros seis meses.

Las figuras 5 i 6 son las rosas correspondientes a nuestro ejemplo de Valparaíso. La rosa del verano pone de manifiesto que los vientos reinantes durante esa estación son los del S al SO; pero la rosa del invierno no es tan esplicita como la anterior.

En vez de construir las rosas es muy preferible hallar la resultante de los vientos por medio del polígono de los vectores, asimilando así las observaciones a fuerzas que obrarían según los rumbos respectivos.

La figura 5, que es el polígono construido con los datos de Valparaíso, demuestra que la resultante de los vientos que soplan durante el invierno es un viento débil, que podemos considerar prácticamente como del O. La figura 6 da a conocer la resultante de los vientos durante el verano.

La dirección i la duración de la resultante de los vientos pueden calcularse por medio de fórmulas que se deducen con facilidad del polígono de los vectores.

Si convenimos en mirar como positivos todos los vientos que soplen desde una línea EO hacia el N i desde una línea NS hacia el E i como negativos los vientos opuestos, i en medir los ángulos desde el N hacia el E la fórmula siguiente, conocida con el nombre de fórmula de Lambert, da la dirección ϕ de la resultante de los vientos:

$$\tan \phi = \frac{E - O + \cos 45^\circ (NE + SE - NO - SO)}{N - S + \cos 45^\circ (NE + NO - SE - SO)}$$

La duración D se puede calcular por medio de esta otra:

$$D = \frac{N - S + \cos 45^\circ (NE + NO - SE - SO)}{\cos \phi}$$

fórmula que creemos que es nueva.

Introduciendo en estas fórmulas las cifras que hemos dado para Valparaíso se ve que la resultante de los vientos que soplan allí durante todo el año equivale a un viento que hiciera un ángulo de $39^\circ 2'$ desde el S hacia el O i que sería observado 216 veces, en números redondos. La figura 7 construida con esos mismos datos debe no solo concordar sino arrojar los mismos resultados, que las fórmulas dentro de la exactitud compatible con las construcciones gráficas (1).

Determinando la resultante de los vientos en todos los puntos de la costa de Chile para los cuales se tiene observaciones fidedignas se llega a la conclusión de que a partir de Lebu para el norte su dirección equivale a un viento del 3.^{er} cuadrante i desde Lebu para el sur a un viento del 4.^o.

Hai, pues, un cierto punto en la costa de Chile a partir del cual los materiales que constituyen el litoral tienden a ser transportados constantemente en sentidos opuestos, lo cual obligaría a orientar las bocas de los puertos que se construyesen de Lebu a norte, por ejemplo, según una dirección tal que se evitase la entrada de dichos materiales i próximamente la misma para todos si en realidad esos transportes jenerales fuesen de alguna consideración. Mas, estos efectos son tan lentos que solo se vienen a notar al cabo de largos periodos jeológicos sobre las desviaciones de las desembocaduras de los ríos i la marcha de las dunas, lo que demuestra que, en el ejemplo del litoral que se extiende desde Lebu hacia el norte de Chile, los vientos dominantes del N al NO soplan con tal ímpetu que contrarrestan casi por completo el efecto de los vientos reinantes del S al SO i que, en consecuencia, se

(1) Véase C. J. de Cordemoy. Estudio relativo a los puertos de Constitución i Corral etc. páj. 8 i 9, donde este ingeniero pretende rectificar la fórmula matemática de Lambert por medio de la construcción del polígono.

debe tomar mui en cuenta no solo la duracion sino tambien la fuerza de los vientos para determinar su *verdadera* resultante.

Tales son las diversas fases bajo las cuales debe hacerse el estudio de las corrientes atmosféricas para poder determinar la accion que ejercen sobre los trabajos marítimos.

DOMINGO CASANOVA O.

Fig. 1

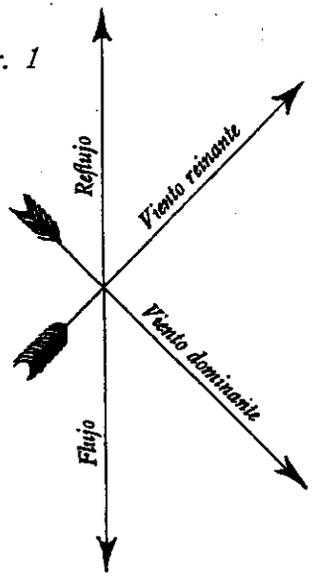


Fig. 3
Invierno

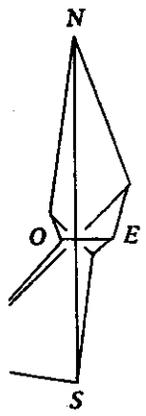


Fig. 4
Verano

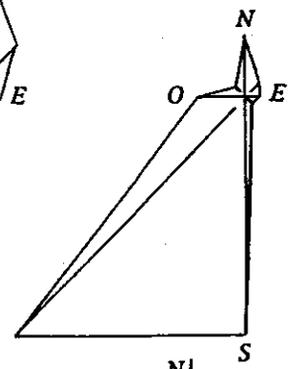


Fig. 2
Año

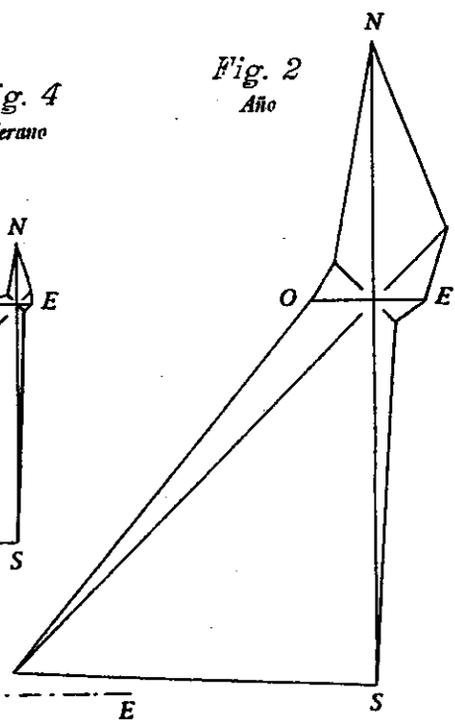


Fig. 7
Año

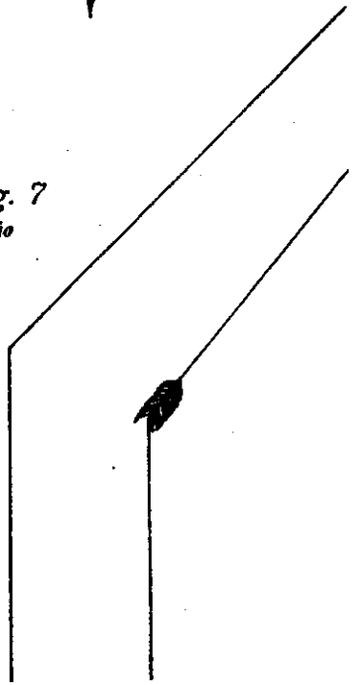


Fig. 6
Verano

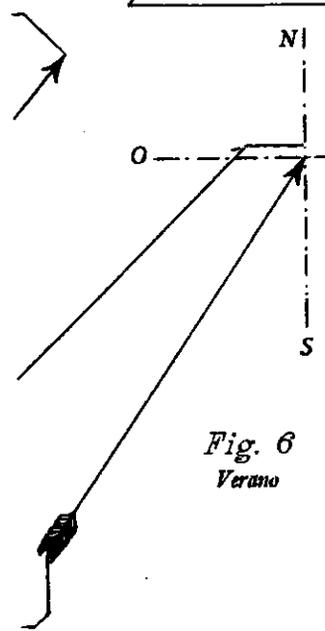


Fig. 5
Invierno

